

ISSN 2658-6649

Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture

www.discover-journal.ru



Volume 16, Number 2
2024

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

Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture

**Volume 16, Number 2
2024**

Главный редактор:

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

Заместители главного редактора:

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

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

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

Красноярск 2024



Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture

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

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

Том 16, № 2, 2024 / Vol. 16, No 2, 2024

Учредитель и издатель:

ООО Научно-инновационный центр

Журнал основан в 2008 году

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

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

Индексирование и реферирование:

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

Адрес редакции, издателя и для корреспонденции:

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

+7 (995) 080-90-42

Founder and publisher:

Science and Innovation Center
Publishing House

Founded 2008

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

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

Indexing and Abstracting:

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

Editorial Board Office:

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

+7 (995) 080-90-42

Свободная цена

© Научно-инновационный центр, 2024

Члены редакционной коллегии

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

сударственный аграрный университет (Новосибирск, Россия)

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Денисов Сергей Александрович, доктор сельскохозяйственных наук, профессор, Поволжский государственный технологический университет (Йошкар-Ола, Россия)

Дерягина Лариса Евгеньевна, доктор медицинских наук, профессор, Московский университет МВД РФ им. В.Я. Кикотя (Москва, Россия)

Дьякович Марина Пинхасовна, доктор биологических наук, профессор, Ангарский государственный технический университет (Ангарск, Россия)

Жмылев Павел Юрьевич, доктор биологических наук, доцент, Государственный университет «Дубна» (Москва, Россия)

Зайцев Владимир Владимирович, доктор биологических наук, профессор, Самарский государственный аграрный университет (Самара, Россия)

Залесов Сергей Вениаминович, доктор сельскохозяйственных наук, профессор, Уральский государственный лесотехнический университет (Екатеринбург, Россия)

Зудилин Сергей Николаевич, доктор сельскохозяйственных наук, профессор, Самарский государственный аграрный университет (Самара, Россия)

Иванова Майса Афанасьевна, доктор медицинских наук, профессор, ФГБУ «Центральный научно-исследовательский институт организации и информатизации здравоохранения» Министерства здравоохранения Российской Федерации (Москва, Россия)

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

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

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

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

Калягин Алексей Николаевич, доктор медицинских наук, профессор, 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 (Мггиши, 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)

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

дарственный аграрный университет (Мичуринск, Россия)

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

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

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

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

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

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

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

Editorial Board Members

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

ФИЗИОЛОГИЯ ЧЕЛОВЕКА И ЖИВОТНЫХ

HUMAN AND ANIMAL PHYSIOLOGY

DOI: 10.12731/2658-6649-2024-16-2-1073

УДК 576.3.08:57.084:612.1:616.151: 636.034



Научная статья

**ИССЛЕДОВАНИЕ НЕЙТРОФИЛОВ
ПРИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОМ СТРЕССЕ У КОРОВ
МЕТОДАМИ ЛАЗЕРНОЙ ИНТЕРФЕРЕНЦИОННОЙ
И ЭЛЕКТРОННОЙ СКАНИРУЮЩЕЙ
МИКРОСКОПИЙ**

***А.В. Дерюгина, М.Н. Иващенко, В.Б. Метелин,
Р.С. Ковылин, П.С. Игнатъев***

Обоснование. Интенсивная технология производства молока создает целый ряд факторов, которые способны ввести животное в состояние технологического стресса. Действие стресса отражается на неспецифической резистентности, которая представляет способность организма противостоять действию неблагоприятных факторов за счет поддержания защитных сил на должном уровне. Нейтрофилы одни из первых защитных клеточных барьеров, которые быстро мобилизуются при воздействии стресс-факторов.

Для расшифровки происходящих изменений в ответ на действие стрессоров требуется привлечение разных оценочных средств. Одним из возможных методологических подходов является использование различных методов визуализации, обеспечивающих доступ к пространственно-временной информации на уровне отдельных оргanelл и клеток

Цель. Изучение морфо-функционального состояния нейтрофилов при технологическом стрессе у крупного рогатого скота методами лазерной интерференционной и электронной сканирующей микроскопий.

Материалы и методы. Работа проведена на 30 клинически здоровых высокопродуктивных коровах чёрно-пёстрой породы. В качестве технологического стресса рассматривали совокупность воздействий: перегруппировку

животных и смену обслуживающего персонала. В работе проводили анализ нейтрофилов методом лазерной интерференционной и электронной сканирующей микроскопий.

Результаты. Показано изменение морфологической структуры и функциональной активности нейтрофилов после технологического стресса. При анализе интерферограмм выявлено увеличение гетерогенности нейтрофилов за счет появления дегенеративно измененных форм клеток при увеличении количества функционально активных нейтрофилов. Проведение электронной сканирующей микроскопии позволило выявить появление после технологического стресса НЕТозов и нейтрофилов с опустошенными гранулами и вакуолизацией цитоплазмы.

Заключение. Выявленные морфо-функциональные изменения нейтрофилов коров доказывают напряжение механизмов адаптации при технологическом стрессе. Данное обстоятельство необходимо учитывать для предотвращения срыва адаптационных возможностей организма высокопродуктивных животных.

Ключевые слова: нейтрофилы; лазерная интерференционная микроскопия; электронная сканирующая микроскопия; технологический стресс; крупный рогатый скот

Для цитирования. Дерюгина А.В., Иващенко М.Н., Метелин В.Б., Ковылин Р.С., Игнатьев П.С. Исследование нейтрофилов при технологическом стрессе у коров методами лазерной интерференционной и электронной сканирующей микроскопий // Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture. 2024. Т. 16, №2. С. 11-27. DOI: 10.12731/2658-6649-2024-16-2-1073

Original article

INVESTIGATION OF NEUTROPHILS UNDER TECHNOLOGICAL STRESS IN COWS BY METHODS OF LASER INTERFERENCE AND ELECTRON SCANNING MICROSCOPY

*A.V. Deryugina, M.N. Ivashchenko, V.B. Metelin,
R.S. Kovylin, P.S. Ignatiev*

Background. Intensive milk production technology creates a number of factors that can put an animal into a state of technological stress. The effect of stress is reflected in nonspecific resistance, which represents the body's ability to

resist the effects of adverse factors by maintaining protective forces at the proper level. Neutrophils are one of the first protective cellular barriers that are rapidly mobilized when exposed to stress factors. To decipher the changes taking place in response to the action of stressors, the involvement of various evaluation tools is required. One of the possible methodological approaches is the use of various visualization methods that provide access to spatio-temporal information at the level of individual organelles and

Purpose. *The study of the morpho-functional state of neutrophils under technological stress in cattle by laser interference and electron scanning microscopy.*

Materials and methods. *The work was carried out on 30 clinically healthy highly productive black-and-white cows. A combination of impacts was considered as technological stress: the rearrangement of animals and the change of service personnel. Neutrophils were analyzed by laser interference and electron scanning microscopy.*

Results. *A change in the morphological structure and functional activity of neutrophils after the action of technological stress is shown. The analysis of interferograms revealed an increase in the heterogeneity of neutrophils due to the appearance of degeneratively altered cell forms with an increase in the number of functionally active neutrophils. Electron scanning microscopy revealed the appearance of NEToses and neutrophils with emptied granules and vacuolization of the cytoplasm after technological stress.*

Conclusion. *The revealed morphofunctional changes in neutrophils prove the strain of adaptation mechanisms under technological stress. This circumstance must be taken into account in order to prevent disruption of the adaptive capabilities of the organism of highly productive animals.*

Keywords: *neutrophils; laser interference microscopy; electron scanning microscopy; technological stress; cattle*

For citation. *Deryugina A.V., Ivashchenko M.N., Metelin V.B., Kovylin R.S., Ignatiev P. S. Investigation of Neutrophils under Technological Stress in Cows by Methods of Laser Interference and Electron Scanning Microscopy. Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture, 2024, vol. 16, no. 2, pp. 11-27. DOI: 10.12731/2658-6649-2024-16-2-1073*

Введение

В перечне проблем фундаментального характера остается исследование процессов ответа клеток на действия внешней среды и тем более такого комплексного воздействия как стресс-факторы. Действие стресса отражается, прежде всего, на неспецифической резистентности, кото-

рая представляет способность организма противостоять действию неблагоприятных факторов за счет поддержания защитных сил на должном уровне [9, 17]. Нейтрофилы рассматриваются как первый защитный клеточный барьер, которые быстро мобилизуются из кровотока в инфекционный очаг или место повреждения [18, 20]. Стоит обратить внимание, что изучению нейтрофилов уделяется огромное внимание, когда речь идет о воспалительных заболеваниях, поскольку роль нейтрофилов в воспалении неоспорима [1, 4, 13]. Тем не менее, на наш взгляд, не стоит недооценивать роли нейтрофилов в реализации стрессовой реакции с одной стороны как клеток выполняющих защитную функцию, с другой – возможных деструкторов за счет секреции активных форм кислорода и ряда медиаторов.

Для понимания и расшифровки происходящих изменений в ответ на действие стрессоров требуется привлечение разных оценочных средств. Одним из возможных методологических подходов является использование различных методов визуализации, обеспечивающих доступ к пространственно-временной информации на уровне отдельных органелл и клеток. Использование интерференционных методов для анализа внутриклеточной динамики процессов дает ряд преимуществ перед другими оптическими методами: меньшую инвазивность (отсутствие флуоресцентных маркеров), более высокую чувствительность и быстроедействие, а так же представление локальной оптической разности хода (или фазовой толщины) в нормированных на длину волны значениях [10]. Сканирующая электронная микроскопия является современным методом исследования при проведении медико-биологических исследований, позволяющим визуализировать топографию поверхности образцов [8].

Целью работы ставилось изучение морфо-функционального состояния нейтрофилов при технологическом стрессе с помощью лазерной интерференционной и электронной сканирующей микроскопий.

Материалы и методы исследования

Объектом исследования было клинически здоровое молочное поголовье высокопродуктивных голштинизированных коров чёрно-пёстрой породы второй лактации (n=30). Животные содержались в условиях промышленного комплекса Нижегородской области в типовом коровнике, получали рацион, принятый в хозяйстве и соответствующий нормам кормления. Исследования проводились в зимний период года, наиболее стрессогенный.

Выбор объекта исследования продиктован стратегической задачей современного животноводства, связанной с уменьшением потерь наносимых технологическим стрессом, который вызывает более высокую восприимчивость животных к патогенам и снижение продуктивности животных [23].

В качестве технологического стресса рассматривали совокупность воздействий: перегруппировку животных и смену обслуживающего персонала, действующих ежедневно в течение 7 суток. Исследование морфо-функционального состояния нейтрофилов проводили до технологического стресса и на первые сутки после технологического стресса. Забор крови проводили из яремной вены утром перед кормлением.

Проводили анализ нейтрофилов методами лазерной интерференционной и электронной сканирующей микроскопий.

Для выделения нейтрофилов использовали двойной градиент плотности стерильных растворов фиколла-верографина. Плотность верхнего слоя градиента составляла 1,077 г/см³, нижнего – 1,093 г/см³. Объем градиента для каждого образца равнялся 1,5 мл. После центрифугирования гранулоциты отмывали от градиента и доводили раствором Хенкса до концентрации 5×10^6 клеток/мл.

Оценку морфо-функционального состояния нейтрофилов проводили на лазерном фазово-интерференционном микроскопе МИМ-340 (Россия, Екатеринбург), используя лазер с длиной волны 650 нм и объектив с увеличением 30×. Для захвата изображений применяли видеокамеру VS-415U (НПК Videoscan, Россия) с разрешением 782×582 пикселей [5, 6]. Реконструкцию фазового изображения из интерферограмм осуществляли методом фазовых шагов в программе WinPhast, для последующей работы с изображениями использовали программу FIJI (США) и Microcal Origin (Microcal Inc., США).

Протокол интерференционной микроскопии включал визуализацию фазово-интерференционного образа клетки (топограмму) и анализ морфометрических показателей клеток. Количество (М) вещества в нейтрофилах оценивали [7]:

$$M = \rho \Phi_{\text{mean}} S / (n - n_m)$$

где ρ – удельная плотность вещества (для белка 1.33–1.36), n – показатель преломления вещества (для белка 1.5–1.6), n_m – показатель светопреломления среды, Φ_{mean} – среднее значение величины оптической разности хода (ОРХ) в клетке, S – площадь клетки.

Методом электронной сканирующей микроскопией исследовали качественные характеристики нейтрофилов. Использовали сканирующий элек-

тронный микроскоп Hitachi SU8220 (Япония): разрешение 0,8 нм при 15 кВ, WD 4 мм 1,1 нм при 1 кВ в режиме торможения электронов. Увеличение: низкое $\times 20$ - $\times 2,000$; высокое $\times 100$ - $\times 1\,000\,000$. При анализе образцов мазки крови фиксировали глутаровым альдегидом с последующей отмывкой в фосфатном буфере без замораживания, сушки и нанесения электропроводящего покрытия [11].

Статистическую обработку полученных данных проводили с помощью алгоритмов среды MatLab и с использованием программы Statistica, оценку достоверности – по критерию Стьюдента. Уровень значимости устанавливался равным 0.05. При статистической обработке от одной пробы оценивали не менее 40 клеток.

Результаты исследования и их обсуждение

Проведение лазерной интерференционной микроскопии нейтрофилов до технологического стресса, позволило выделить две наиболее выраженные популяции клеток (рис. 1). Первая популяция клеток представлена формами покоя – I морфологический тип [2]: на топограммах видно, что клетки округлой формы с четко выделенным ядром и равномерным распределением внутриклеточного содержимого (рис. 1 А). Нейтрофилы данного типа имели высокую плотность внутриклеточного содержимого. Вторая популяция клеток имела неровную поверхность, происходило пространственное перераспределение цитоплазмы, внутриклеточных органелл и ядра, что представляет II морфологический тип – функционально активных нейтрофилов (рис. 1 Б). Деформированность контуров клетки говорит о той или иной степени ее активности [9].

После технологического стресса наблюдалось уменьшение I морфологического типа и увеличение II морфологического типа, что сопровождалось появлением дегенеративно изменённых нейтрофилов, исчерпавших свой резерв клеток – III морфологический тип (рис. 1 В, рис. 2). У клеток III морфологического типа наблюдалось снижение клиренса плотности внутриклеточного содержимого.

Обработка фазовых изображений выявила, что среднее значение фазовой высоты после технологического стресса уменьшалось, среднее значение площади клеток увеличивалось (рис. 3). Следует отметить, что у дегенеративно измененных клеток наблюдалось не только уменьшение фазовой высоты, но и площади. При этом регистрировалось потеря вещества нейтрофилами, возникающая, по-видимому, в результате повреждения мембран клеток и выхода веществ наружу.

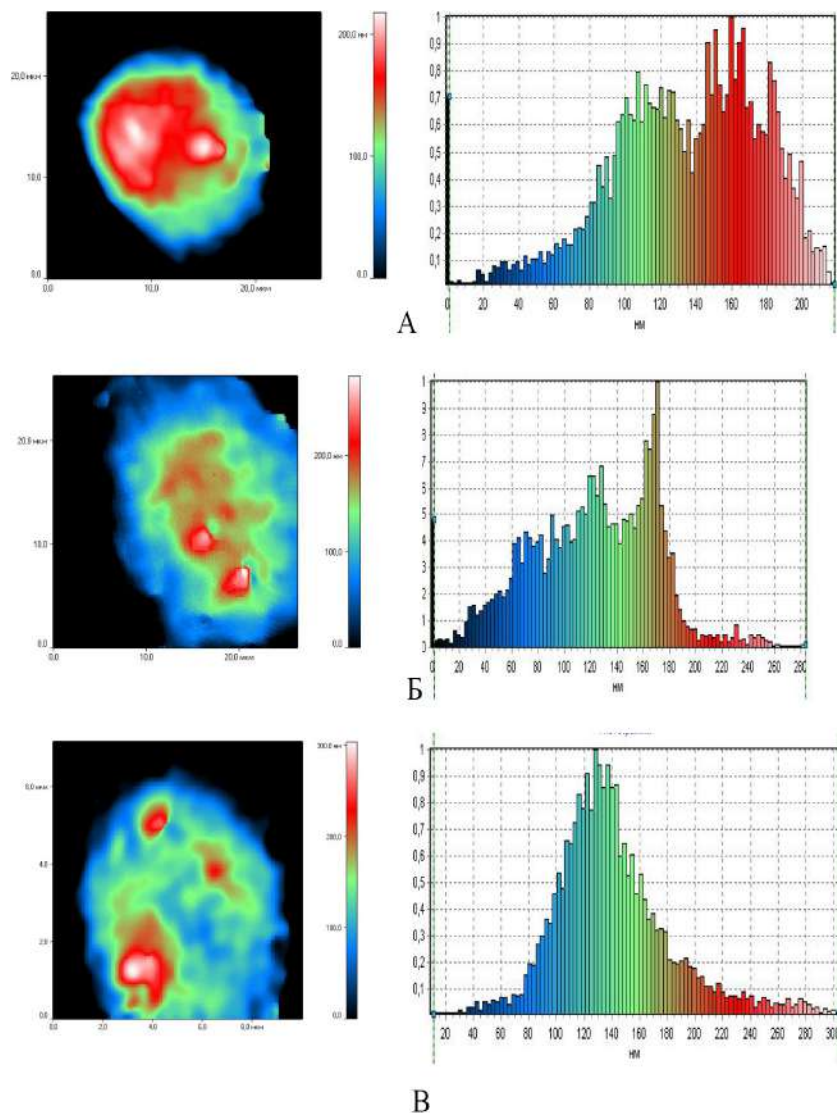


Рис. 1. Различные морфологические типы нейтрофилов.

А – I морфологический тип: фазовое изображение (топограмма) и гистограмма распределения оптической плотности; Б – II морфологический тип; В – III морфологический тип.

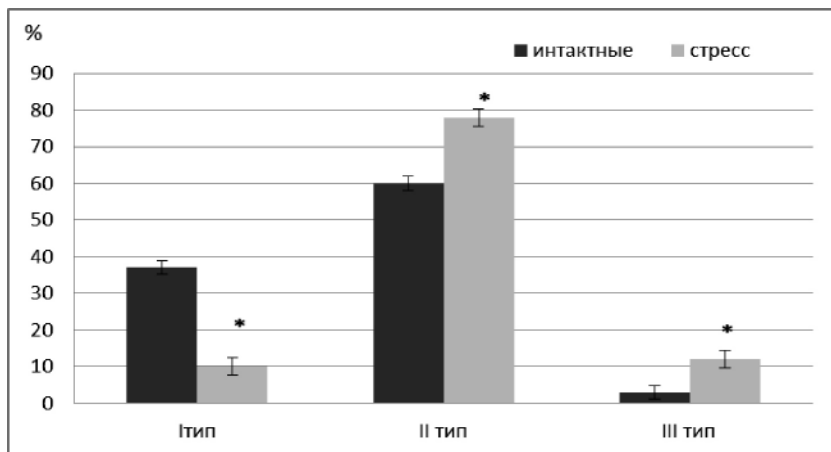


Рис. 2. Распределение нейтрофилов по морфологическому типу: I морфологический тип – неактивные нейтрофилы, II морфологический тип – функционально активные нейтрофилы, III морфологический тип – дегенеративно измененные нейтрофилы.
«*» – статистически значимые различия относительно значений до технологического стресса, $p \leq 0.05$.

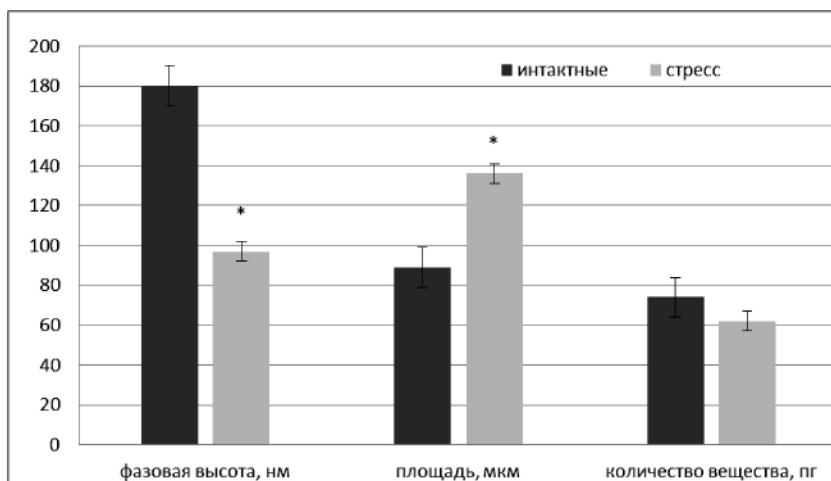


Рис. 3. Гистограмма средней фазовой высоты, средней площади и количества вещества нейтрофилов до и после технологического стресса.
«*» – статистически значимые различия относительно значений до технологического стресса, $p \leq 0.05$.

Проведение электронной сканирующей микроскопии позволило выявить появление после технологического стресса НЕТозов с сохранением целостности клеток (рис. 4 А) и нейтрофилов с опустошенными гранулами и вакуолизацией цитоплазмы (рис. 4 Б).

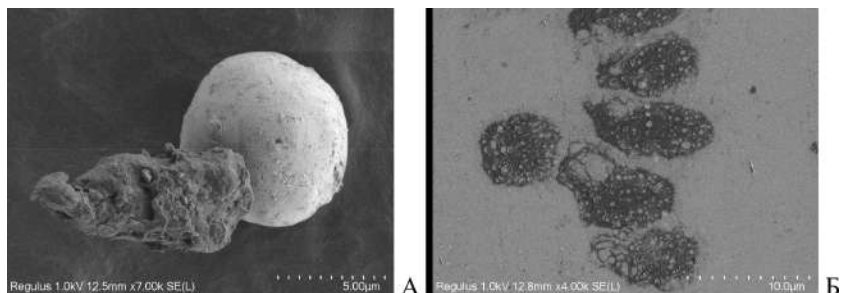


Рис. 4. Сканирующая электронная микроскопия: топографическое изображение НЕТоза (А) и нейтрофилов с опустошенными гранулами (Б) после технологического стресса.

Заключение

Выявленное появление дегранулированных форм клеток после технологического стресса сопровождалось увеличением активных форм нейтрофилов. Вероятно, это обусловлено тем, что первичные гранулы, содержащие миелопероксидазу, азуроцидин, катепсин G, эластазу, лизоцим, дефензины, преимущественно сливаются с фагосомами [22]. Остальные гранулы преимущественно выделяют свое содержимое наружу [9].

Проявление НЕТозов в крови коров при технологическом стрессе может быть направлено на замедление распространения патогенов, поскольку показан механизм выброса ДНК в очагах инфекций, при которых нейтрофилы сохраняют свою жизнеспособность и естественные эффекторные функции [25, 26]. При этом классический НЕТоз представляет собой особую форму программируемой гибели клеток, для которой характерны выход компонентов гранул в цитозоль с последующей гибелью клеток [15, 16] и избыточное образование НЕТозов может приводить к развитию патологии, а также к нарушению кровообращения [20].

Учитывая, что болезнь может возникать только при нарушении нормальной реактивности организма [3], выявленные в работе морфо-функциональные изменения нейтрофилов доказывают напряжение механизмов адаптации при технологическом стрессе. Данное обстоятельство необхо-

димо учитывать для предотвращения срыва адаптационных возможностей организма высокопродуктивных животных.

Заключение комитета по этике. Исследование проводили в соответствии с требованиями Европейской конвенции о защите позвоночных животных, используемых для экспериментов или в научных целях (ETS №123, Страсбург, 1986) и Приказа МЗ РФ № 708 Н от 28 августа 2010 г.

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

Информация о спонсорстве. Работа выполнена при поддержке гранта РНФ № 22-26-00311.

Список литературы

1. Андрюков Б.Г. и соавт. Антимикробные стратегии нейтрофилов при инфекционной патологии / Б.Г. Андрюков, Л.М. Сомова, Е.И. Дробот, Е.В. Матосова // Клиническая лабораторная диагностика. 2016. Т. 61. №12. С. 825.
2. Василенко И.А. и др. Цитометрия нейтрофилов в оценке эффективности комплексного лечения больных остеомиелитом нижней челюсти / И.А. Василенко, А.А. Никитин, Н.В. Малыченко, И.А. Иванюта, В.Б. Метелин, Б.Я. Агаджанян // Альманах клинической медицины. 2008. №18. С. 64.
3. Гаврилова Г.А. и др. Неспецифическая резистентность коров, инфицированных ВЛКРС и больных лейкозом / Г.А. Гаврилова, С.В. Бахметьева // Сибирский вестник сельскохозяйственной науки. 2005. №1. С. 118.
4. Демидчик Л.А. Исследование нейтрофилов у больных с экзогенными токсическими нефропатиями / Л.А. Демидчик, Е.В. Ключкова, Е.А. Рассохина // Современные проблемы науки и образования. 2018. №6. С. 49.
5. Дерюгина А.В. и др. Трансляционные изменения электрофоретической подвижности и фазового портрета эритроцитов с учетом развития стрессовой реакции в условиях патологического процесса / А.В. Дерюгина, М.Н. Иващенко, П.С. Игнатьев, А.Г. Самodelкин // Альманах клинической медицины. 2018. Т. 46. №8. С. 765-771.
6. Дерюгина А.В. и др. Применение лазерной интерференционной микроскопии для оценки функционального состояния эритроцитов / А.В. Дерюгина, М.Н. Иващенко, А.А. Белов, П.С. Игнатьев, В.Б. Метелин // Цитология. 2021. Т. 63. №1. С. 74.
7. Загубиженко М.В. и др. Использование метода лазерной интерференционной микроскопии для исследования состояния перитонеальных макро-

- фагов мыши, облученных ультрафиолетовым светом / Загубиженко М.В., Юсипович А.И., Пирутин С.К., Минаев В.Л., Кудряшов Ю.Б. // Радиационная биология. Радиоэкология. 2011. Т. 51. №6. С. 715.
8. Красильникова В.Л. и др. Сканирующая электронная микроскопия в изучении поверхностных тканевых реакций при выборе титановых имплантатов для реконструктивной хирургии области орбиты / Загубиженко М.В., Юсипович А.И., Пирутин С.К., Минаев В.Л., Кудряшов Ю.Б. // Инновационные технологии в медицине. 2018. №1. С. 36.
 9. Пискарев И.М., Иванова И.П., Самоделкин А.Г., Иващенко М.Н.. Иницирование и исследование свободно-радикальных процессов в биологических экспериментах. Нижний Новгород. 2016. 106 с.
 10. Тузлуков И.И. Сравнительная оценка морфологических и иммунологических методик определения активности нейтрофилов / И.И. Тузлуков // Российский медико-биологический вестник имени академика И. П. Павлова. 2004. №3-4. С. 113.
 11. Тычинский В.П. Динамическая фазовая микроскопия: возможен ли «диалог» с клеткой? / В.П. Тычинский // Успехи физических наук. 2007. Т. 177. №5. С. 535.
 12. Тюмина Н.А. и др. Низковакуумная сканирующая электронная микроскопия тучных клеток на поверхности надпочечника крысы / Н.А. Тюмина, К.Г. Кемоклидзе, Д.Э. Пухов // Морфология. 2016. Т. 149. №3 С. 211.
 13. Castanheira F.V.S. Neutrophils and NETS in modulating acute and chronic inflammation // Blood. 2019. №133. P. 2178-2185. <https://doi.org/10.1182/blood-2018-11-844530>
 14. D'Cruz A.A. The pseudokinase MLKL activates PAD4-dependent NET formation in necroptotic neutrophils / A.A. D'Cruz, M. Speir, M. Bliss-Moreau, S. Dietrich, S. Wang // Sci. Signal. 2018. Vol. 11. <https://doi.org/10.1126/scisignal.aao1716>
 15. Desai J. PMA and crystal-induced neutrophil extracellular trap formation involves RIPK1-RIPK3-MLKL signaling / J. Desai, S.V. Kumar, S.R. Mulla, L. Konrad, S. Romoli // Eur. J. Immunol. 2016. №46. P. 223. <https://doi.org/10.1002/eji.201545605>
 16. G.E. Helal Effect of noise stress and/or sulpiride treatment on some physiological and histological parameters in female albino rats / G.E. Helal, F. Eid, M.T. Neama // The Egypt J. hospital med. 2011. V. 44. P. 295
 17. Kesner E.E. Characteristics of mitochondrial transformation into human cells / E.E. Kesner, A. Saada-Reich, H. Lorberboum-Galski // Sci. Rep. 2016. №6. P. 26057. <https://doi.org/10.1038/srep26057>

18. Mantovani A. Neutrophils in the activation and regulation of innate and adaptive immunity / A. Mantovani, M.A. Cassatella, C. Costantini, S. Jaillon // *Nat. Rev. Immunol.* 2011. Vol. 11. P. 519. <https://doi.org/10.1038/nri3024>
19. Moschonas I.C. The pathway of neutrophil extracellular traps towards atherosclerosis and thrombosis / I.C. Moschonas, A.D. Tselepis // *Atherosclerosis.* 2019. V. 288. P. 9. <https://doi.org/10.1016/j.atherosclerosis.2019.06.919>
20. Reeves E.R. Killing activity of neutrophils is mediated through activation of proteases by K⁺ flux / E.R. Reeves, H. Lu, R.T. Jacobs // *Nature.* 2002. Vol. 416 (6878). P. 291. <https://doi.org/10.1038/416291a>
21. Romero L.M. Physiological stress in ecology: lessons from biomedical research // *Trends in Ecology and Evolution.* 2004. Vol. 19. P. 249. <https://doi.org/10.1016/j.tree.2004.03.008>
22. Spees J.L. Mitochondrial transfer between cells can rescue aerobic respiration / J.L. Spees, S.D. Olson, M.J. Whitney, D.J. Prockop // *Proc.Natl.Acad. Sci. U.S.A.* 2006. Vol. 103. P. 1283. <https://doi.org/10.1073/pnas.0510511103>
23. Yipp B.G. Infection-induced NETosis is a dynamic process involving neutrophil multitasking in vivo / B.G. Yipp, B. Petri, D. Salina// *Nature medicine.* 2012. V. 18. P. 1386. <https://doi.org/10.1038/nm.2847>

References

1. Andriukov B.G. et al. Antimikrobnye strategii nejtrofilov pri infekcionnoj patologii [Antimicrobial strategies of neutrophils in infectious pathology] / B.G. Andriukov, L.M. Somova, E.I. Drobot, E.V. Matosova. *Klinicheskaya laboratornaya diagnostika* [Clinical laboratory diagnostics], 2016, vol. 61, no. 12, p. 825.
2. Vasilenko I.A. et al. Citometriya nejtrofilov v ocenke effektivnosti kompleksnogo lecheniya bol'nyh osteomielitom nizhnej chelyusti [Cytometry of neutrophils in assessing the effectiveness of complex treatment of patients with osteomyelitis of the lower jaw] / I.A. Vasilenko, A.A. Nikitin, N.V. Malychenko, I.A. Ivanyuta, V.B. Metelin, B.Ya. Aghajanyan. *Al'manah klinicheskoy mediciny* [Almanac of clinical Medicine], 2008, no. 18, p. 64.
3. Gavrilova G.A. et al. Nespecificheskaya rezistentnost' korov, inficirovannyh VLKRS i bol'nyh lejkozom [Nonspecific resistance of cows infected with VLKRS and patients with leukemia] / G.A. Gavrilova, S.V. Bakhmetyeva. *Sibirskij vestnik sel'skohozyajstvennoj nauki* [Siberian Bulletin of Agricultural Science], 2005, no. 1, p. 118.
4. Demidchik L.A. Issledovanie nejtrofilov u bol'nyh s ekzogennymi toksicheskimi nefropatiyami [Study of neutrophils in patients with exogenous toxic nephropathies] / L.A. Demidchik, E.V. Klochkova, E.A. Rassokhina. *Sovre-*

- mennye problemy nauki i obrazovaniya* [Modern problems of science and education], 2018, no. 6, p. 49.
5. Deryugina A.V. et al. Translyacionnye izmeneiya elektroforeticheskoy podvizhnosti i fazovogo portreta eritrocitov s uchetom razvitiya stressovoy reakcii v usloviyah patologicheskogo processa [Translational changes in electrophoretic mobility and phase portrait of erythrocytes taking into account the development of a stress reaction in a pathological process] / A.V. Deryugina, M.N. Ivashchenko, P.S. Ignatiev, A.G. Samodelkin. *Al'manah klinicheskoy mediciny* [Almanac of Clinical Medicine], 2018, vol. 46, no. 8, pp. 765-771.
 6. Deryugina A.V. et al. Primenenie lazernoj interferencionnoj mikroskopii dlya ocenki funkcional'nogo sostoyaniya eritrocitov [Application of laser interference microscopy to assess the functional state of erythrocytes] / A.V. Deryugina, M.N. Ivashchenko, A.A. Belov, P.S. Ignatiev, V.B. Metelin. *Citologiya* [Cytology], 2021, vol. 63, no. 1, p. 74.
 7. Zagubizhenko M.V. et al. Ispol'zovanie metoda lazernoj interferencionnoj mikroskopii dlya issledovaniya sostoyaniya peritoneal'nyh makrofagov myshi, obluchennyh ul'traioletovym svetom [Using the method of laser interference microscopy to study the state of mouse peritoneal macrophages irradiated with ultraviolet light] / M.V. Zagubizhenko, A.I. Yusipovich, S.K. Pirutin, V.L. Minaev, Yu.B. Kudryashov. *Radiacionnaya biologiya. Radioekologiya*. [Radiation Biology. Radioecology], 2011, vol. 51, no. 6, p. 715.
 8. Krasilnikova V.L. et al. Skaniruyushchaya elektronnaya mikroskopiya v izuchenii poverhnostnyh tkanevyh reakcij pri vybore titanovyh implantatov dlya rekonstruktivnoj hirurgii oblasti orbity [Scanning electron microscopy in the study of surface tissue reactions when choosing titanium implants for reconstructive surgery of the orbital region] / M.V. Zagubizhenko, A.I. Yusipovich, S.K. Pirutin, V.L. Minaev, Yu.B. Kudryashov. *Innovacionnye tekhnologii v medicine* [Innovative technologies in medicine], 2018, no. 1, p. 36.
 9. Piskarev I.M., Ivanova I.P., Samodelkin A.G., Ivashchenko M.N. *Iniciirovanie i issledovanie svobodno-radikal'nyh processov v biologicheskikh eksperimentah* [Initiation and investigation of free radical processes in biological experiments]. Nizhniy Novgorod, 2016, 106 p.
 10. Tuzlukov I.I. Sravnitel'naya ocenka morfologicheskikh i immunologicheskikh metodik opredeleniya aktivnosti nejtrofilov [Comparative assessment of morphological and immunological methods for determining the activity of neutrophils]. *Rossijskij mediko-biologicheskij vestnik imeni akademika I.P. Pavlova* [Russian Biomedical Bulletin named after Academician I.P. Pavlov], 2004, no. № 3-4, p. 113.

11. Tychinsky V.P. Dinamicheskaya fazovaya mikroskopiya: vozmozhen li «dialog» s kletkoj? [Dynamic phase microscopy: is a “dialogue” with a cell possible?]. *Uspekhi fizicheskikh nauk* [Successes of physical sciences], 2007, vol. 177, no. 5, p. 535.
12. Tyumina N.A. et al. Nizkovakuumnaya skaniruyushchaya elektronnaya mikroskopiya tuchnyh kletok na poverhnosti nadpochechnika krysy [Low-vacuum scanning electron microscopy of mast cells on the surface of the rat adrenal gland] / N.A. Tyumina, K.G. Kemoklidze, D.E. Pukhov. *Morfologiya* [Morphology], 2016, vol. 149, no. 3, p. 211.
13. Castanheira F.V.S. Neutrophils and NETS in modulating acute and chronic inflammation. *Blood.*, 2019, no. 133, pp. 2178-2185. <https://doi.org/10.1182/blood-2018-11-844530>.
14. D’Cruz A.A. The pseudokinase MLKL activates PAD4-dependent NET formation in necroptotic neutrophils / A.A. D’Cruz, M. Speir, M. Bliss-Moreau, S. Dietrich, S. Wang. *Sci. Signal.*, 2018, vol. 11. <https://doi.org/10.1126/scisignal.aao1716>
15. Desai J. PMA and crystal-induced neutrophil extracellular trap formation involves RIPK1-RIPK3-MLKL signaling / J. Desai, S. V. Kumar, S.R. Mulla, L. Konrad, S. Romoli. *Eur. J. Immunol.*, 2016, no. 46, p. 223. <https://doi.org/10.1002/eji.201545605>
16. Helal G.E. Effect of noise stress and/or sulpiride treatment on some physiological and histological parameters in female albino rats / G.E. Helal, F. Eid, M.T. Neama. *The Egypt J. hospital med.*, 2011, vol. 44, p. 295.
17. Kesner E.E. Characteristics of mitochondrial transformation into human cells / E.E. Kesner, A. Saada-Reich, H. Lorberboum-Galski. *Sci. Rep.*, 2016, no. 6, 26057. <https://doi.org/10.1038/srep26057>
18. Mantovani A. Neutrophils in the activation and regulation of innate and adaptive immunity / A. Mantovani, M.A. Cassatella, C. Costantini, S. Jaillon. *Nat. Rev. Immunol.*, 2011, vol. 11, p. 519. <https://doi.org/10.1038/nri3024>
19. Moschonas I.C. The pathway of neutrophil extracellular traps towards atherosclerosis and thrombosis / I.C. Moschonas, A.D. Tselepis. *Atherosclerosis*, 2019, vol. 288, p. 9. <https://doi.org/10.1016/j.atherosclerosis.2019.06.919>
20. Reeves E.R. Killing activity of neutrophils is mediated through activation of proteases by K⁺ flux / E.R. Reeves, H. Lu, R.T. Jacobs. *Nature*, 2002, vol. 416 (6878), p. 291. <https://doi.org/10.1038/416291a>
21. Romero L.M. Physiological stress in ecology: lessons from biomedical research. *Trends in Ecology and Evolution*, 2004, vol. 19, p. 249. <https://doi.org/10.1016/j.tree.2004.03.008>

22. Spees J.L. Mitochondrial transfer between cells can rescue aerobic respiration / J.L. Spees, S.D. Olson, M.J. Whitney, D.J. Prockop. *Proc.Natl.Acad. Sci. U.S.A.*, 2006, vol. 103, p. 1283. <https://doi.org/10.1073/pnas.0510511103>
23. Yipp B.G. Infection-induced NETosis is a dynamic process involving neutrophil multitasking in vivo / B.G. Yipp, B. Petri, D. Salina. *Nature medicine*, 2012, vol. 18, p. 1386. <https://doi.org/10.1038/nm.2847>

ВКЛАД АВТОРОВ

Дерюгина А.В.: разработка концепции научной работы, составление черновика рукописи.

Ивашенко М.Н.: разработка концепции научной работы, редактирование черновика рукописи, написание рукописи.

Метелин В.Б., Ковылин Р.С., Игнатьев П.С.: сбор и анализ данных, статистическая обработка.

AUTHOR CONTRIBUTIONS

Anna V. Deryugina: development of the concept of scientific work, drafting of the manuscript.

Marina N. Ivashchenko: development of the concept of scientific work, editing of the draft of the manuscript, writing the manuscript.

Vladislav B. Metelin, Roman S. Kovylin, Pavel S. Ignatiev: data collection and analysis, statistical processing.

ДААННЫЕ ОБ АВТОРАХ

Дерюгина Анна Вячеславовна, доктор биологических наук, доцент
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования “Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского”
пр. Гагарина, 23, г. Нижний Новгород, 603022, Российская Федерация
deryugina@ibbm.unn.ru

Ивашенко Марина Николаевна, кандидат биологических наук, доцент
ФГБОУ ВО «Нижегородский государственный агротехнологический университет»
пр. Гагарина, 97, г. Нижний Новгород, 603107, Российская Федерация
kafedra2577@mail.ru

Метелин Владислав Борисович, кандидат биологических наук

*Государственное бюджетное учреждение здравоохранения Московской области «Московский областной научно-исследовательский клинический институт им. М.Ф. Владимирского»
ул. Щепкина 61/2, корпус 1, г. Москва, 129110, Российская Федерация
verrv01@gmail.com*

Ковылин Роман Сергеевич, кандидат химических наук

*Институт металлоорганической химии им. Г.А. Разуваева РАН
ул. Тropicина, 49, г. Нижний Новгород, 603137, Российская Федерация
roman@iomc.ras.ru*

Игнатьев Павел Сергеевич, кандидат физико-математических наук

*Производственное объединение «Уральский оптико-механический завод « имени Э.С. Яламова
ул. Восточная, 33 Б, г. Екатеринбург, 620100, Российская Федерация
ignasha2000@yandex.ru*

DATA ABOUT THE AUTHORS

Anna V. Deryugina, Dr. of Bio. Sc., Associate Professor

*National Research Lobachevsky State University of Nizhny Novgorod
23, Gagarin Ave., Nizhny Novgorod, 603022, Russian Federation
SPIN-code: 7974-4600
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8812-8559>
deryugina@ibbm.unn.ru*

Marina N. Ivashchenko, Cand. of Bio. Sc., Associate Professor

*Nizhny Novgorod State Agrotechnological University
97 Gagarin Ave., Nizhny Novgorod, 603107, Russian Federation
SPIN-code: 8510-8676
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6642-8518>
kafedra2577@mail.ru*

Vladislav B. Metelin, Cand. of Bio. Sc.

*Moscow Regional Research Clinical Institute named after M.F. Vladimirovsky
61/2, Shchepkina Str., Building 1, Moscow, 129110, Russian Federation*

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0600-5729>

verrv01@gmail.com

Roman S. Kovylin, Cand. of Chemical Sc.

Razuvaev Institute of Organometallic Chemistry of the Russian Academy of Sciences

49, Tropinina Str., Nizhny Novgorod, 603137, Russian Federation

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3897-6960>

roman@iomc.ras.ru

Pavel S. Ignatiev, Cand. of Physical and Mathematical Sc.

Ural Optical and Mechanical Plant named after E.S. Yalamov, Production Association

33B, Vostochnaya Str., Yekaterinburg, 620100, Russian Federation

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5075-7034>

ignasha2000@yandex.ru

Поступила 18.09.2023

После рецензирования 30.09.2023

Принята 09.10.2023

Received 18.09.2023

Revised 30.09.2023

Accepted 09.10.2023

DOI: 10.12731/2658-6649-2024-16-2-804

УДК 612.089



Научная статья

ОЦЕНКА ГЕМОСОВМЕСТИМОСТИ НАНОСТРУКТУР В МОДЕЛЬНОЙ СИСТЕМЕ IN VITRO

Е.В. Невзорова, В.В. Немцова, А.А. Беляев

Обоснование. Важной проблемой оценки наночастиц является выявление тест-объектов, позволяющих оценить повреждающие эффекты *in vitro*.

Цель. Оценить эритроциты крови в качестве модельной системы *in vitro* как оригинального «клеточного дозиметра» эффектов наночастиц и уникальной модели гемосовместимости наноструктур.

Материалы и методы. В работе использованы коллоидные растворы наночастиц серии «Таунит», «Таунит-М», «Таунит-МД». Основной задачей авторы определили изучение влияния ζ -потенциала наночастиц на агрегацию эритроцитов по данным анализа скорости оседания эритроцитов. При расчете скорости оседания эритроцитов применялся метод Вестергрена.

Результаты. Установлена зависимость агрегации эритроцитов от величины ζ -потенциала наночастиц по данным анализа скорости оседания эритроцитов. Выявлено, что наночастицы марки «Таунит-МД», имеющие наибольший ζ -потенциал, препятствовали агрегации эритроцитов, таким образом не влияя на показатели скорости оседания эритроцитов и обуславливали их гемосовместимость. Наночастицы марки «Таунит», «Таунит-М», имеющие низкие значения ζ -потенциалов, вызывали нестабильность коллоидной системы крови и тенденцию эритроцитов к агрегации, что обуславливало значительное повышение показателей скорости оседания эритроцитов. ROC-анализ показал чувствительность теста «Скорость оседания эритроцитов» 92,5%, специфичность 100,0%.

Заключение. Величина ζ -потенциала наночастиц влияет на агрегацию эритроцитов, что определяется данными анализа скорости оседания эритроцитов. Данное исследование доказывает, что эритроциты крови человека являются уникальными биологическими дозиметрами, которые чувствительны к действию наночастиц, а их использование в качестве

тест-объекта позволяет оценить гемосовместимость наноструктур в модельных системах *in vitro*.

Ключевые слова: наночастицы; ζ -потенциал; эритроциты

Для цитирования. Невзорова Е.В., Немцова В.В., Беляев А.А. Оценка гемосовместимости наноструктур в модельной системе *in vitro* // *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*. 2024. Т. 16, №2. С. 28-49. DOI: 10.12731/2658-6649-2024-16-2-804

Original article

EVALUATION OF THE HEMOCOMPATIBILITY OF NANOSTRUCTURES ON IN VITRO MODEL SYSTEMS

E.V. Nevzorova, V.V. Nemtsova, A.A. Belyaev

Background. An important issue in the evaluation of nanoparticles is the manifestation of test objects that allow the evaluation of damaging effects *in vitro*.

Purpose. Evaluate red blood cells as an *in vitro* model system as the original “cellular dosimeter” of the effects of nanoparticles and the unique model of the hemocompatibility of nanostructures.

Materials and methods. In this work colloidal solutions of nanoparticles of the “Taunit”, “Taunit-M”, “Taunit-MD” series were used. The main task determined by the authors is to study the influence of the ζ -potential of nanoparticles on aggregation by analyzing the erythrocyte sedimentation rate. The Westergren method was used for the evaluation of the erythrocyte sedimentation rate.

Results. The relationship between the aggregation of erythrocytes and the values of the ζ -potential of the nanoparticles was established according to the data of the test of the erythrocyte sedimentation rate. It was shown that the nanoparticles of the “Taunit-MD” series possessing the greatest ζ potential, prevented the aggregation of erythrocytes without changing the erythrocyte sedimentation rate, which proves their hemocompatibility. Nanoparticles of “Taunit”, “Taunit-M” series possessing low ζ -potential, caused instability of the colloidal system of blood and caused the tendency of erythrocytes to form aggregations which was revealed by a considerable increase in the rate of erythrocyte sedimentation. The ROC test showed the sensitivity of the “Erythrocyte sedimentation rate” test at 92.5%, and its specificity at 100.0%.

Conclusion. The value of the ζ -potential of the nanoparticles is related to the aggregation of the erythrocytes, which is revealed by the test of the erythrocyte

sedimentation rate. This research proves that human red blood cells are the unique biological dosimeters that are sensitive to the action of nanoparticles and that their use as test objects allows to examine the hemocompatibility of nanostructures on in vitro model systems.

Keywords: nanoparticles; ζ -potential; erythrocytes

For citation. Nevzorova E.V., Nemtsova V.V., Belyaev A.A. Evaluation of the Hemocompatibility of Nanostructures on In Vitro Model Systems. *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*, 2024, vol. 16, no. 2, pp. 28-49. DOI: 10.12731/2658-6649-2024-16-2-804

Введение

Углеродные нанотрубки (УНТ) – нитевидные наночастицы (НЧ), содержащие протяженную внутреннюю полость. НЧ УНТ представляют собой аллотропную модификацию углерода цилиндрической формы. В последнее десятилетие сфера применения УНТ значительно расширилась – их используют в строительстве, энергетике, автомобилестроении, электронике, композитных материалах. Объем потребления углеродных наноматериалов в России составляет 380-390 кг в год, из которых 91% приходится на наноалмазы, на долю фуллеренов – 8%, а на долю углеродного нановолокна и нанотрубок – около 1%. При этом среди общего количества синтезируемых трубок 98% приходится на УНТ [1-4].

В связи с широким использованием УНТ, биобезопасность и биосовместимость углеродной нанопродукции вызывает настороженность, что указывает на актуальность данной проблемы и на необходимость ее дальнейшего изучения.

Была исследована публикационная активность российских и зарубежных специалистов в мировом потоке публикаций по следующим направлениям: наноматериалы, нанобиология, наномедицина.

Во многих исследованиях, представленных в базе данных Научной электронной библиотеке eLIBRARY.RU поднимался вопрос о влиянии НЧ на организм человека [5-8, 12].

Рассмотрены особенности транскутанного поступления НЧ в организм человека. Отмечено, что НЧ различных размеров могут отличаться своими физико-химическими свойствами и соответственно своим влиянием на биологические системы [8].

Особый интерес ученых вызывает влияние НЧ на клетки крови. [5-7]. Исследованиями авторов Малиновская Ю.А., Коваленко Е.И., Ковшова и др. [6], Шароновой Н.В. [12] показана значимость оценки возможного

токсического действия НЧ на компоненты крови на этапе доклинических исследований.

В литературных источниках, размещенных в базе данных «Scopus» и «Web of Science» представлены материалы о химических путях получения наноматериалов и подчеркивается их роль в их биомедицинских приложениях [2, 14], изучаются химические пути воздействия на массив НЧ [3], процессы окисления коллоидных НЧ [18], дана оценка роли наноформы в нейротоксичности различных металлов [1].

В ряде исследований проводились эксперименты *in vivo* на бактериях [21], растениях [24], и животных [1]. Так, в исследованиях Heloise P.F. с соавт. [15] было показано, что при введении НЧ в условиях эксперимента лабораторным мышам аэрозольным и пероральным путем, от 4 до 23% (зависит от типа и размера НЧ) введенных наночастиц обнаруживались в кровотоке и оседали во внутренних органах, нарушая их функционирование.

Проведен анализ литературных источников, посвященных исследованиям влияния НЧ на эритроциты [5, 9-11].

Созарукова М.М. и др. [10], Торопова Я.Г. [11], авторы Ефимова С. и др. [5] полагают, что НЧ способствуют эритроцитозу эритроцитов. Эритроцитоз, считают авторы, является перспективной моделью для оценки нанотоксичности.

В исследованиях Ремпель С.В., Александровой Н.Н., Кузнецовой Ю.В. [9] методами оптической микроскопии изучено взаимодействие НЧ с эритроцитами периферической крови. Показано, что результат взаимодействия зависит от размера и заряда частиц.

Авторы Heloise Pöckel Fernandes, Carlos Lenz Cesar, Maria de Lourdes Barjas-Castro [15], Pavan C., Turci F., Tomatis M. И др. [25] изучали электрические свойства эритроцитов и окружающую среду реакции. Было доказано, межмолекулярные силы участвуют в агглютинации при сгущении клеток, происходящем тогда, когда сила агрегации больше силы отталкивания. Показано, сила отталкивания генерируется отрицательными зарядами на поверхности эритроцитов, которые возникают из-за присутствия карбоновой группы сиаловых кислот в клеточной мембране; эти заряды создают отталкивающий электрический дзета-потенциал между клетками.

В исследованиях Megha N. Karemore, Jasmine G. Avari [20] определен дзета-потенциал эритроцита и его ассоциация с морфологическими изменениями. Электрокинетический потенциал измеряли с помощью системы Zeta meter System 4.0, оснащенной программным обеспечением zetameter-ZM4DAQ, с использованием микроскопически полученных видеоизображений.

Скорость оседания эритроцитов (СОЭ) используется в медицинской практике как индикатор воспаления [23]. В то же время СОЭ является результатом сложного взаимодействия нескольких факторов, из которых наиболее важными являются: количество и поверхностный заряд эритроцитов, белковый состав плазмы и вязкость крови. В крови здорового человека эритроциты, взвешенные в плазме, имеют минимальную скорость оседания. Их агрегация происходит в результате проявления электростатических сил, приводящих к образованию комплексов, которые образуют монетные столбики и оседают. В здоровом организме эритроциты заряжены отрицательно и не агрегируют друг с другом [13].

Авторы Sora Yasri, Viroj Wiwanitkit [23] сообщают о наблюдениях в лабораторном эксперименте по проверке влияния НЧ цинка на результаты СОЭ. Всего в эксперименте было использовано 100 образцов крови. Наблюдение показало, что НЧ, добавленные в кровь *in vitro* могут изменить значения СОЭ в 2,4 раза.

Тем не менее, в литературных источниках мы не нашли сведений о зависимости ζ -потенциала системы кровь-наночастицы и скорости оседания эритроцитов. В связи с чем, исследование эритроцитов крови человека для оценки степени воздействия углеродных наноматериалов на кровь является весьма актуальным.

Цель исследования заключается в оценке возможности использования эритроцитов крови человека в качестве модельной системы *in vitro* как оригинального «клеточного дозиметра» эффектов ксенобиотиков и уникальной модели гемосовместимости наноструктур.

Для реализации цели сформулированы следующие задачи:

1. Определить ζ -потенциал НЧ УНТ типов «Таунит-МД», «Таунит», «Таунит-М».

2. Изучить влияние ζ -потенциала НЧ УНТ типов «Таунит-МД», «Таунит», «Таунит-М» на агрегацию эритроцитов по данным анализа скорости оседания эритроцитов для оценки гемосовместимости наноструктур в модельных системах *in vitro*.

3. Произвести вычисление клинической информативности и прогностичности теста «СОЭ» для оценки гемосовместимости наночастиц. Методом ROC-анализа определить чувствительность, специфичность, критериальные значения показателя «СОЭ».

В данном исследовании в качестве отдельной системы *in vitro* для оценки гемосовместимости наноструктур выбраны эритроциты человека. Учитывая то, что эритроциты человека являются наиболее доступным

носителем биологических мембран, которые характеризуются упругостью и высокой (относительно большинства других клеток) устойчивостью к физическим воздействиям, а также являются более простым элементом для выделения из цельной крови, благодаря своему несложному строению (отсутствие ядра и внутриклеточных органелл), именно их было целесообразно использовать в качестве исследуемого объекта для того чтобы облегчить дальнейшую интерпретацию полученных результатов.

Проведенный систематический обзор показал, что среди исследуемой литературы нет исследований, посвященных воздействию НЧ УНТ типов «Таунит-МД», «Таунит», «Таунит-М» на агрегативную способность эритроцитов, исходя из значения ζ -потенциала на их поверхности.

Материалы и методы исследования

Исследование проводили на базе специализированной медико-биологической лаборатории Медицинского института ТГУ имени Г.Р. Державина. Результаты исследований получены с использованием оснащения центра коллективного пользования научным оборудованием ТГУ имени Г.Р. Державина.

Краткая характеристика наночастиц

В работе использовались углеродные нанотрубки, предоставленные Центром коллективного пользования научным оборудованием по направлению «Получение и применение полифункциональных наноматериалов» ТГТУ, г. Тамбов (www.tstu.ru)

Для анализа исходных УНТ использовали:

1. Метод просвечивающей электронной микроскопии (ЭМ), позволяющий исследовать дифракцию электронов. Для анализа применялись просвечивающие электронные микроскопы JEM-1011 (JEOL, Япония) и LEO 912AB (Carl Zeiss, Германия);

2. Метод ЭМ с рентгенофлуоресцентным анализом. Для анализа применялись сканирующие электронные микроскопы Neon 40 и Merlin (Carl Zeiss, Германия).

Был произведен расчет ζ -потенциала УНТ с использованием комбинации электрофореза и лазерного измерения скорости, основанного на эффекте Доплера; определена скорость частицы в жидкости под действием электрического поля, а затем рассчитан ее ζ -потенциал с применением известных констант образца – вязкости и диэлектрической проницаемости.

Данные исследования обрабатывались при помощи специализированного программного обеспечения «Dispersion Technology Software» («Malvern Instruments Ltd.», UK).

В работе использовались три типа многостенных углеродных нанотрубок производства ООО «Нанотехцентр», г. Тамбов:

1. Углеродные нанотрубки (УНТ) серии «Таунит» (рис. 1)

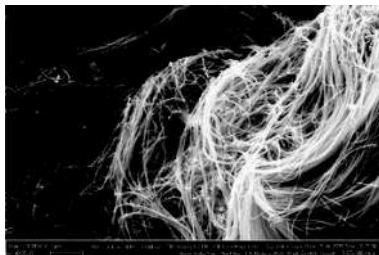


Рис. 1. Углеродные нанотрубки (УНТ) серии «Таунит».
(<http://www.nanotc.ru/productions/87>)

Характеристика: Внешний диаметр 20-50 нм; Внутренний диаметр 10-20 нм; Длина ≥ 2 мкм; Общее количество примесей $\leq 1\%$; Удельная поверхность ≥ 160 м²/г; Насыпная плотность 0,3-0,6 г/см³; ζ -потенциал углеродных нанотрубок -18,0 $\pm$ 3,1 мВ. Образец получен методом газофазного окисления углеродных нанотрубок в парах азотной кислоты при 140 °С, степень Sf функционализации COOH-группами составляет 0,7 ммоль/г.

2. Углеродные нанотрубки (УНТ) серии «Таунит – М» (рис. 2)

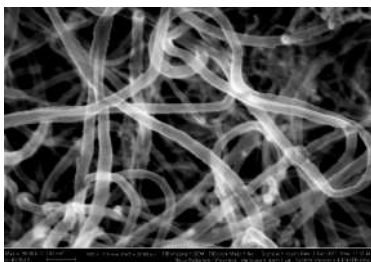


Рис. 2. Углеродные нанотрубки (УНТ) серии «Таунит – М»
(<http://www.nanotc.ru/productions/87>)

Характеристика: Внешний диаметр 10-30 нм; Внутренний диаметр 5-15 нм; Длина ≥ 2 мкм; Общее количество примесей $\leq 1\%$; Удельная поверхность ≥ 270 м²/г; Насыпная плотность 0,025-0,06 г/см³; ζ -потенциал углеродных нанотрубок -15,0 $\pm$ 2,5 мВ. Образец получен методом газофазного окисления углеродных нанотрубок в парах азотной кислоты при 140 °С, степень Sf функционализации COOH-группами составляет 0,9 ммоль/г.

3. Углеродные нанотрубки (УНТ) серии «Таунит – МД» (рис. 3)

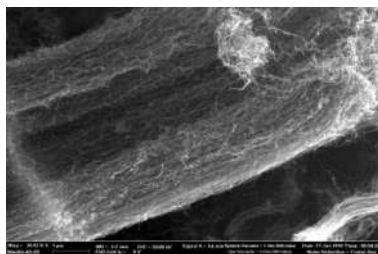


Рис. 3. Углеродные нанотрубки (УНТ) серии «Таунит – МД».
(<http://www.nanotc.ru/productions/87>)

Характеристика: Внешний диаметр 8-30 нм; Внутренний диаметр 5-15 нм; Длина ≥ 20 мкм; Общее количество примесей $\leq 1\%$; Удельная поверхность ≥ 270 м²/г; Насыпная плотность 0,025-0,06 г/см³; ζ -потенциал углеродных нанотрубок $-31,0 \pm 4,1$ мВ. Образец получен методом газовой фазы окисления углеродных нанотрубок в парах азотной кислоты при 140 °С, степень Sf функционализации COOH-группами составляет 0,6 ммоль/г.

Приготовление исследуемых агентов

В работе использованы коллоидные растворы НЧ УНТ серии «Таунит», «Таунит – М», «Таунит – МД» в 0,9%-м растворе NaCl. Для выявления дозозависимости оказываемых эффектов исследовали коллоидные растворы УНТ в концентрациях 0,1; 1,0 и 10,0 мг/л. Объем выборки (n) в каждой из исследуемых групп – восемь образцов.

Приготовление коллоидного раствора НЧ УНТ. Коллоидный раствор УНТ готовили на основе 0,9%-м раствора NaCl (ФР, группа ФР). Навески НЧ (от 1 мг до 10 г с шагом в 10 раз) взвешивали при помощи аналитических весов ViBRA HT (Shinko Denshi, Japan, точность $\pm 0,0001$ г), всыпали в предварительно приготовленную емкость с водой объемом 1 л и перемешивали стеклянной палочкой в течение 20 секунд.

Все НЧ перед измерением разбивались в ультразвуковой ванне (ЗАО «РЭЛТЭК», Россия) в течение 15 мин для достижения однородной суспензии. МУНТ диспергировали в 0,9%-м растворе NaCl при помощи ультразвуковой обработки, продолжительность гомогенизации – до 10 минут, мощность – 300 Вт, частота – 23 кГц с помощью ультразвукового диспергатора Hielscher UIP1000hd (Hielscher Ultrasonics, Германия). 0,9% раствор NaCl для контрольных экспериментов обрабатывали аналогичным образом без добавления наночастиц. Степень диспергирования НЧ

анализировали с использованием метода динамического рассеяния света (ДРС), (DLS – Dinamic light scattering), также известного как фотонная корреляционная спектроскопия (PCS – Photon correlation spectroscopy). Измерения проводили с помощью прибора ZetasizerNano (Malvern, Великобритания).

Приготовление инкубационной взвеси эритроцитов и УНТ. Исследование проводили на гепаринизированной цельной крови человека, для чего готовили инкубационную взвесь: к 1 мл крови при постоянном перемешивании добавляли 1 мл раствора исследуемых наночастиц. Полученную взвесь инкубировали при 37 °С при постоянном перемешивании на возвратно-поступательном шейкере (Heidolph, Германия) при 200 об. /мин. Контролем служили образцы крови с добавлением эквивалентного объема физиологического раствора (ФР, группа ФР).

Исследование гемосовместимости углеродных наночастиц по анализу скорости оседания эритроцитов (СОЭ) [22]

Цельная кровь здоровых доноров, полученная из локтевой вены и стабилизированная цитратом натрия, представлена как объект исследования при вычислении значения СОЭ. При расчете скорости оседания эритроцитов применялся метод Вестергрена (в пробирке), который является международным методом определения данного показателя. Для исследования по методу Вестергрена использовали венозную кровь, взятую с ЭДТА (1,5 мг/мл) и затем разведённую физиологическим раствором в соотношении 4:1. Реакция происходила в особых пробирках Вестергрена с просветом 2,4-2,5 мм и шкалой, градуированной в 200 мм. СОЭ рассчитывался в мм за 1 час. Кровь здоровых доноров, взятая из локтевой вены и стабилизированная цитратом натрия, использовалась в качестве контроля.

Статистическая обработка данных

Статистическая обработка экспериментальных данных осуществлялась с помощью программы «STATISTICA 10.10». Поскольку распределение значений переменных отличалось от нормального (оценка проводилась по критерию Шапиро-Уилка), использовали непараметрические методы статистики. Данные представлены как Медиана (Md), нижняя квартиль G25 и верхняя квартиль G75. Оценку статистической значимости различий между группами проводили с использованием критерия Краскела-Уоллиса, рангового дисперсионного анализа [17]. Критерий уровня значимости при проверке статистических гипотез (p) принимался равным 0,05. Корреляцию количественных показателей оценивали посредством анализа с использованием коэффициента ранговой корреляции (r) Spearman.

Результаты исследования

Данное исследование ставит вопрос о гемосовместимости УНТ типов «Таунит-МД», «Таунит», «Таунит-М», которые имеют отличные друг от друга физико-химические характеристики. Анализ возможных неблагоприятных отклонений от нормы в крови под воздействием НЧ, являлся основной целью данного тестирования.

В результате исследования изучено влияние физических свойств НЧ на кровь, в частности, влияние ζ -потенциала НЧ на агрегацию эритроцитов, которую определяли по скорости оседания эритроцитов (СОЭ). Изучение влияния физических свойств УНТ типов «Таунит-МД», «Таунит», «Таунит-М» на организм человека проводилось впервые.

Было выяснено, все три типа УНТ имели отрицательное значение ζ -потенциала. Минимальный ζ -потенциал (-15,0мВ) был обнаружен у НЧ марки «Таунит-М». У НЧ марки «Таунит» наблюдался ζ -потенциал равный -18,0 Мв. НЧ марки «Таунит-МД» имели максимальный ζ -потенциал (-31,0 Мв), что определило самую высокую стабильность их суспензии из всех рассматриваемых материалов НЧ.

Дана оценка степени воздействия исследуемых НЧ на кровь по данным анализа скорости оседания эритроцитов (табл. 1).

Таблица 1.

Результаты определения СОЭ после инкубации с исследуемыми УНТ (Md [Q₂₅; Q₇₅], n = 24)

Скорость оседания эритроцитов (мм/ч)	Доза, мг/мл	Группы				Критерий Краске-ла-Уол-лиса
		Кон-троль n = 8 (1)	УНТ мар-ки «Тау-нит МД» n = 8 (2)	УНТ мар-ки «Тау-нит» n = 8 (3)	УНТ мар-ки «Тау-нит М» n = 8 (4)	
0,1		7,0 (3,0-8,0)	7,0 (3,0-8,0)	8,0 (4,0-9,0)	7,0 (3,0-8,0)	P ₁₋₄ >0,05
1,0		7,0 (3,0-8,0)	8,0 (5,0-10,0)	24,0 (22,0-26,0)	23,0 (21,0-25,0)	77,64 P ₁₋₄ =0,00
10,0		7,0 (3,0-8,0)	гемолиз	гемолиз	гемолиз	-

Примечание:

P₁₋₄>0,05 – недостоверные различия между группами УНТ и контрольной группой
P₁₋₄=0,00 – достоверные различия между группами УНТ и контрольной группой

Как показали исследования, контрольное значение СОЭ находилось в диапазоне нормальных значений [33].

При воздействии наночастиц в минимальной дозе 0,1 мг/мл во всех группах достоверных изменений не происходило ($P_{1-4} > 0,05$).

При воздействии наночастиц в дозе 1,0 мг/мл характеристики скорости оседания эритроцитов различных экспериментальных групп значимо отличаются друг от друга ($P_{1-4} = 0,00$).

В сравнении с группой контроля (Md 7,0 [Q_{25} 3,0; Q_{75} 8,0]) наночастицы марки «Таунит-МД», имеющие максимальный ζ -потенциал (-31,0 Мв) в дозе 1,0 мг/мл оказывали слабое влияние на СОЭ (Md 8,0 [Q_{25} 5,0; Q_{75} 10,0]).

Наночастицы марки «Таунит» имеющие ζ -потенциал равный -18,0 Мв в дозе 1,0 мг/мл оказывали значительное влияние на СОЭ, повышая ее (Md 24,0 [Q_{25} 22,0; Q_{75} 26,0]).

Наночастицы марки «Таунит М», имеющие минимальный ζ -потенциал (-15,0 мВ) в дозе 1,0 мг/мл также оказывали значительное влияние на СОЭ, повышая ее (Md 23,0 [Q_{25} 21,0; Q_{75} 25,0]).

При воздействии наночастиц в максимальной дозе 10,0 мг/мл во всех группах наблюдался гемолиз эритроцитов

Таким образом, исследованиями установлены статистически значимые различия влияния углеродных наночастиц МУНТ типов «Таунит-МД», «Таунит», «Таунит-М» на агрегативную способность эритроцитов, исходя из значения ζ -потенциала на их поверхности.

Данные исследования подтверждены оценкой корреляционной зависимости показателей СОЭ и ζ -потенциала с использованием непараметрического коэффициента ранговой корреляции Спирмена (рис. 4).

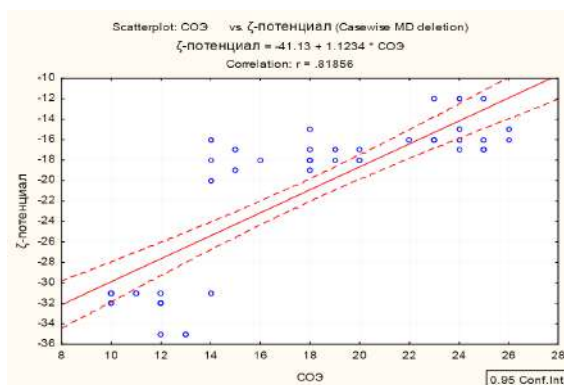


Рис. 4. Оценка корреляционной зависимости показателей СОЭ и ζ -потенциала с использованием непараметрического коэффициента ранговой корреляции Спирмена.

В ходе анализа корреляционной зависимости с использованием непараметрического коэффициента ранговой корреляции Спирмена было выяснено, что существует прямая зависимость между значениями ζ -потенциала и СОЭ ($r=0,81$).

Было произведено вычисление клинической информативности и прогностичности теста «СОЭ» для оценки гемосовместимости наночастиц с определением чувствительности, специфичности, пропорций и позитивных/негативных значений для всех возможных критических значений, которое было рассчитано методом ROC-анализа (receiver operating characteristic analysis).

ROC-анализ показал следующее:

1. Площадь под характеристической кривой (AUC) модели «СОЭ» равна 0,995 ($p < 0,001$), что соответствовало «отличному» уровню прогноза по экспертной шкале AUC;
2. Диагностический порог теста составил $>14,0$ мм/л мм.рт.ст. Значения выше прогнозировали вероятность агрегации эритроцитов;
3. Чувствительность теста составила 92,5%;
4. Специфичность теста составила 100,0% (рис. 5).

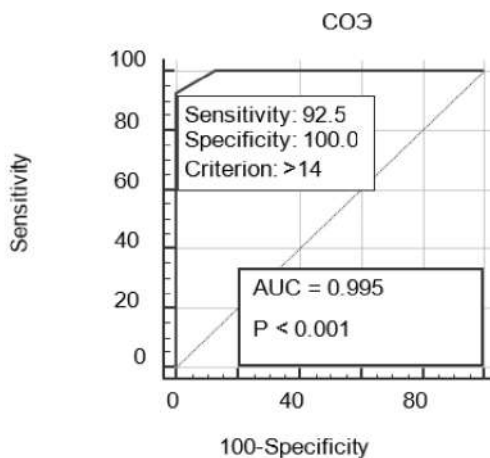


Рис. 5. Анализ кривой модели «СОЭ» на основе ROC-анализа (Receiver operating characteristic analysis).

Обсуждение

Среди физико-химических признаков, ответственных за так называемую «биобезопасность НЧ», ключевая роль отводится поверхностному

заряду НЧ, оцениваемому с помощью ζ-потенциометрии [16]. Дзета-потенциал (электрокинетический потенциал) НЧ описывает состояние протонирования силанолов, которые, в свою очередь, определяют взаимодействие с клеточными мембранами. Связь между частицами дисперсной системы, а именно ее характер и степень взаимодействия, определяется величиной ζ-потенциала. Высокий потенциал гарантирует стабильность, при которой раствор или дисперсия будут менее подвержены агрегации, при условии малого размера частиц и молекул, из которых он будет состоять. Неустойчивость дисперсии будет расти, если ζ-потенциал недостаточно высокий, при этом притяжение будет больше отталкивания.

За границу между устойчивой и неустойчивой суспензией принимаются значения ζ-потенциала +30 мВ и -30 мВ. Системы с ζ-потенциалом более положительным, чем +30 мВ или более отрицательным, чем -30 мВ считаются по мнению McNamee A.P. и соавт. [19] стабильными. Таким образом, ζ-потенциал является мерой устойчивости коллоидного раствора.

При оценке цитотоксического действия МУНТ на эритроциты ключевым фактором является способность красных кровяных клеток связывать их на своей мембране и, возможно, поглощать их. По утверждению авторов Megha N. K., Jasmine G. A. [20] эти процессы зависят от числа слоев МУНТ, их диаметра и длины, ζ-потенциала, степени агрегации, стабильности приготовленной дисперсии и некоторых других показателей.

Авторы Fruchtman Y., Perry Z.H., Moser A. [13] утверждают, что агрегация эритроцитов зависит от их электрических свойств и белкового состава плазмы крови. Эритроциты в норме заряжены отрицательно (ζ-потенциал эритроцитов), т.к. на их эритроцитарной мембране находятся заряженные группы сиаловых кислот, которые обеспечивают взаимное отталкивание эритроцитов и поддержание их во взвешенном состоянии. При воздействии эндогенных или экзогенных факторов эритроциты теряют способность отталкиваться друг от друга, что и ведет к их агрегации, в ходе которой образуются так называемые «монетные столбики». Масса монетных столбиков увеличивает величину оседающих частиц, тем самым ускоряя оседание.

Чтобы получить молекулярное представление о роли ζ-потенциала НЧ в отношении агрегации эритроцитов, было проведено исследование зависимости агрегации эритроцитов от величины ζ-потенциала УНТ марки «Таунит», «Таунит-М» и «Таунит-МД» по данным анализа скорости оседания эритроцитов.

Скорость оседания эритроцитов – неспецифический лабораторный показатель крови, отражающий соотношение фракций белков плазмы. Как

правило, превышение нормы свидетельствует о нарушении электрохимической структуры крови, вследствие чего патологические белки (фибриногены) присоединяются к эритроцитам.

Наименьший ζ -потенциал, определяющий нестабильность системы, имели НЧ марки «Таунит» и «Таунит М». При применении данного типа НЧ в дозе 0,1 мг/мл, происходило значительное повышение СОЭ. Этот феномен связан с качеством функционального покрытия НЧ, которое содержит множество активных групп, таких как $-\text{COO}-$ и $-\text{NH}_3^+$, обладающих способностью активно связываться с мембранами эритроцитов, обуславливая, таким образом их агрегацию.

Как отмечалось выше, НЧ УНТ марки «Таунит МД» имели наибольший ζ -потенциал ($-31,0$ Мв.), величина которого выходила за границы значений, отвечающих за нестабильность системы. НЧ этой марки обладали высокой стабильностью коллоида, что тормозило процесс агрегации, в отличие от НЧ марок «Таунит» и «Таунит М». Благодаря стабильности коллоида, взаимное отталкивание клеток и частиц было слабым, поэтому статистически важных различий в показателях СОЭ в контроле и после взаимодействия с НЧ в дозе 1,0 мг/мл не наблюдалось. Это явление также можно объяснить тем, что функциональное покрытие НЧ марки «Таунит-МД» представлено цилиндрическими УНТ, поверхность которых является малодефектной. Существующие на данной поверхности дефекты имеют центры, которые являются наиболее реакционноспособными при функционализации, так как они состоят из выступающих атомов углерода, которые находятся в состоянии sp^3 -гибридизации. Поэтому из рассматриваемых материалов «Таунит-МД» имел наименьшие значения степеней карбоксилирования, наибольший ζ -потенциал, высокую стабильность коллоида и не проявлял тенденции к агрегации.

Заключение

Проведенное исследование влияния физических свойств углеродных нанотрубок типов «Таунит МД», «Таунит», «Таунит М» на агрегационную способность эритроцитов, так же расчет полученных результатов, подтверждают, что наночастицы изменяют агрегативную способность эритроцитов, исходя из значения ζ -потенциала на их поверхности.

НЧ УНТ «Таунит МД» препятствуют агрегации тромбоцитов, что обуславливает их гемосовместимость. Применение УНТ марки «Таунит» и «Таунит М» провоцировали повышение показателя СОЭ в цельной крови человека, что предположительно подтверждает наличие токсического эффекта.

Подводя итоги, можно сказать, что эритроциты являются уникальными биологическими дозиметрами, которые чувствительны к действию ксенобиотиков, а также позволяют оценить гемосовместимость наноструктур в модельных системах *in vitro*.

Тест-модель оценки основных физиологических показателей эритроцитов *in vitro* дополняет и оптимизирует методические рекомендации по выявлению наночастиц, представляющих потенциальную опасность для здоровья человека, что является в настоящее время весьма актуальным.

Заключение комитета по этике. Исследование было проведено в соответствии с принципами положения Хельсинкской декларации Всемирной медицинской ассоциации (Declaration of Helsinki, and approved by the Institutional Review Board).

Информированное согласие. Информированное согласие было получено от всех субъектов, участвовавших в исследовании.

Письменное информированное согласие на публикацию. Письменное информированное согласие было получено от пациентов на публикацию этой статьи.

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

Информация о спонсорстве. Исследование не имело спонсорской поддержки, авторы не получали гонорар за работу.

Список литературы

1. Анциферова А.А. и др. Взаимосвязи между эффектами наночастиц Ag и Ag-соли на поведенческие и когнитивные функции мышей и старение. // Отчеты по нанобиотехнологиям. 2022, Т. 17. Выпуск 6. С. 857-865. <https://doi.org/10.1134/S2635167622340018>
2. Беспалов А.В. Получение композиционных материалов на основе наночастиц серебра и водорастворимых полимеров и исследование их биологической активности // Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture. 2015. № 11.3. С. 1219-1224. <https://doi.org/10.12731/wsd-2015-11.3-1219-1224>
3. Вовк Н.А., Тархов М.А., Порохов Н.В. и др. Гидромеханическое воздействие на массив горизонтально выровненных углеродных нанотрубок // Отчеты по нанобиотехнологиям. 2022. Т. 17. С. 774-779. <https://doi.org/10.1134/S2635167622060180>
4. Окисление многослойных углеродных нанотрубок в парах перекиси водорода: закономерности и эффекты / Дьячкова Т.П., Хан Ю.А., Орлова Н.В.,

- Кондрашов С.В. // Вестник Тамбовского государственного технического университета. 2016. Т. 22. № 2. С. 323-333.
5. Ефимова С. и др. Редкоземельные ортованадатные наночастицы запускают Ca²⁺-зависимый эриптоз // Нанотехнологии. № 20. Т. 34. 2023. <https://doi.org/10.1088/1361-6528/acbb7f>
 6. Малиновская Ю.А., Коваленко Е.И., Ковшова и др. Цитотоксичность и гемосовместимость рlga наночастиц, нагруженных доксорубицином // Российский биотерапевтический журнал. 2020. Т. 19. № 1. С. 71-80.
 7. Присный А.А., Моисеева А.А., Скворцов В.Н. Сравнительный анализ влияния фторхинолонов на лейкограмму крови цыплят // Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture. 2020. №2. С. 11-24.
 8. Кашуба Н.А. О подходах к оценке влияния наночастиц на организм человека // Гигиена и санитария. 2020. Т. 99. № 5. С. 443-447.
 9. Влияние размера и заряда нестехиометрических наночастиц сульфида серебра на их взаимодействие с клетками крови / Ремпель С.В., Александрова Н.Н., Кузнецова Ю.В., Герасимов Е.Ю. // Неорганические материалы. 2016. Т. 52. № 2. С. 131.
 10. Созарукова М.М., Савинова Е.А., Проскурнина Е.В. Радикал-продуцирующая активность нейтрофилов крови в присутствии наночастиц диоксида церия // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. 2022. № 12. С. 37-41.
 11. Торопова Я.Г., Горшкова М.Н., Моторина Д.С., Влияние наночастиц на основе оксида железа, модифицированных различными оболочками, на генерацию активных форм кислорода стимулированными клетками крови человека в условиях in vitro // Журнал эволюционной биохимии и физиологии. 2021. Т. 57. № 4. С. 310-319.
 12. Шаронова Н.В., Свищевская Е.В., Попов А.А. и др. Взаимодействие наночастиц siFe с эпителиальными и лимфоидными клетками // Биоорганическая химия. 2020. Т. 46. № 6. С. 736-745.
 13. Fruchtmann Y., Perry Z.H., Moser A. Is there still a place to use erythrocyte sedimentation rate in the 21st century // Harefuah. 2019. Vol. 158(11). P. 732-736.
 14. Gabriel C Lavorato et al. Redox phase transformations in magnetite nanoparticles: impact on their composition, structure and biomedical applications // Nanotechnology 2023. <https://doi.org/10.1088/1361-6528/acb943>
 15. Heloise P.F., Carlos L.C., Barjas-Castro M. Electrical properties of the red blood cell membrane and immunohematological investigation // Rev bras hematol hemoter. 2011. Vol. 33(4). P 297-301. <https://doi.org/10.5581/1516-8484.20110080>

16. Karemore M.N., Avari J.G. Zeta potential as a novel diagnostic tool for pre-eclampsia // *Pregnancy Hypertension*. 2018. Vol. 13. P. 187-197. <https://doi.org/10.1016/j.preghy.2018.06.014>
17. Kruskal W. H., Wallis W. A. Use of ranks in one-criterion variance analysis. // *Journal of the American Statistical Association*. 1952. № 260. P. 583-621.
18. M Flores Castañeda et al. Исследование процесса окисления наночастиц висмута с использованием NaClO // *Нанотехнологии*. №20. Т. 34. 2023. <https://doi.org/10.1088/1361-6528/acb44>
19. McNamee A.P., Tansley G.D., Simmonds M.J. Sublethal mechanical trauma alters the electrochemical properties and increases aggregation of erythrocytes // *Microvascular Research*. 2018. Vol. 120. P. 1-7. <https://doi.org/10.1016/j.mvr.2018.05.008>
20. Megha N. K., Jasmine G. A. Zeta potential as a novel diagnostic tool for pre-eclampsia // *Pregnancy Hypertens*. 2018. Vol. 13. P.187-197. <https://doi.org/10.1016/j.preghy.2018.06.014>
21. Tsuang Y.H., Sun J.S., Huang Y.C., Lu C.H., Chang W.H., Wang C.C. И Studies of Photokilling of Bacteria Using Titanium Dioxide Nanoparticles // *Artif Organs*. 2008. Vol. 32(2). P. 167-174. <https://doi.org/10.1111/j.1525-1594.2007.00530.x>
22. Westergren A. Studies on the suspension stability of the blood in pulmonary tuberculosis // *Acta Med. Scand*. 1921. Vol. 54. P. 247-281. <https://doi.org/10.1111/j.0954-6820.1921.tb15179.x>
23. Yasri S., Wiwanitkit V. Aberration of erythrocyte sedimentation rate by zinc nanoparticles // *Iranian journal of pathology*. 2018. Vol. 13(4). P. 479. <https://doi.org/10.1177/107602960300900310>
24. Zeb A., Liu W., Wu J., Lian J., Lian Y. Knowledge domain and emerging trends in nanoparticles and plants interaction research: A scientometric analysis // *Nano-Impact*. 2021. Vol. 12, 100278. <https://doi.org/10.1016/j.impact.2020.100278>
25. Z-potential evidences silanol heterogeneity induced by metal contaminants at the quartz surface: implications in membrane damage / Pavan C., Turci F., Tomatis M., Ghiazza M., Lison D., Fubini B. // *Colloids and surfaces b: biointerfaces*. 2017. Vol. 157. P. 449-455. <https://doi.org/10.1016/j.colsurfb.2017.06.012>

References

1. Antsiferova A.A. et al. Vzaimosvyazi mezhdu effektami nanochastits Ag i Ag-soli na povedencheskie i kognitivnye funktsii myshey i starenie [Relationship between the effects of Ag nanoparticles and Ag salts on behavior, on cognitive functions and on aging in mice]. *Otchety po nanobiotekhnologiyam*

- [Reports on nanobiotechnology], 2022, vol. 17, no. 6, pp. 857-865. <https://doi.org/10.1134/S2635167622340018>
2. Bespalov A.V. Poluchenie kompozitsionnykh materialov na osnove nanochastits serebra i vodorastvorimykh polimerov i issledovanie ikh biologicheskoy aktivnosti [Obtaining compositional materials based on silver nanoparticles and water-soluble polymers and examining their biological activity]. *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*, 2015, no. 11.3, pp. 1219-1224. <https://doi.org/10.12731/wsd-2015-11.3-1219-1224>
 3. Vovk N.A., Tarkhov M.A., Porokhov N.V. i dr. Gidromekhanicheskoe vozdeystvie na massiv gorizontal'no vyrovnennykh uglerodnykh nanotrubok [Hydro-mechanical influence on a mass of horizontally aligned carbon nanotubes]. *Otchety po nanobiotekhnologiyam* [Reports on nanobiotechnology], 2022, vol. 17, pp. 774-779. <https://doi.org/10.1134/S2635167622060180>
 4. Okislenie mnogosloynnykh uglerodnykh nanotrubok v parakh perekisi vodoroda: zakonomernosti i efekty [Oxidation of Multilayered Carbon Nanotubes in Hydrogen Peroxide Vapors: Patterns and Effects] / D'yachkova T.P., Khan Yu.A., Orlova N.V., Kondrashov S.V. *Vestnik Tambovskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta* [Tambov University Review], 2016, vol. 22, no. 2, pp. 323-333.
 5. Efimova S. et al. Redkozemel'nye ortovanadatnye nanochastitsy zapuskayut Ca²⁺-zavisimyy eriptoz [Rare-earth orthovanadate nanoparticles trigger Ca²⁺-dependent epiptosis]. *Nanotekhnologii* [Nanotechnologies], 2023, vol. 34, no. 20. <https://doi.org/10.1088/1361-6528/acbb7f>
 6. Malinovskaya Yu.A., Kovalenko E.I., Kovshova et al. Tsitotoksichnost' i gemosovmestimost' plga nanochastits, nagruzhenykh doksorubitsinom [Cytotoxicity and hemocompatibility of plga nanoparticles loaded with doxorubicin]. *Rossiyskiy bioterapevticheskiy zhurnal* [Russian biotherapeutic journal], 2020, vol. 19, no. 1, pp. 71-80.
 7. Prisnyy A.A., Moiseeva A.A., Skvortsov V.N. Sravnitel'nyy analiz vliyaniya ftorkhinolonov na leykogrammu krovi tsyplyat [Comparative analysis of the influence of fluorquinolone on the blood leukogram of chicks]. *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*, 2020, no. 2, pp. 11-24.
 8. Kashuba N.A. O podkhodakh k otsenke vliyaniya nanochastits na organizm cheloveka [On approaches to assessing the influence of nanoparticles on the human body]. *Gigiena i sanitariya* [hygiene and sanitation], 2020, vol. 99, no. 5, pp. 443-447.
 9. Vliyanie razmera i zaryada nestekhiometricheskikh nanochastits sul'fida serebra na ikh vzaimodeystvie s kletkami krovi [Relationship between size and charge of

- non-stoichiometric silver sulfide nanoparticles and their interaction with blood cells]. Rempel' S.V., Aleksandrova N.N., Kuznetsova Yu.V., Gerasimov E.Yu. *Neorganicheskie materialy* [Inorganic materials], 2016, vol. 52, no. 2, p. 131.
10. Sozarukova M.M., Savinova E.A., Proskurnina E.V. Radikal-produtsiruyushchaya aktivnost' neytrofilov krovi v prisutstvii nanochastits dioksida tseriya [Activity of blood neutrophils to produce radicals with the presence of cerium dioxide nanoparticles]. *Mezhdunarodnyy zhurnal prikladnykh i fundamental'nykh issledovaniy* [International Journal of Applied and Basic Research], 2022, no. 12, pp. 37-41.
 11. Toropova Ya.G., Gorshkova M.N., Motorina D.S., Vliyanie nanochastits na osnove oksida zheleza, modifitsirovannykh razlichnymi obolochkami, na generatsiyu aktivnykh form kisloroda stimulirovannyimi kletkami krovi cheloveka v usloviyakh in vitro [Influence of nanoparticles based on iron oxide modified by different sheaths on generation of active forms of oxygen by stimulated human blood cells under in vitro conditions]. *Zhurnal evolyutsionnoy biokhimii i fiziologii* [Journal of Evolutionary Biochemistry and Physiology], 2021, vol. 57, no. 4, pp. 310-319.
 12. Sharonova N.V., Svirshchevskaya E.V., Popov A.A. et al. Vzaimodeystvie nanochastits sife s epitelial'nymi i limfoidnymi kletkami [Interaction of sife nanoparticles with epithelial and lymphoid cells]. *Bioorganicheskaya khimiya* [Bioorganic chemistry], 2020, vol. 46, no. 6, pp. 736-745.
 13. Fruchtmann Y., Perry Z.H., Moser A. Is there still a place to use erythrocyte sedimentation rate in the 21st century. *Harefuah*, 2019, vol. 158(11), pp. 732-736.
 14. Gabriel C Lavorato et al. Redox phase transformations in magnetite nanoparticles: impact on their composition, structure and biomedical applications. *Nanotechnology*, 2023. <https://doi.org/10.1088/1361-6528/acb943>
 15. Heloise P.F., Carlos L.C., Barjas-Castro M. Electrical properties of the red blood cell membrane and immunohematological investigation. *Rev bras hematol hemoter*, 2011, vol. 33(4), pp. 297-301. <https://doi.org/10.5581/1516-8484.20110080>
 16. Karemore M.N., Avari J.G. Zeta potential as a novel diagnostic tool for pre-eclampsia. *Pregnancy Hypertension*, 2018, vol. 13, pp. 187-197. <https://doi.org/10.1016/j.preghy.2018.06.014>
 17. Kruskal W. H., Wallis W. A. Use of ranks in one-criterion variance analysis. *Journal of the American Statistical Association*, 1952, no. 260, pp. 583-621.
 18. M Flores Castañeda et al. Issledovanie protsessa okisleniya nanochastits vismuta s ispol'zovaniem NaClO [Study of the oxidation process of bismuth nanoparticles using NaClO]. *Nanotekhnologii* [Nanotechnologies], 2023, vol. 34, no. 20. <https://doi.org/10.1088/1361-6528/acb44>

19. McNamee A.P., Tansley G.D., Simmonds M.J. Sublethal mechanical trauma alters the electrochemical properties and increases aggregation of erythrocytes. *Microvascular Research*, 2018, vol. 120, pp. 1-7. <https://doi.org/10.1016/j.mvr.2018.05.008>
20. Megha N. K., Jasmine G. A. Zeta potential as a novel diagnostic tool for pre-eclampsia. *Pregnancy hypertens*, 2018, vol. 13, pp. 187-197. <https://doi.org/10.1016/j.preghy.2018.06.014>
21. Tsuang Y.H., Sun J.S., Huang Y.C., Lu C.H., Chang W.H., Wang C.C. И Studies of Photokilling of Bacteria Using Titanium Dioxide Nanoparticles. *Artif Organs.*, 2008. Vol. 32(2). P. 167-174. <https://doi.org/10.1111/j.1525-1594.2007.00530.x>
22. Westergren A. Studies on the suspension stability of the blood in pulmonary tuberculosis. *Acta Med. Scand*, 1921, vol. 54, pp. 247–281. <https://doi.org/10.1111/j.0954-6820.1921.tb15179.x>
23. Yasri S., Wiwanitkit V. Aberration of erythrocyte sedimentation rate by zinc nanoparticles. *Iranian journal of pathology*, 2018, no. 13(4), pp. 479. <https://doi.org/10.1177/107602960300900310>
24. Zeb A., Liu W., Wu J., Lian J., Lian Y. Knowledge domain and emerging trends in nanoparticles and plants interaction research: A scientometric analysis. *NanoImpact*, 2021, vol. 12, 100278. <https://doi.org/10.1016/j.nimpact.2020.100278>
25. Z-potential evidences silanol heterogeneity induced by metal contaminants at the quartz surface: implications in membrane damage / Pavan C., Turci F., Tomatis M., Ghiazza M., Lison D., Fubini B. *Colloids and surfaces b: biointerfaces*, 2017, vol. 157, pp. 449-455. <https://doi.org/10.1016/j.colsurfb.2017.06.012>

ВКЛАД АВТОРОВ

Невзорова Е.В.: разработка концепции научной работы, сбор и анализ данных, составление черновика рукописи, написание рукописи.

Немцова В.В.: разработка концепции научной работы, редактирование черновика рукописи, написание рукописи.

Беляев А.А.: редактирование черновика рукописи.

AUTHOR CONTRIBUTIONS

Elena V. Nevzorova: development of the concept of scientific work, data collection and analysis, drafting of the manuscript, manuscript writing.

Viktoriya V. Nemtsova: development of the concept of the scientific work, editing of the draft manuscript, writing the manuscript.

Anton A. Belyaev: editing of draft manuscript.

ДАННЫЕ ОБ АВТОРАХ

Невзорова Елена Владимировна, профессор кафедры медицинской биологии Медицинского института, доктор биологических наук, доцент
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Тамбовский государственный университет имени Г.Р. Державина»
ул. Интернациональная, 33, г. Тамбов, 392000, Российская Федерация
evnevzorova@yandex.ru

Немцова Виктория Викторовна, старший преподаватель кафедры медицинской биологии Медицинского института
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Тамбовский государственный университет имени Г.Р. Державина»
ул. Интернациональная, 33, г. Тамбов, 392000, Российская Федерация
Vi.nemtsova@yandex.ru

Беляев Антон Александрович, старший преподаватель кафедры медицинской биологии Медицинского института
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Тамбовский государственный университет имени Г.Р. Державина»
ул. Интернациональная, 33, г. Тамбов, 392000, Российская Федерация
aragon_rw@mail.ru

DATA ABOUT THE AUTHORS

Elena V. Nevzorova, BD, Professor, associate professor of the Medical Biology Chair of Medical Institute
Tambov State University named after G.R. Derzhavin
33, Internatsional'naya Str., Tambov, 392036, Russian Federation
evnevzorova@yandex.ru
SPIN-code: 2067-6425
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3229-0738>

Viktoriya V. Nemtsova, Senior professor of the Medical Biology Chair of Medical Institute
Tambov State University named after G.R. Derzhavin
33, Internatsional'naya Str., Tambov, 392036, Russian Federation

Vi.nemtsova@yandex.ru

SPIN-code: 3059-0085

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9081-7289>

Anton A. Belyaev, Senior professor of the Medical Biology Chair of Medical Institute

Tambov State University named after G.R. Derzhavin

33, Internatsional'naya Str., Tambov, 392036, Russian Federation

aragon_rw@mail.ru

SPIN-code: 8049-8808

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1936-044X>

Поступила 24.08.2023

После рецензирования 05.09.2023

Принята 07.10.2023

Received 24.08.2023

Revised 05.09.2023

Accepted 07.10.2023

ФИЗИОЛОГИЯ И БИОХИМИЯ РАСТЕНИЙ

PLANT PHYSIOLOGY AND BIOCHEMISTRY

DOI: 10.12731/2658-6649-2024-16-2-828

УДК 58.084.1



Научная статья

РЕАЛЬНАЯ
ЭФФЕКТИВНОСТЬ ФОТОСИСТЕМЫ
PSII ERUCA SATIVA ПОД РАЗЛИЧНЫМ
МОНОХРОМНЫМ ОСВЕЩЕНИЕМ

*Ю.Н. Кульчин, А.С. Холин, С.О. Кожанов, Е.П. Субботин,
К.В. Ковалевский, Н.И. Субботина, А.С. Гомольский*

Обоснование. В настоящее время для управления развитием растений и наилучшего понимания отклика растений на различные источники света, особенно в связи с развитием индустрии и применения светодиодных источников света, необходимо понимание фотохимических процессов, происходящих при воздействии различных факторов. В ряде работ установлено значительное воздействие различных интенсивностей и спектра света на рост, морфометрические характеристики растений, которые, в том числе, зависят от фотохимической активности. Проведен ряд работ по оценке влияния интенсивности и спектра света на фотохимические характеристики различных культур, в том числе руколы. Тем не менее, недостаточное количество таких работ и отсутствие оценки реальной эффективности фотосистемы при выращивании промышленно значимых культур при высоких интенсивностях стало обоснованием для настоящей работы.

Цель. На примере промышленно значимой культуры подтвердить факт значительного воздействия различных световых режимов на фотохимическую активность растений и определить оптимальные световые режимы для реальной эффективности фотосистемы PSII.

Материалы и методы. Для решения поставленной задачи были проведены измерения ключевых параметров флуоресценции хлорофилла и оценка фотосинтетической активности руколы. Образцы растений культивировались в фитобоксах со светильниками трех монохромных спектров света (красный (R), зеленый (G), синий (B)). В каждом определенном спектре света

было шесть постоянных уровней облучения (100, 300, 500, 700, 1000, 1400 мкмоль/с*м²). В качестве контрольного варианта использовался теплый белый свет с интенсивностью 200 мкмоль/с*м².

Измерение параметров флуоресценции хлорофилла в листьях руколы на 28 день после высаживания проводили на импульсном флуориметре Hansatech FMS 1+ в течение одного дня в фитобоксах. Были проведены измерения флуоресценции адаптированных к актиничному свету листьев (*F_s*) и максимальной флуоресценции адаптированных к актиничному свету листьев (*F_m'*). Статистическая обработка данных осуществлялась с помощью пакета Microsoft Office Excel (USA).

Результаты. Измерения показали, что фотохимический аппарат руколы по-разному реагирует на стрессовое состояние, вызванное высоким уровнем облученности определенным цветом. Реальная эффективность PSII для каждого монохромного светового режима и определенной интенсивности различается, что указывает на различный отклик растений на стресс, вызываемый определенным сочетанием условий роста. Уровень переноса электронов обладает прямой линейной зависимостью от увеличения PPFD.

Заключение. Таким образом, интенсивность облучения в пределах от 100 до 500 мкмоль/с*м² является наиболее оптимальной для реальной эффективности фотосистемы PSII для всех световых спектров. Использование монохроматического синего света для руколы, нежелательно, поскольку, вероятно, может вызывать нарушение защитных механизмов тушения флуоресценции.

Ключевые слова: рукола; флуоресценция хлорофилла; фотосинтез; фотозффективность PSII; LED-освещение

Для цитирования. Кульчин Ю.Н., Холин А.С., Кожанов С.О., Субботин Е.П., Ковалевский К.В., Субботина Н.И., Гомольский А. С. Реальная эффективность фотосистемы PSII *Eruca sativa* под различным монохромным освещением // Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture. 2024. Т. 16, №2. С. 50-69. DOI: 10.12731/2658-6649-2024-16-2-828

Original article

THE ERUCA SATIVA PSII OPERATING EFFICIENCY UNDER DIFFERENT MONOCHROMATIC LIGHT

Y.N. Kulchin, A.S. Kholin, S.O. Kozhanov, E.P. Subbotin,
K.V. Kovalevsky, N.I. Subbotina, A.S. Gomolsky

Background. Recently, to control plants development and to better understanding the plants response to various light sources, largely due to advances in industry

light-emitting diodes (LEDs), it is necessary to understand the photochemical processes carrying out under impact of different factors. At the number of works authors have established a significant impact of different intensities and light spectrum on the growth and morphometric characteristics of plants. Plants growth and development depends on photochemical activity among many other factors. The range of works were carried out to assess the influence of light intensity and spectrum on the photochemical characteristics of various crops, including rocket. However, the insufficient number of works and the lack of assessment of the photosystem operating efficiency of industrially important crops grown under high light intensities became the rationale for our work.

Purpose. The main purposes of our work was to confirm the significant impact of various light treatments on the photochemical activity of plants and determine the optimal light treatments for the operating efficiency of the PSII photosystem using an industrially important crop.

Materials and methods. To reach work purposes, we measured key parameters of chlorophyll fluorescence and assessed the rocket photosynthetic activity. Plants were cultivated in phytoboxes under LEDs with three monochromatic light spectra (red (R), green (G), blue (B)). Each light spectrum treatment includes six intensities (100, 300, 500, 700, 1000, and 1400 $\mu\text{mol}/\text{m}^2 \text{ s}^{-1}$). Warm white light with an intensity of 200 $\mu\text{mol}/\text{m}^2 \text{ s}^{-1}$ was used as the control.

The chlorophyll fluorescence measurements in rocket leaves were conducted on the 28th day after sowing with Hansatech FMS 1+ pulsed fluorimeter in one day at phytoboxes. Fluorescence of actinic light-adapted leaves (F_s) and maximum fluorescence of actinic light-adapted leaves (F_m') were measured. Statistical analysis was performed using the Microsoft Office Excel (USA).

Results. The results obtained established that the rocket photochemical apparatus responses differently to a stressful state caused by a high irradiation level under the certain spectrum. The operating efficiency of PSII for each monochromatic light treatment and specific intensity varies. Thus, it suggests different plants responses to stress caused by the particular combination of growth conditions. The level of electron transfer has the direct linear correlation with the PPFD increase.

Conclusion. Thus, irradiation intensity in the range from 100 to 500 $\mu\text{mol}/\text{m}^2 \text{ s}^{-1}$ is the most optimal for the operating efficiency of the PSII photosystem under any light spectra used in our work. The use of monochromatic blue light for rocket is probably undesirable, as it is likely caused protective mechanisms disruption of fluorescence quenching.

Keywords: *Eruca sativa*, chlorophyll fluorescence, photosynthesis, PSII, LED-sources

For citation. Kulchin Y.N., Kholin A.S., Kozhanov S.O., Subbotin E.P., Kovalevsky K.V., Subbotina N.I., Gomolsky A.S. *The Eruca sativa PSII Operating Efficiency under Different Monochromatic Light. Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*, 2024, vol. 16, no. 2, pp. 50-69. DOI: 10.12731/2658-6649-2024-16-2-828

Введение

Для возможности управления и наилучшего понимания отклика растений на различные источники света, особенно в связи с развитием индустрии и применения светодиодных источников света, прилагаются значимые усилия. Соответственно, целью настоящей работы была оценка значимости воздействия определенных световых режимов и определенных интенсивностей излучения на фотосинтетический аппарат и происходящие в нем процессы растений на примере руколы (*Eruca sativa* Mill.). Для решения поставленной задачи были проведены измерения ключевых параметров флуоресценции хлорофилла и оценка фотосинтетической активности.

Рукола является произрастающим повсеместно растением, имеющим большую потребительскую ценность, листья которого употребляются в необработанном виде [8]. В руколе содержится большое количество микро- и макроэлементов, она обладает быстрым ростом, коротким жизненным циклом и компактностью [19]. Рукола обладает рядом полезных для здоровья человека свойств: вяжущим, мочегонным, пищеварительным, антигенотоксическим и смягчающим действием [1, 10]. Эти свойства связаны с характерным наличием биоактивных фитохимических веществ, таких как глюкозинолаты и флавоноиды. Учитывая вышесказанное, а также тот факт, что воздействие различных условий на характеристики руколы установлены в ряде работ [1, 8, 10, 15, 19], рукола была использована для данного исследования.

Ключевые параметры флуоресценции хлорофилла могут использоваться при оценке фотосинтетической активности растений *in vivo* и для оценки возможных причин изменений в фотосинтезе и развитии растений [6]. При нарушении состояния клеток под воздействием неблагоприятных условий происходят изменения флуоресценции хлорофилла, которые служат источником информации [5].

Измерение флуоресценции хлорофилла является чувствительным и относительно простым неинвазивным методом, применяемым в ряде установленных и полевых условий для мониторинга фотосинтетической активности растений [11]. Реальная квантовая эффективность фотосистемы PSII в листьях обладает линейным отношением к поглощению CO₂.

Это позволяет использовать оценку флуоресценции хлорофилла для более широкого применения при мониторинге растений.

Уровень фотосинтеза является продуктом поглощенного излучения и квантового выхода, квантовый выход, в свою очередь, зависит от поглощенного излучения и способности к фотосинтезу.

Квантовый выход (квантовая эффективность) процесса: отношение количества молекул, задействованных в процессе, к количеству фотонов, поглощённых фотосистемой. Иначе – количество молекул CO_2 , ассимилированных на 1 моль поглощенных фотонов [2]. При более высоком уровне освещенности возрастает количество закрытых фотосинтетических реакционных центров, т.е. в условиях яркого освещения скорость поглощения фотонов листьями превышает скорость ее утилизации в фотосинтетическом канале.

Активный свет – солнечный свет, либо свет искусственного происхождения, поглощаемый фотосинтетическим аппаратом, вызывающий движение электрона.

Лист под постоянным активным светом обладает уровнем флуоресценции, обозначенным F_s , который увеличивается до максимального уровня флуоресценции F_m' , когда лист подвергается краткому насыщению световой вспышкой, предельно сокращающей Q_A .

Q_A – основной пластохинон-акцептор электронов фотосистемы PSII [6].

F_s – Выход флуоресценции в адаптированных к свету листьях, на которые оказывают влияние многие факторы.

F_q'/F_m' – реальная эффективность фотосистемы PSII, где F_m' – интенсивность флуоресценции хлорофилла во время насыщающей вспышки, созданной на фоне постоянно действующего света; F_q' – разница во флуоресценции между F_m' и F_s (фотохимическое тушение флуоресценции открытыми центрами системы PSII). Позволяет оценить эффективность, с которой свет, поглощенный фотосистемой PSII, используется для редукции Q_A . При заданной PPFD (фотосинтетически активной плотности потока фотонов) этот параметр позволяет оценить квантовый выход линейного потока электронов через PSII.

Существующая модель для фотохимии фотосистемы II (PSII), в которой сопоставлены фотохимическая активность и процессы флуоресценции и расход тепла на энергию возбуждения в пигментной антенне системы PSII, основана на предположении, что перенос электрона из центра реакции хлорофилла P_{680} к основному пластохинон-акцептору системы PSII (Q_A) вызывает тушение флуоресценции [6, 17]. Этот процесс именуется фотохимическим тушением. Увеличение уровня расхода тепла приводит к нефотохимическому тушению флуоресценции [17, 22].

Растения используют свет в качестве источника для фотосинтетической деятельности посредством отклика на его интенсивность, продолжительность и характеристики [14]. Свет воспринимается фотосенсорами – криптохромами, фитохромами и фототропином, которые обеспечивают специфические физиологические отклики растения [13]. Как было установлено ранее, различный световой спектр и интенсивность света значительно влияют на развитие и физиологию растений [3, 4, 15, 19]. Тем не менее, работ, оценивающих воздействие спектра и интенсивности света на фотохимическую активность промышленно значимых культур, которой является рукола [7], недостаточно. В ряде работ [9, 18, 20, 21, 23, 24] для различных культур установлено, что спектральный состав и интенсивность света оказывают значительное влияние на фотохимическую активность растений. В настоящей работе использованы интенсивности света от 100 до 1400 мкмоль/с*м² и монохромные световые режимы. В настоящее время светодиодные источники света используются в качестве надежного источника в управляемом сельскохозяйственном производстве, поскольку обладают требуемыми характеристиками: небольшим весом, безопасностью и долгим сроком службы [12, 16, 25].

В работе [8] проведена оценка фотосинтетической активности руколы, культивируемой под разными режимами световой интенсивности, спектра и фотопериода. Авторы использовали интенсивности 160, 190 и 220 мкмоль/с*м² и комбинированные световые режимы. В работе [19] проведена оценка воздействия различных сочетаний красного, синего и зеленого света на развитие руколы по морфометрическим характеристикам, содержанию аскорбиновой кислоты, Р, К и Са. В работе [15] установлен факт повышения продуктивности руколы при определенных интенсивностях (100, 1000 и 1400 мкмоль/с*м²) монохроматического света. Тем не менее, оценка сочетания воздействия монохроматических световых режимов широкого ряда интенсивностей на реальную квантовую эффективность фотосистемы PSII в упомянутых работах не проводилась. Выбор монохроматических режимов света обусловлен меньшей сложностью в изготовлении источников света при промышленном применении и сопутствующей экономической выгодой при установленном повышении продуктивности.

Цель исследования

На примере промышленно значимой культуры подтвердить факт значительного воздействия различных световых режимов на фотохимическую активность растений и определить оптимальные световые режимы для реальной эффективности фотосистемы PSII.

Материалы и методы исследования

Растительный материал: рукола сорта «Индау Покер» (ООО «Группа компаний «Гавриш»», Москва). Эксперимент проводился в лабораторном помещении ИАПУ ДВО РАН. В исследовании применялись технические решения (световые боксы и светильники), разработанные в ИАПУ ДВО РАН, защищенные патентами. Семена руколы замачивались в дистиллированной воде в течение трех дней до появления равномерных ростков. Далее ростки высаживались в пластиковые горшки (В ´ Ш ´ Г, см: 9,5 ´ 8 ´ 8), с универсальным почвенным грунтом (готовый почвогрунт «Универсальный» с содержанием: N1:P1:K1, мг/л: 160-240:145-215:180-290, органическое вещество, мг/л: 35, pH 5.5–7, ООО Терра Мастер, Новосибирск, Российская Федерация), смешанным с нижним слоем дренажа (агротехнический керамзит средний, ООО «Терра Мастер», Новосибирск). Образцы растений культивировались в световых боксах со светильниками трех монохромных спектров света (красный (R), зеленый (G), синий (B)). В каждом определенном спектре света было шесть постоянных уровней облучения (100, 300, 500, 700, 1000, 1400 мкмоль/с*м²). В качестве контрольного варианта использовался теплый белый свет с интенсивностью 200 мкмоль/с*м². Температурный режим на протяжении всего эксперимента был на постоянном уровне в 21° С. Режим светового периода был следующим: день/ночь: 16/8 ч.

Измерение параметров флуоресценции хлорофилла в листьях руколы на 28 день после высаживания проводили на импульсном флуориметре Hansatech FMS 1+ в течение одного дня в световых боксах. Были проведены измерения флуоресценции адаптированных к актиничному свету листьев (Fs) и максимальной флуоресценции адаптированных к актиничному свету листьев (Fm'). Источником для модулированного света являлся свет с длиной волны 594 нм, источником для актиничного света и насыщающих вспышек являлся свет с максимальной интенсивностью фотосинтетически активной радиации для актиничного света – 4,000 мкмоль/с*м², для насыщающих вспышек – 13,000 мкмоль/с*м².

Реальная эффективность фотосистемы PSII в листе определялась согласно уравнению (1):

$$\frac{Fq'}{Fm'} = 1 - \frac{Fs'}{Fm'} \quad (1)$$

Уровень переноса электронов (ETR) вычислялся согласно формуле (2):

$$I.Aleaf.fractionPSII.(Fq'/Fm') \quad (2)$$

Где:

I – PPFD (плотность потока фотонов), поступающая на лист;

A_{leaf} – поглощенная листом пропорция поступающего PPFD, принимаемая за 0,84 (84%);

$fraction_{PSII}$ – фракция поглощенного PPFD, получаемого фотосистемой PSII, принимаемая за 0,5;

Fq'/Fm' – реальная эффективность фотосистемы PSII

Результаты исследования и обсуждение

Были проведены измерения флуоресценции хлорофилла в адаптированных к актиничному свету листьях руколы (Fs) и измерения максимальной флуоресценции (Fm') при постоянных условиях уровня освещенности и температуры. Реальная эффективность фотосистемы PSII рассчитана согласно приведенной ранее формуле. Результаты представлены в виде сравнительных графиков (рисунок 1-4).

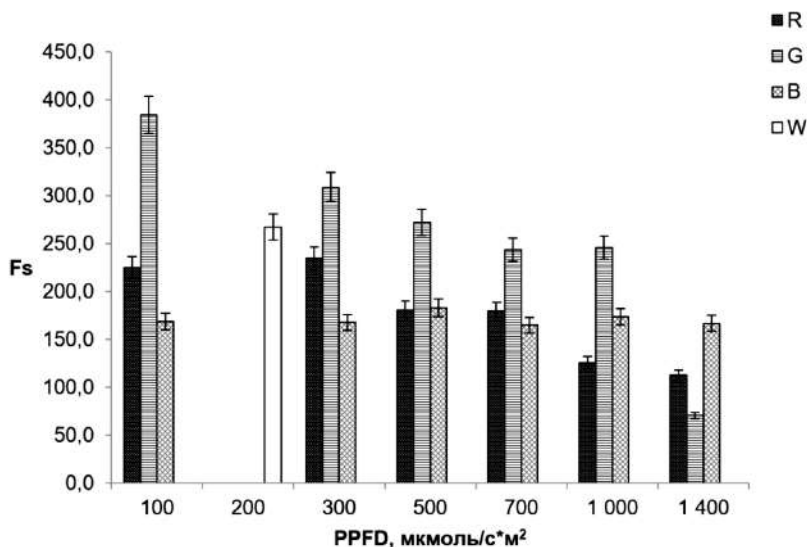


Рис. 1. Флуоресценция хлорофилла, измеренная в листьях, адаптированных к актиничному монохромному свету

Измерения показали, что фотохимический аппарат руколы по-разному реагирует на стрессовое состояние, вызванное высоким уровнем облученности определенным цветом. При оценке флуоресценции хлорофилла (Fs)

и максимальной флуоресценции хлорофилла (F_m') наблюдается последовательное снижение флуоресценции в зависимости от PPFD в красном и зеленом спектрах облучения. Это связано с фотохимическим и нефотохимическим тушением флуоресценции, возникающим, как защитный механизм от разрушения фотосистемы.

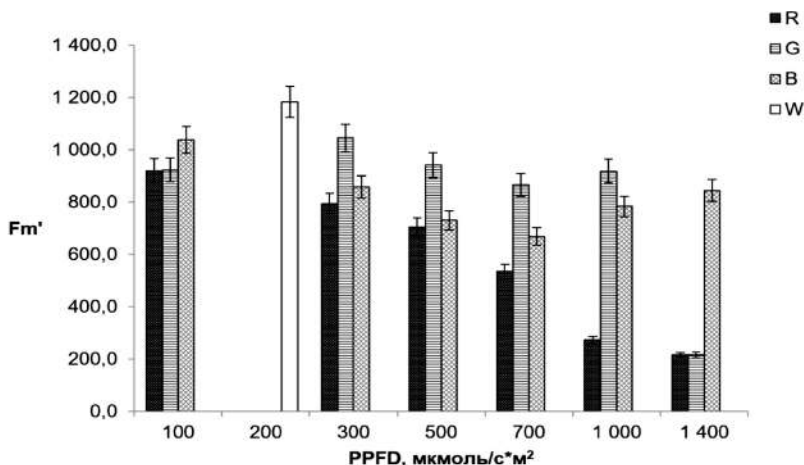


Рис. 2. Максимальная флуоресценция хлорофилла, измеренная в листьях, адаптированных к актиничному монохромному свету

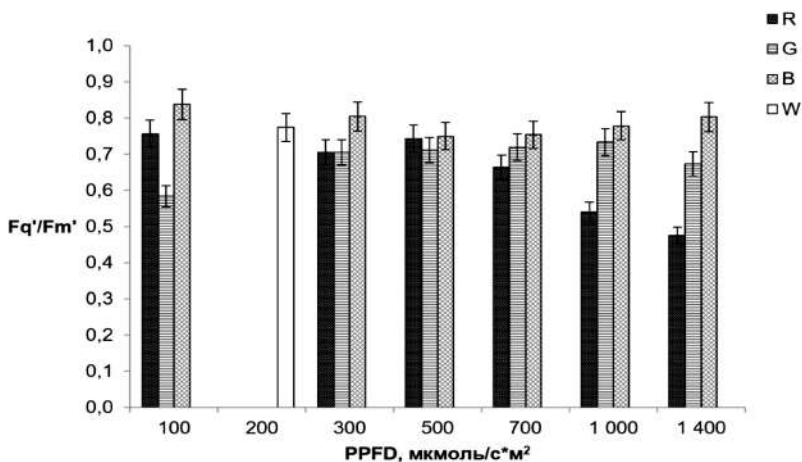


Рис. 3. Реальная эффективность фотосистемы PSII в листьях, адаптированных к актиничному монохромному свету

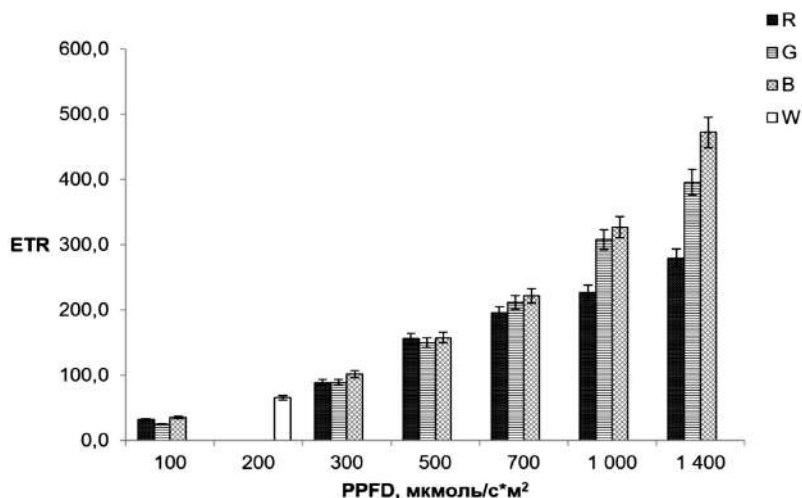


Рис. 4. Уровень переноса электронов в листьях, адаптированных к актиничному монохромному свету

В сравнении с контрольным вариантом наибольшая флуоресценция хлорофилла при всех интенсивностях облучения наблюдается в растениях под зеленым светом. Уровень флуоресценции хлорофилла растений в красном и синем спектрах ниже, чем в контрольном варианте. При оценке максимальной флуоресценции наблюдаются схожие результаты с учетом того, что уровень максимальной флуоресценции в контрольном варианте наивысший. Для растений в зеленом свете уровень F_m' при всех интенсивностях облучения (за исключением 100 и 1400 $\mu\text{м}/\text{с} \cdot \text{м}^2$) больший после контрольного варианта, для растений красного и синего света – уровень ниже (за исключением синего света при 100 и 1400 $\mu\text{м}/\text{с} \cdot \text{м}^2$).

При нефотохимическом тушении флуоресценции центры PSII закрываются, и способность насыщать кислородом основные пластохинон-акцепторы электронов фотосистемы PSII уменьшается, что определяет изменения реальной эффективности PSII при высоких интенсивностях облучения [6]. Нефотохимическое тушение флуоресценции, как явно установлено большинством исследований *in vivo*, играет главенствующую роль в защите от фотоингибирования, приводя к раннему старению и ограничению роста и развития растения [22]. В синем спектре облучения максимальный уровень флуоресценции хлорофилла начинает увеличиваться после пика падения на уровне PPFD 700 $\mu\text{м}/\text{с} \cdot \text{м}^2$, что, возможно, свидетельствует о нарушении

функционирования механизмов тушения флуоресценции, так как механизм защиты от разрушения фотосистемы не срабатывает.

Реальная эффективность PSII для каждого монохромного светового режима различается. Наиболее стандартная линейная зависимость наблюдается для красного света – реальная эффективность PSII снижается с увеличением PPFD. Для зеленого света наибольшие уровни эффективности наблюдаются в пределах PPFD от 300 до 1000 мкмоль/с*м², наименьшие – для значений PPFD 100 и 1400 мкмоль/с*м². Для синего света справедливо обратное соотношение – наивысшие показатели эффективности фотосистемы PSII зафиксированы при значениях PPFD 100, 300 и 1400 мкмоль/с*м², наименьшие – в пределах от 500 до 1000 мкмоль/с*м². Предположительно, такая разница обусловлена сочетанием воздействия определенного монохромного спектрального излучения и определенной интенсивности. При сравнении реальной эффективности PSII растений в различных световых спектрах с контрольным вариантом наблюдается следующее: уровень реальной эффективности PSII для растений в синем свете при высоких интенсивностях облучения превышает уровень контроля, что также может указывать на нарушение функционирования защитного механизма от фотоингибирования. Уровни реальной эффективности PSII растений красного и зеленого света при каждой интенсивности не превышают таковой уровень контроля.

Уровень поглощения ATP и NADPH также определяет увеличение уровня нефотохимического тушения и, соответственно, снижение уровня реальной эффективности PSII [6]. Уровень поглощения ATP и NADPH, в свою очередь, зависит от многих физиологических и метаболических факторов.

Уровень переноса электронов согласно графику, в каждом использованном световом спектре обладает прямой линейной зависимостью от увеличения PPFD. Уровень переноса электронов контрольного варианта показывает, что соответствует прямой линейной зависимости. Наибольшим показателем обладает синий свет, наименьшим – красный. По совокупности наблюдений данных графиков флуоресценции, максимальной флуоресценции и реальной эффективности флуоресценции, предположительно, при использовании синего света в растениях руколы обнаруживается нарушение защитных механизмов тушения флуоресценции.

Заключение

Установлено, что различный световой спектр и его интенсивность оказывают определенное воздействие на механизмы фотосинтетического аппарата и защиты от фотоингибирования.

Интенсивность облучения в пределах от 100 до 500 мкмоль/с*м² является наиболее оптимальной для реальной эффективности фотосистемы PSII для всех световых спектров. Использование монохроматического синего света для руколы, нежелательно, поскольку, вероятно, может вызывать нарушение защитных механизмов тушения флуоресценции.

Разница в реальной эффективности фотосистемы PSII при различных световых спектрах может быть обусловлена физиологическими и метаболическими факторами, на которые оказывают влияние определенные световые спектры и интенсивности облучения. Для выявления причин необходимо сопоставление с данными исследований вышеупомянутых факторов.

Уровень переноса электронов в каждом световом спектре линейно зависит от увеличения интенсивности облучения.

Проведенное исследование подтверждает значимость воздействия определенного светового спектра и определенной интенсивности излучения на фотосинтетический аппарат и происходящие в нем процессы. Это позволяет разработать применение определенных световых источников для улучшения функциональности фотосинтетического аппарата.

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

Информация о спонсорстве. Работа выполнена при финансовой поддержке Минобрнауки России (Соглашение № 075-15-2022-1143 от 07.07.2022 г.).

Список литературы

1. Abdul, W. M., Razvi, S. S. *Eruca sativa* L.—A promising source of drug lead for antimicrobial, neuroprotective and anticancer treatment regimens: Pharmacological properties of medicinal plant “*Eruca sativa*” // European Journal of Cell Science, 2019, vol. 1, pp. 17-21. <https://doi.org/10.34154/2019-EJCS-0101-17-21/euraass>
2. Моргун В.В., Прядкина Г.А. Эффективность фотосинтеза и перспективы повышения продуктивности озимой пшеницы // Физиология растений и генетика. 2014. Т. 46, № 4. С. 279-301. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/FBKR_2014_45_4_3
3. Наконечная О.В., Холин А.С., Субботин Е.П., Бурковская Е.В., Хроленко Ю.А., Гафицкая И.В., Орловская И.Ю., Бурдуковский М.Л., Михеева А.В., Кульчин Ю.Н. Влияние светодиодного освещения разного спектра на раз-

- витие салата листового (*Lactuca sativa*) // Известия Российской академии наук. Серия биологическая. 2023. № 3. С. 278-286. <https://doi.org/10.31857/S1026347022600406>
4. Наконечная О.В., Холин А.С., Субботин Е.П., Грищенко О.В., Бурковская Е.В., Хроленко Ю.А., Бурдуковский М.Л., Кульчин Ю.Н., Журавлев Ю.Н. Развитие растений томатов под светом различного спектрального состава // Физиология растений. 2022. Т. 69, № 5. С. 472-479. <https://doi.org/10.31857/S0015330322050165>
 5. Осипов В.А., Абдурахманов Г.М., Гаджиев А.А., Братковская Л.Б., Заядан Б.К. Использование флуоресценции хлорофилла «а» для биотестирования водной среды // Юг России: экология, развитие. 2012. Т. 7, № 2. С. 93-100. URL: <https://ecodag.elpub.ru/ugro/article/viewFile/234/228>
 6. Baker N. R. Chlorophyll fluorescence: a probe of photosynthesis in vivo // Annual review of plant biology, 2008, vol. 59, pp. 89-113. <https://doi.org/10.1146/annurev.arplant.59.032607.092759>
 7. Bell L., Methven L., Signore A., Oruna-Concha M. J., Wagstaff C. Analysis of seven salad rocket (*Eruca sativa*) accessions: The relationships between sensory attributes and volatile and non-volatile compounds // Food chemistry, 2017, vol. 218, pp. 181-91. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2016.09.076>
 8. Elmardy N. A., Yousef A. F., Lin K., Zhang X., Ali M. M., Lamlom S. F., Kalaji H. M., Kowalczyk K., Xu Y. Photosynthetic performance of rocket (*Eruca sativa*. Mill.) grown under different regimes of light intensity, quality, and photoperiod // PLoS One, 2021, vol. 16, no. 9, pp. e0257745. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0257745>
 9. Fu Y., Li H., Yu J., Liu H., Cao Z., Manukovsky N., Liu H. Interaction effects of light intensity and nitrogen concentration on growth, photosynthetic characteristics and quality of lettuce (*Lactuca sativa* L. Var. youmaicai) // Scientia Horticulturae, 2017, vol. 214, pp. 51-7. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2016.11.020>
 10. Garg, G., Sharma, V. *Eruca sativa* (L.): Botanical Description, Crop Improvement, and Medicinal Properties // Journal of Herbs, Spices & Medicinal Plants, 2014, vol. 20, no. 2, pp. 171-182. <https://doi.org/10.1080/10496475.2013.848254>
 11. Janka E., Körner O., Rosenqvist E. Ottosen C.-O. Simulation of PSII-operating efficiency from chlorophyll fluorescence in response to light and temperature in chrysanthemum (*Dendranthema grandiflora*) using a multilayer leaf model // Photosynthetica, 2018, vol. 56, pp. 633-640. <https://doi.org/10.1007/s11099-017-0701-8>
 12. Kim K., Kook H.-S., Jang Y.-J., Lee W.-H., Kamala-Kannan S., Chae J.-C., Lee K.-J. The effect of blue-light-emitting diodes on antioxidant properties and resis-

- tance to *Botrytis cinerea* in tomato // Journal of Plant Pathology & Microbiology, 2013, vol. 4, no. 203, pp. 10.4172. <https://doi.org/10.4172/2157-7471.1000203>
13. Kong S.-G., Okajima K. Diverse photoreceptors and light responses in plants // Journal of plant research, 2016, vol. 129 no. 2, pp. 111-114. <https://doi.org/10.1007/s10265-016-0792-5>
14. Kramer M., Rodriguez-Heredia M., Saccon F., Mosebach L., Twachtmann M., Krieger-Liszkay A., Duffy C., Knell R. J., Finazzi G., Hanke G. T. Regulation of photosynthetic electron flow on dark to light transition by ferredoxin: NADP (H) oxidoreductase interactions // eLife, 2021, no. 10, pp. e56088. <https://doi.org/10.7554/eLife.56088>
15. Kulchin Y. N., Bulgakov V. P., Subbotin E. P., Kholin A. S., Subbotina N. I. Monochromatic LEDs Effect on Rocket (*Eruca sativa* Mill.) Morphogenesis and Productivity // Bulletin of the Russian Academy of Sciences: Physics, 2022, vol. 86, no. 1, pp. 114-118. <https://doi.org/10.3103/S1062873822700502>
16. Loconsole D., Cocetta G., Santoro P., Ferrante A. Optimization of LED lighting and quality evaluation of romaine lettuce grown in an innovative indoor cultivation system // Sustainability, 2019, vol. 11, no. 3, pp. 841. <https://doi.org/10.3390/su11030841>
17. Maxwell K., Johnson G. N. Chlorophyll fluorescence – a practical guide // Journal of Experimental Botany, 2000, vol. 51, no. 345, pp. 659-668. <https://doi.org/10.1093/jexbot/51.345.659>
18. Muner S., Kim E. J., Park J. S., Lee J. H. Influence of green, red and blue light emitting diodes on multiprotein complex proteins and photosynthetic activity under different light intensities in lettuce leaves (*Lactuca sativa* L.) // International journal of molecular sciences, 2014, vol. 15, no. 3, pp. 4657-4670. <https://doi.org/10.3390/ijms15034657>
19. Nakonechnaya O. V., Grishchenko O. V., Khrolenko Y. A., Bulgakov V. P., Burkovskaya E. V., Grigorichuk V. P., Prokuda N. A., Kholin A. S., Gafitskaya I. V., Mikheeva A. V., Orlovskaya I. Y., Burdukovskii M. L., Subbotin E. P., Kul'chin Y. N. Effect of LED Lighting on Morphogenesis and Content of Ascorbic Acid, P, K, and Ca in *Eruca sativa* Plants // Russian Journal of Plant Physiology, 2021, vol. 68, pp. 356-366. <https://doi.org/10.1134/S1021443721020138>
20. Nguyen T. H., Tran T. T., Nguyen Q. T. Effects of light intensity on the growth, photosynthesis and leaf microstructure of hydroponic cultivated spinach (*Spinacia oleracea* L.) under a combination of red and blue LEDs in house // International Journal of Agricultural Technology, 2019, vol. 15, no. 1, pp. 75–90. URL: [http://www.ijat-aatsea.com/pdf/v15_n1_2019_January/6_IJAT_15\(1\)_2019_Nguyen,%20T.%20P.%20D..pdf](http://www.ijat-aatsea.com/pdf/v15_n1_2019_January/6_IJAT_15(1)_2019_Nguyen,%20T.%20P.%20D..pdf)

21. Ouzounis T., Fretté X., Ottosen C. O., Rosenqvist, E. Spectral effects of LEDs on chlorophyll fluorescence and pigmentation in *Phalaenopsis* ‘Vivien’ and ‘Purple Star’ // *Physiologia plantarum*, 2015, vol. 154, no. 2, pp. 314-327. <https://doi.org/10.1111/pp1.12300>
22. Ruban A. V., Nonphotochemical Chlorophyll Fluorescence Quenching: Mechanism and Effectiveness in Protecting Plants from Photodamage // *Plant Physiology*, 2016, vol. 170, no. 4, pp. 1903-1916. <https://doi.org/10.1104/pp.15.01935>
23. Su P., Ding S., Wang D. Kan W., Yuan M., Chen X., Tang C., Hou J. Wu L. Plant morphology, secondary metabolites and chlorophyll fluorescence of *Artemisia argyi* under different LED environments // *Photosynthesis Research*, 2023. <https://doi.org/10.1007/s11120-023-01026-w>
24. Xu Y., Yang M., Cheng F., Liang Y. Effects of LED photoperiods and light qualities on in vitro growth and chlorophyll fluorescence of *Cunninghamia lanceolata* // *BMC Plant Biology*, 2020, vol. 20, pp. 269. <https://doi.org/10.1186/s12870-020-02480-7>
25. Yorio N. C., Goins G. D., Kagie H. R., Wheeler R. M., Sager J. C. Improving spinach, radish, and lettuce growth under red light-emitting diodes (LEDs) with blue light supplementation // *HortScience*, 2001, vol. 36, no. 2, pp. 380-383.

References

1. Abdul, W. M., Razvi, S. S. *Eruca sativa* L.—A promising source of drug lead for antimicrobial, neuroprotective and anticancer treatment regimens: Pharmacological properties of medicinal plant “*Eruca sativa*”. *European Journal of Cell Science*, 2019, vol. 1, pp. 17-21. <https://doi.org/10.34154/2019-EJCS-0101-17-21/eurass>
2. Morgun V.V., Pryadkina G.A. Effektivnost' fotosinteza i perspektivy povysheniya produktivnosti ozimoy pshenitsy [Photosynthetic efficiency and perspectives of winter wheat productivity increasing]. *Fiziologiya rasteniy i genetika* [Plants physiology and genetics], 2014, vol. 46, no 4. pp. 279-301. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/FBKR_2014_45_4_3
3. Nakonechnaya O.V., Kholin A.S., Subbotin E.P., Burkovskaya E.V., Khrolenko Yu.A., Gafitskaya I.V., Orlovskaya I.Yu., Burdukovskiy M.L., Mikheeva A.V., Kul'chin Yu.N. Vliyaniye svetodiodnogo osveshcheniya raznogo spektra na razvitiye salata listovogo (*Lactuca sativa*) [Effect of different spectra LED lightning on *Lactuca sativa* development]. *Izvestiya Rossiyskoy akademii nauk. Seriya biologicheskaya* [Bulletin of the Russian academy of sciences: Biology], 2023, no. 3, pp. 278-286. <https://doi.org/10.31857/S1026347022600406>
4. Nakonechnaya O.V., Kholin A.S., Subbotin E.P., Grishchenko O.V., Burkovskaya E.V., Khrolenko Yu.A., Burdukovskiy M.L., Kul'chin Yu.N., Zhuravlev Yu.N.

- Razvitie rasteniy tomatov pod svetom razlichnogo spektral'nogo sostava [Tomato plants development under light of different spectral composition]. *Fiziologiya rasteniy* [Russian journal of plant physiology], 2022, vol. 69, no. 5, pp. 472-479. <https://doi.org/10.31857/S0015330322050165>
5. Osipov V.A., Abdurakhmanov G.M., Gadzhiev A.A., Bratkovskaya L.B., Zayadan B.K. Ispol'zovanie fluorestsentsii khlorofilla «a» dlya biotestirovaniya vodnoy sredy [The use of chlorophyll "a" fluorescence for aquatic environment bio test]. *Yug Rossii: ekologiya, razvitie* [The South of Russia: ecology, development], 2012, vol. 7, no. 2, pp. 93-100. URL: <https://ecodag.elpub.ru/ugro/article/viewFile/234/228>
 6. Baker N. R. Chlorophyll fluorescence: a probe of photosynthesis in vivo. *Annual review of plant biology*, 2008, vol. 59, pp. 89-113. <https://doi.org/10.1146/annurev.arplant.59.032607.092759>
 7. Bell L., Methven L., Signore A., Oruna-Concha M. J., Wagstaff C. Analysis of seven salad rocket (*Eruca sativa*) accessions: The relationships between sensory attributes and volatile and non-volatile compounds. *Food chemistry*, 2017, vol. 218, pp. 181-91. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2016.09.076>
 8. Elmardy N. A., Yousef A. F., Lin K., Zhang X., Ali M. M., Lamlom S. F., Kalaji H. M., Kowalczyk K., Xu Y. Photosynthetic performance of rocket (*Eruca sativa*. Mill.) grown under different regimes of light intensity, quality, and photoperiod. *PLoS One*, 2021, vol. 16, no. 9, pp. e0257745. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0257745>
 9. Fu Y., Li H., Yu J., Liu H., Cao Z., Manukovsky N., Liu H. Interaction effects of light intensity and nitrogen concentration on growth, photosynthetic characteristics and quality of lettuce (*Lactuca sativa* L. Var. youmaicai). *Scientia Horticulturae*, 2017, vol. 214, pp. 51-7. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2016.11.020>
 10. Garg, G., Sharma, V. *Eruca sativa* (L.): Botanical Description, Crop Improvement, and Medicinal Properties. *Journal of Herbs, Spices & Medicinal Plants*, 2014, vol. 20, no. 2, pp. 171-182. <https://doi.org/10.1080/10496475.2013.848254>
 11. Janka E., Körner O., Rosenqvist E. Ottosen C.-O. Simulation of PSII-operating efficiency from chlorophyll fluorescence in response to light and temperature in chrysanthemum (*Dendranthema grandiflora*) using a multilayer leaf model. *Photosynthetica*, 2018, vol. 56, pp. 633-640. <https://doi.org/10.1007/s11099-017-0701-8>
 12. Kim K., Kook H.-S., Jang Y.-J., Lee W.-H., Kamala-Kannan S., Chae J.-C., Lee K.-J. The effect of blue-light-emitting diodes on antioxidant properties and resistance to *Botrytis cinerea* in tomato. *Journal of Plant Pathology & Microbiology*, 2013, vol. 4, no. 203, pp. 10.4172. <https://doi.org/10.4172/2157-7471.1000203>

13. Kong S.-G., Okajima K. Diverse photoreceptors and light responses in plants. *Journal of plant research*, 2016, vol. 129 no. 2 pp. 111-114. <https://doi.org/10.1007/s10265-016-0792-5>
14. Kramer M., Rodriguez-Heredia M., Saccon F., Mosebach L., Twachtmann M., Krieger-Liszka A., Duffy C., Knell R. J., Finazzi G., Hanke G. T. Regulation of photosynthetic electron flow on dark to light transition by ferredoxin: NADP (H) oxidoreductase interactions. *eLife*, 2021, no. 10, pp. e56088. <https://doi.org/10.7554/eLife.56088>
15. Kulchin Y. N., Bulgakov V. P., Subbotin E. P., Kholin A. S., Subbotina N. I. Monochromatic LEDs Effect on Rocket (*Eruca sativa* Mill.) Morphogenesis and Productivity. *Bulletin of the Russian Academy of Sciences: Physics*, 2022, vol. 86, no. 1, pp. 114-118. <https://doi.org/10.3103/S1062873822700502>
16. Loconsole D., Cocetta G., Santoro P., Ferrante A. Optimization of LED lighting and quality evaluation of romaine lettuce grown in an innovative indoor cultivation system. *Sustainability*, 2019, vol. 11, no. 3 pp. 841. <https://doi.org/10.3390/su11030841>
17. Maxwell K., Johnson G. N. Chlorophyll fluorescence – a practical guide. *Journal of Experimental Botany*, 2000, vol. 51, no. 345, pp. 659-668. <https://doi.org/10.1093/jexbot/51.345.659>
18. Muneer S., Kim E. J., Park J. S., Lee J. H. Influence of green, red and blue light emitting diodes on multiprotein complex proteins and photosynthetic activity under different light intensities in lettuce leaves (*Lactuca sativa* L.). *International journal of molecular sciences*, 2014, vol. 15, no. 3 pp. 4657-4670. <https://doi.org/10.3390/ijms15034657>
19. Nakonechnaya O. V., Grishchenko O. V., Khrolenko Y. A., Bulgakov V. P., Burkovskaya E. V., Grigorichuk V. P., Prokuda N. A., Kholin A. S., Gafitskaya I. V., Mikheeva A. V., Orlovskaya I. Y., Burdukovskii M. L., Subbotin E. P., Kul'chin Y. N. Effect of LED Lighting on Morphogenesis and Content of Ascorbic Acid, P, K, and Ca in *Eruca sativa* Plants. *Russian Journal of Plant Physiology*, 2021, vol. 68, pp. 356-366. <https://doi.org/10.1134/S1021443721020138>
20. Nguyen T. H., Tran T. T., Nguyen Q. T. Effects of light intensity on the growth, photosynthesis and leaf microstructure of hydroponic cultivated spinach (*Spinacia oleracea* L.) under a combination of red and blue LEDs in house. *International Journal of Agricultural Technology*, 2019, vol. 15, no. 1, pp. 75-90. URL: [http://www.ijat-aatsea.com/pdf/v15_n1_2019_January/6_IJAT_15\(1\)_2019_Nguyen,%20T.%20P.%20D..pdf](http://www.ijat-aatsea.com/pdf/v15_n1_2019_January/6_IJAT_15(1)_2019_Nguyen,%20T.%20P.%20D..pdf)
21. Ouzounis T., Fretté X., Ottosen C. O., Rosenqvist, E. Spectral effects of LEDs on chlorophyll fluorescence and pigmentation in *Phalaenopsis* 'Vivien' and 'Purple

- Star'. *Physiologia plantarum*, 2015, vol. 154, no. 2, pp. 314-327. <https://doi.org/10.1111/ppl.12300>
22. Ruban A. V., Nonphotochemical Chlorophyll Fluorescence Quenching: Mechanism and Effectiveness in Protecting Plants from Photodamage. *Plant Physiology*, 2016, vol. 170, no. 4, pp. 1903-1916. <https://doi.org/10.1104/pp.15.01935>
23. Su P., Ding S., Wang D. Kan W., Yuan M., Chen X., Tang C., Hou J. Wu L. Plant morphology, secondary metabolites and chlorophyll fluorescence of *Artemisia argyi* under different LED environments. *Photosynthesis Research*, 2023. <https://doi.org/10.1007/s11120-023-01026-w>
24. Xu Y., Yang M., Cheng F., Liang Y. Effects of LED photoperiods and light qualities on in vitro growth and chlorophyll fluorescence of *Cunninghamia lanceolata*. *BMC Plant Biology*, 2020, vol. 20, pp. 269. <https://doi.org/10.1186/s12870-020-02480-7>
25. Yorio N. C., Goins G. D., Kagie H. R., Wheeler R. M., Sager J. C. Improving spinach, radish, and lettuce growth under red light-emitting diodes (LEDs) with blue light supplementation. *HortScience*, 2001, vol. 36, no. 2, pp. 380-383.

ВКЛАД АВТОРОВ

Все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку статьи для публикации.

AUTHOR CONTRIBUTIONS

The authors contributed equally to this article.

ДАнные ОБ АВТОРАХ

Кульчин Юрий Николаевич, доктор физико-математических наук, академик, научный руководитель института
Федеральное государственное бюджетное научное учреждение
«Институт автоматики и процессов управления» ДВО РАН
ул. Радио, 5, г. Владивосток, 690041, Российская Федерация
kulchin@iacp.dvo.ru

Холин Александр Сергеевич, научный сотрудник
Федеральное государственное бюджетное научное учреждение
«Институт автоматики и процессов управления» ДВО РАН
ул. Радио, 5, г. Владивосток, 690041, Российская Федерация
a_kholin@dvo.ru

Кожанов Сергей Олегович, старший инженер

*Федеральное государственное бюджетное научное учреждение
«Институт автоматики и процессов управления» ДВО РАН
ул. Радио, 5, г. Владивосток, 690041, Российская Федерация
kozhanov_57@mail.ru*

Субботин Евгений Петрович, кандидат физико-математических наук, ведущий научный сотрудник

*Федеральное государственное бюджетное научное учреждение
«Институт автоматики и процессов управления» ДВО РАН
ул. Радио, 5, г. Владивосток, 690041, Российская Федерация
s.e.p@list.ru*

Ковалевский Кирилл Валерьевич, генеральный директор

*Общество с ограниченной ответственностью «Иннофарм-ДВ»
ул. Муравьева-Амурского, 3, офис 104, г. Владивосток, 690001, Российская Федерация
kovalevsky.kirill@mail.ru*

Субботина Наталья Ивановна, младший научный сотрудник

*Федеральное государственное бюджетное научное учреждение
«Институт автоматики и процессов управления» ДВО РАН
ул. Радио, 5, г. Владивосток, 690041, Российская Федерация
sale789@mail.ru*

Гомольский Андрей Сергеевич, инженер-исследователь, передовая инженерная школа «Институт биотехнологий, биоинженерии и пищевых систем»

*Дальневосточный федеральный университет
о. Русский, п. Аякс, 10, г. Владивосток, 690922, Российская Федерация
gomolskii.as@dvfu.ru*

DATA ABOUT THE AUTHORS

Yuriy N. Kulchin, Doctor of Sciences in Physical and Mathematical sciences, Academic, Academic Supervisor

*Institute of Automation and Control Processes
5, Radio Str., Vladivostok, 690041, Russian Federation
kulchin@iacp.dvo.ru
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8750-4775>*

Alexander S. Kholin, Research Fellow

*Institute of Automation and Control Processes
5, Radio Str., Vladivostok, 690041, Russian Federation
a_kholin@dvo.ru
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9751-5136>*

Sergey O. Kozhanov, Senior Engineer

*Institute of Automation and Control Processes
5, Radio Str., Vladivostok, 690041, Russian Federation
kozhanov_57@mail.ru
ORCID: <https://orcid.org/0009-0001-2629-3521>*

Evgeny P. Subbotin, Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Leading Researcher

*Institute of Automation and Control Processes
5, Radio Str., Vladivostok, 690041, Russian Federation
s.e.p@list.ru
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8658-3504>*

Kirill V. Kovalevsky, General Director

*Innofarm LLC
3-104, Muravyov Amurskiy Str., Vladivostok, 690001, Russian Federation
kovalevsky.kirill@mail.ru
ORCID: <https://orcid.org/0009-0009-3321-7189>*

Natalia I. Subbotina, Junior Researcher

*Institute of Automation and Control Processes
5, Radio Str., Vladivostok, 690041, Russian Federation
sale789@mail.ru
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0945-3877>*

Andrey S. Gomolsky, Research Engineer, Advanced Engineering School “Institute of Biotechnology, Bioengineering and Food Systems”

*Far Eastern Federal University
10, Ajax Bay, Russky Island, Vladivostok, 690922, Russian Federation
gomolskii.as@dvfu.ru
ORCID: <https://orcid.org/0009-0003-5606-9648>*

Поступила 12.09.2023

После рецензирования 10.10.2023

Принята 16.10.2023

Received 12.09.2023

Revised 10.10.2023

Accepted 16.10.2023

ЭКОЛОГИЯ, ПОЧВОВЕДЕНИЕ И ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЕ

ECOLOGY, SOIL SCIENCE AND NATURE MANAGEMENT

DOI: 10.12731/2658-6649-2024-16-2-761

УДК 574.22



Научная статья

ВЛИЯНИЕ РАЗНЫХ ДОЗ СОЛОМЫ И НАВОЗА В СИСТЕМАХ С ЧЕРВЯМИ *Eisenia fetida* НА ПОКАЗАТЕЛИ РОСТА РАСТЕНИЙ САЛАТА И КАЧЕСТВО СУБСТРАТА

Т.И. Зюбанова, О.М. Минаева, Е.Е. Акимова,
М.Е. Кириллова, Н.Н. Терещенко

Обоснование. В настоящее время увеличивается потребность в натуральной сельскохозяйственной продукции, что способствует развитию направления получения растительной продукции в условиях искусственных экосистем, функционирующих по принципам естественных ценозов, обладающих определенной гибкостью к возникающим стрессам. Органические остатки могут быть включены в составы биосфероподобных систем при наличии детритофагов и редуцентов, к которым относятся дождевые черви, повышающие продуктивность, экологическую устойчивость и саморегулирующую способность агроэкосистем.

Цель. Изучить влияние соотношения пшеничной соломы и навоза крупного рогатого скота в модельных системах с торфяным субстратом и компостными червями на продуктивность листового салата, параметры развития, агрохимический состав растений и субстратов и популяцию червей.

Материалы и методы. В лабораторных контролируемых условиях изучали влияние внесения органических отходов (пшеничной соломы и навоза в различных соотношениях) в торфяной субстрат при интродукции червей (*Eisenia fetida*) (10 шт./800 г субстрата) на растения салата (*Lactuca sativa* сорт Кредо). По окончании экспериментов измеряли высоту, площадь листовой поверхности,

сырую и сухую надземную массу растений, содержание фотосинтетических пигментов; проводили химический анализ субстратов и растительной массы; оценивали адаптационные способности червей по морфофункциональным показателям, рассчитывали их плодовитость и выход копролита; учитывали численность бактерий и микромицетов в субстратах, оценивали актуальную активность азотобактера. Все эксперименты проводили в трех независимых биологических повторностях. Данные, полученные в ходе экспериментов, обрабатывали с помощью пакета StatSoft STATISTICA 10.0.

Результаты. Внесение в субстрат соломы и навоза в присутствии популяции компостных червей способствовало увеличению продуктивности растений салата: возросла площадь съедобной поверхности, масса растений, повысилось содержание фотосинтетических пигментов; изменению в субстрате содержания подвижных форм основных биогенных элементов, значимому снижению содержания общего азота в тканях растений и накоплению фосфора и калия. Внесение пшеничной соломы и навоза в торфяной субстрат увеличивало репродуктивные показатели червей и выход копролита.

Заключение. Показана возможность получения растительной продукции и получения биомассы червей в искусственной экосистеме с разным соотношением соломы и навоза в торфяном субстрате.

Ключевые слова: *Eisenia fetida*; *Lactuca sativa*; органические отходы; микрочерви; фотосинтез

Для цитирования: Зюбанова Т.И., Минаева О.М., Акимова Е.Е., Кириллова М.Е., Терещенко Н.Н. Влияние разных доз соломы и навоза в системах с червями *Eisenia fetida* на показатели роста растений салата и качество субстрата // *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*. 2024. Т. 16, №2. С. 70-92. DOI: 10.12731/2658-6649-2024-16-2-761

Original article

EFFECT OF VARIOUS STRAW/MANURE RATIOS IN SYSTEMS WITH EARTHWORMS *Eisenia fetida* ON LETTUCE GROWTH PARAMETERS AND SUBSTRATE QUALITY

**T.I. Zyubanova, O.M. Minaeva, E.E. Akimova,
M.E. Kirillova, N.N. Tereshchenko**

Background. At present, there is an increase in demand for natural agricultural products, which is contributing to the development of plant production in

artificial ecosystems that function according to the principles of natural cenoses, with a certain flexibility to emerging stresses. Organic wastes can be incorporated into biosphere-like system compositions in the presence of decomposers, which include earthworms that increase the productivity, environmental sustainability, and self-regulating capacity of agroecosystems.

Purpose. The purpose of our research was to investigate the effect of wheat straw/ cattle manure ratios in model systems with peat substrate and earthworms on lettuce productivity and vegetative growth parameters, chemical composition of plants and substrates, as well as worm population.

Materials and methods. In laboratory experiments, we evaluated the effect of applying organic wastes (various wheat straw/cattle manure ratios) to peat substrate with introduced earthworms (*Eisenia fetida*) (10 individuals/800 g substrate) on lettuce (*Lactuca sativa* Credo cultivar lettuce plants). At the experiment's end, each plant's height, leaf area, aboveground biomass (fresh and dry), and photosynthetic pigment content were measured; chemical analysis of substrates and plant mass was carried out; worm adaptive capacity was evaluated according to morpho-functional characteristics; worm fecundity and coprolite output were calculated; the number of bacteria and micromycetes was counted, and *Azotobacter* activity was estimated. All experiments were performed in three independent biological replicates. Statistical analysis was performed using the application package Statistica 10.0 (StatSoft, USA).

Results. Incorporating of various straw/manure ratios into the substrate enhanced the productivity of lettuce plants: the edible surface area, plant weight and photosynthetic pigment content increased. This also contributed to a significant change in the content of mobile forms of major nutrients in the substrate, as well as to a significant reduction in total nitrogen in plant tissues, and the accumulation of phosphorus and potassium. The addition of wheat straw and manure increased worm reproductive performance and coprolite output.

Conclusions. The possibility of obtaining plant crop and earthworm biomass in an artificial ecosystem with various straw/ manure ratios in a peat substrate is shown.

Keywords: *Eisenia fetida*; *Lactuca sativa*; organic wastes; microcosm; photosynthesis

For citation. Zyubanova T.I., Minaeva O.M., Akimova E.E., Kirillova M.E., Tereshchenko N.N. Effect of Various Straw/Manure Ratios in Systems with Earthworms *Eisenia fetida* on Lettuce Growth Parameters and Substrate Quality. Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture, 2024, vol. 16, no. 2, pp. 70-92. DOI: 10.12731/2658-6649-2024-16-2-761

Введение

Рост народонаселения, изменение климата, возрастающие потребности в сельскохозяйственной продукции способствуют развитию различных искусственных систем для выращивания растений, такие как гидропонные теплицы, вертикальные фермы и др. [30]. Особый интерес представляют комплексы, функционирующие по принципам естественных экосистем в замкнутом или полужамкнутом цикле, поскольку сложившиеся многокомпонентные природные ценозы обладают высоким уровнем гибкости и толерантности к биотическим и абиотическим стрессам, благодаря эволюционно сложившимся механизмам взаимного регулирования процессов редукции и продукции. Подобные системы могут найти широкое применение, в регионах крайнего севера России, Арктики и космоса [5]. Конструирование таких комплексов невозможно без разработки научных основ создания частично замкнутых искусственных экосистем, сбалансированных по ключевым элементам круговорота вещества и энергии (т.е. процессов продукции органического вещества (фотосинтеза) и его редукции (минерализации)).

Деятельность человека включает большое количество разнообразных отходов, которые нужно перерабатывать и при этом желательно получать полезный продукт. К настоящему времени агроэкологическая целесообразность и экономическая эффективность использования в качестве удобрения побочной продукции растениеводства установлена научными исследованиями и подтверждается практическим опытом [7]. Утилизация растительных остатков особенно сложна в отношении малопитательных и трудно поддающихся разложению отходов, требующих дополнительных усилий по их переработке, таких как солома злаковых культур [18]. Ценность соломы как удобрения обусловлена прежде всего высоким содержанием в ней органических соединений (80–86 %), представленных моно- и полисахаридами, декстринами, белками, лигнином и др., которые при поступлении в почву подвергаются микробиологической трансформации, участвуют во всех этапах гумификации и служат материальной основой для формирования различных фракций гумусовых веществ [7]. Органические остатки могут быть включены в составы биосфероподобных систем при условии наличия активного звена редуцентов и детритофагов, к которым относятся дождевые черви. Дождевые черви играют важную роль в формировании плодородия почв. Благодаря высокой скорости поглощения пищи и локомоторной активности, черви модифицируют среду обитания, изменяя кинетику разнообразных почвенных процессов, прямо

или косвенно влияющих на рост растений [1]. Присутствие червей в субстратах способствует ускорению процессов минерализации органических остатков, улучшению роста, развития, продуктивности растений и качества производимой продукции [14, 22, 28]. Последнее возможно не только за счет увеличения содержания минеральных и органических веществ в растительной ткани, но и путем возрастания толерантности сельскохозяйственных культур к фитопатогенным микроорганизмам, которые могут вытесняться из почвоподобных субстратов естественной симбиотической микрофлорой червя, среди представителей которой отмечается наличие значительной доли антагонистов почвенных микромицетов [10]. Таким образом, использование технологичных видов люмбрицид позволяет повышать продуктивность, экологическую устойчивость и саморегулирующую способность агроэкосистем [6, 8].

Научная новизна данного исследования – возделывание сельскохозяйственных культур для получения продукции в искусственных экосистемах с одновременной переработкой органических отходов при непосредственном присутствии компостных червей среди корней растений, в отличие от стандартного разделения процессов вермикомпостирования и последующего получения урожая на произведенном биогумусе.

Цель исследования – изучить влияние разного соотношения пшеничной соломы и навоза крупного рогатого скота в модельных системах с торфяным субстратом и компостными червями на развитие растений салата, содержание пигментов фотосинтеза, химический состав растений и субстратов и популяцию червей.

Материалы и методы исследования

В качестве объектов исследования изучали растения салата (*Lactuca sativa* сорт Кредо), компостных червей (*Eisenia fetida*), органические отходы (пшеничная солома и навоз в различных соотношениях). В качестве основы субстрата использовали комплексный верховой сфагновый торф влажностью $80,0 \pm 1,0$ % и степенью разложения – 10–15 %. Агрохимический состав торфа (мг/100 г а.с.в.): рН (KCl) 7.2 ± 0.1 ; $N-NH_4$ $33.6 \pm 4,6$; $N-NO_3$ $154.6 \pm 23,1$; P_2O_5 $224,0 \pm 77.0$; K_2O 36.11 ± 86.6 .

Эксперименты проводили в лабораторных контролируемых условиях в непрозрачных пластиковых контейнерах объемом 2 л. Состав субстратов (%): торф (100), торф-солома-навоз (80-10-10), торф-солома-навоз

(80-5-15), торф-навоз (80-20), увлажняли до 80 % и выдерживали неделю при температуре 20...22 °С в темноте. Субстраты в течение этого времени перемешивали, увлажняли при необходимости (по весу), выдерживали в проветриваемом помещении в целях улучшения процессов аэробной ферментации [11]. Перед интродукцией субстратов червями проводили биотестирование: на поверхности субстрата распределяли по 10 особей, если они быстро углублялись в него, то субстрат считали пригодным для их жизнедеятельности. Интродукцию проводили из маточной популяции неполовозрелых особей компостных червей (общей массой $2,4 \pm 0,2$ г, 10 шт./800 г субстрата), и выдерживали неделю (время акклиматизации червей) при температуре 20...22 °С в темноте. Через неделю после запуска червей в субстрат высаживали проростки листового салата. Интенсивность освещения растений салата – 8 кЛк (87 мкмоль квантов / (м² сек) ФАР), источник света – люминесцентные лампы (белый теплый свет), с 12-часовым фотопериодом при 20...22 °С (дневные температуры) и 15...17 °С (ночные температуры). В течение эксперимента проводили полив контейнеров (до исходного веса): общая влажность субстратов поддерживалась на уровне 80–85 % путем периодического увлажнения. Продолжительность экспериментов – 64 суток при выращивании растений (общая – 78 суток).

Все результаты эксперимента учитывали по его завершению. У каждого растения измеряли высоту, площадь всей поверхности листьев, сырую и сухую надземную массу, содержание фотосинтетических пигментов определяли спектрофотометрически (Eppendorf BioSpectrometer® fluorescence, Германия) и рассчитывали по формулам Lichtenthaler and Wellburn [21]. Оценку адаптационных способностей червей осуществляли по морфо-функциональным показателям: численности ювенильных и половозрелых особей, количеству коконов, приросту биомассы, рассчитывали плодовитость червей и выход копролита. Учет численности микроорганизмов в субстратах проводили классическими методами посева на плотные питательные среды: общей микробной – на ГРМ-агаре (20 г/л), микромицетов – на среде Чапека (50 г/л), актуальной активности азотобактера – на среде Эшби.

Агрохимический анализ субстратов включал определение аммония и нитратов (ГОСТ 27894.3-88 и ГОСТ 27894.4-88), соединений фосфора и калия (ГОСТ 27894.5-88 и ГОСТ 27894.6-88), pH солевой вытяжки (ГОСТ 11623-89), влажности (ГОСТ 11305-83). Химический анализ растительной массы включал анализ общего азота в растениях (ГОСТ 13496.4-93), об-

щего фосфора (ГОСТ 26657-97), общего калия (ГОСТ 30504-97). Данные анализы проводили сотрудники лабораторно-аналитического центра (ЛАЦ) СибНИИСХиТ – филиал СФНЦА РАН (г. Томск).

Все эксперименты проводили в трех независимых биологических повторностях. Каждая повторность включала 15 растений салата на вариант. Данные, полученные в ходе экспериментов, обрабатывали с помощью пакета StatSoft STATISTICA 10.0; данные представлены в виде средней арифметической величины с доверительным интервалом ($M \pm 95 \% CI$) с учетом *t*-критерия Стьюдента для 95 % уровня значимости.

Результаты исследования и их обсуждение

Известно, что черви могут стимулировать рост и развитие растений, что отражено в значительном количестве опубликованных работ [1, 14, 20] и способствуют увеличению содержания минеральных веществ в почвах и ее лучшей оструктуренности [9, 14, 28].

В наших экспериментах установлено, что замена части торфяного субстрата на пшеничную солому и навоз положительно сказалась на показателях растений салата и, в конечном счете, на их продуктивности (Таблица 1).

Таблица 1.

Показатели развития растений салата при внесении разных доз пшеничной соломы и навоза и интродукции червей в состав торфяного субстрата ($M \pm 95 \% CI$)

Субстрат (солома/навоз)	Высота растения, см	Площадь листовой поверхности / растение, см ²	Масса сырая, г	Масса сухая, г	Продуктивность, кг/м ²
Контроль (0/0)	16,31 $\pm$ 1,71	98,93 $\pm$ 36,98	2,23 $\pm$ 0,83	0,09 $\pm$ 0,03	0,69 $\pm$ 0,14
10/10	23,99 $\pm$ 1,24*	218,62 $\pm$ 47,64*	5,68 $\pm$ 1,30*	0,26 $\pm$ 0,06*	1,75 $\pm$ 0,25*
5/15	21,33 $\pm$ 2,73*	157,78 $\pm$ 75,95	5,49 $\pm$ 3,18*	0,16 $\pm$ 0,08	1,31 $\pm$ 0,14*
0/20	25,72 $\pm$ 1,35*	275,48 $\pm$ 50,55*	6,78 $\pm$ 1,29*	0,27 $\pm$ 0,05*	2,09 $\pm$ 0,24*

Примечание: * – статистическая значимость отличий от контроля ($p < 0,05$).

Максимальные значения всех показателей развития и продуктивности салата отмечены при внесении в торфяной субстрат навоза (20 %): полезная площадь поверхности листьев увеличилась в 2,8 раза, продуктивность в 3 раза. Внесение пшеничной соломы и навоза (10/10) в субстрат способствовало увеличению съедобной поверхности в 2,2 раза и продуктивности салата в 2,5 раза. Внесение соломы и навоза в соотношении 5/15 также способствовало увеличению и зеленой массы, и продуктивности растений

салата, по сравнению с контролем, но в меньшей степени чем внесение компонентов в соотношении 10/10.

Не смотря на известный факт, что продукты распада пшеничной соломы оказывают негативное влияние на растения и их продуктивность [2, 7, 18] за счет образования недоокисленных веществ, солей уксусной, пропионовой и масляной кислот, а также накопления жирных кислот [27], в наших экспериментах не наблюдался негативный эффект на продуктивность растений салата и всей системы от внесения соломы в субстраты. Возможно, этот эффект нивелировало присутствие червей, которые играют важную роль в подготовке соломы к разложению микроорганизмами, а также реинтеграции накопленного в растительной биомассе углерода обратно в почву [25].

Способность поддерживать высокий уровень фотосинтетических пигментов является важным показателем физиологического состояния растения [4], поскольку фотосинтез является ключевым процессом от которого в конечном счете зависит урожайность растений. Экспериментально установлено, что только в субстратах с внесением соломы и навоза в соотношении 10/10 наблюдалось снижение содержания хлорофиллов и каротиноидов по сравнению с контрольным вариантом (Таблица 2).

Таблица 2.

Содержание фотосинтетических пигментов в листьях салата при внесении разных доз пшеничной соломы и навоза и интродукции червей в состав торфяного субстрата ($M \pm 95 \% CI$)

Субстрат (солома/навоз)	Хлорофилл <i>a</i>	Хлорофилл <i>b</i>	Сумма хлорофиллов	Каротиноиды
Контроль	1,37 $\pm$ 0,03	0,66 $\pm$ 0,06	2,03 $\pm$ 0,09	0,33 $\pm$ 0,02
10/10	1,12 $\pm$ 0,11*	0,58 $\pm$ 0,14	1,69 $\pm$ 0,21*	0,26 $\pm$ 0,03*
5/15	1,48 $\pm$ 0,17	1,04 $\pm$ 0,39*	2,52 $\pm$ 0,55	0,31 $\pm$ 0,04
0/20	1,56 $\pm$ 0,13*	0,99 $\pm$ 0,13*	2,55 $\pm$ 0,25*	0,33 $\pm$ 0,02

В целом, увеличение количества пигментов в листьях растений может быть связано с прямым увеличением доступности основных биогенных элементов и микроэлементов в субстрате, которое происходит под влиянием как ферментных систем червей, чья популяция в условиях присутствия дополнительных субстратов значительно увеличивалась, так и ассоциированной с червями микрофлорой [14, 28]. Экскреты (слизь и копролиты) червей могут не только изменять подвижность в почве микроэлементов, но и быть их непосредственным источником [1]. В составе экскретов чер-

вей железо – доминирующий микроэлемент и вызываемое экскретамми увеличение концентрации хлорофилла в листьях огурца в экспериментах Битюцкого с соавтр. [1] происходило исключительно вследствие поступления в побег данного элемента, таким образом, экскреты червей могут служить альтернативным источником железа для растений.

Внесение в субстрат отходов в виде пшеничной соломы и навоза способствовало значительному изменению в содержании подвижных форм основных биогенных элементов в субстрате: с увеличением дозы навоза в субстрате относительно соломы наблюдалось статистически значимое ($p < 0,05$) увеличение содержания аммонийного азота, фосфора и калия в растительной ткани на конец эксперимента (таблица 3).

Таблица 3.

Содержание подвижных форм основных биогенных элементов в субстрате салата при внесении разных доз пшеничной соломы и навоза и интродукции червей в состав торфяного субстрата ($M \pm 95\% CI$)

Субстрат (солома/навоз)	pH_{KCl}	Содержание подвижных форм элементов, мг/ 100 г а.с.в. субстрата			
		N-NH ₄	N-NO ₃	P ₂ O	K ₂ O
Контроль (0/0)	7,33±0,1	15,8±3,3	88,9±5,5	677,2±38,8	80,3±6,2
10/10	7,21±0,1*	27,9±4,3*	71,5±8,0*	934,5±51,1*	162,3±13,3*
5/15	7,24±0,1*	27,5±1,0*	63,1±4,3*	1179,7±79,3*	193,8±3,6*
0/20	7,02±0,1*	26,0±0,8*	91,5±6,4	1282,2±57,8*	157,1±1,0*

Примечание: * – статистическая значимость отличий от контроля ($p < 0,05$).

Внесение в торфяной субстрат пшеничной соломы и навоза способствовало значимому снижению содержания общего азота в тканях растений при этом увеличивалось накопление фосфора на 22–28 % и калия на 8–9 % (таблица 4).

Более высокое содержание общего азота в листьях растений салата может свидетельствовать и о большем содержании нитрат-ионов в тканях растений, что служит важным показателем качества продукции зеленных культур. Высокое содержание нитрат-ионов в тканях растений безвредно для них, но негативно влияет на организм человека, попадая в него с растительной пищей [3].

Исследования влияния различных отходов сельского хозяйства на популяции червей *E. fetida* представлены в ряде работ [9, 11, 13, 23, 24, 26, 27]. Suthar [26] демонстрирует данные о положительном влиянии включения в субстраты для культивирования как отходов животноводства в виде

навоза и помета, так и растительных остатков злаковых и овощных культур на численность червей. Органические отходы способствовали повышению не только питательной ценности, получаемого из этих субстратов биогумуса, но и плодovitости и набору биомассы червей. Viabani с соавторами [13] установили значительное снижение биомассы червей *E. fetida* и их общей численности по мере увеличения доли соломы в субстрате из разных видов навоза и пшеничной соломы. В экспериментах Шашуриной Е.А. с коллегами [11] установлено, что внесение в субстрат с почвой и илом соломы или опилок в соотношении 1:3 создавало благоприятные условия для роста и развития дождевых червей.

Таблица 4.

Содержание в биомассе растений салата основных биогенных элементов при внесении разных доз пшеничной соломы и навоза и интродукции червей в состав торфяного субстрата ($M \pm 95\%$ CI)

Субстрат (солома/навоз)	Содержание элементов, %		
	Общий азот	Общий фосфор	Общий калий
Контроль (0/0)	3,35 $\pm$ 0,18	0,71 $\pm$ 0,12	8,37 $\pm$ 0,62
10/10	2,74 $\pm$ 0,19*	0,87 $\pm$ 0,10*	8,06 $\pm$ 0,39
5/15	3,05 $\pm$ 0,17*	0,97 $\pm$ 0,12*	9,14 $\pm$ 0,48*
0/20	3,05 $\pm$ 0,15*	0,98 $\pm$ 0,13*	9,03 $\pm$ 0,44*

Примечание: * – статистическая значимость отличий от контроля ($p < 0,05$).

В проведенных нами экспериментах, показано, что на конец эксперимента все интродуцированные особи червей сохранились в модельных системах, что свидетельствует об удовлетворительных условиях их содержания. За период эксперимента черви не прибавили, но и не снизили биомассу, за исключением варианта с торфяным грунтом (контроль), но общее количество червей (половозрелых и ювенильных особей) и количество коконов на конец эксперимента значительно выше в вариантах с внесением отходов (таблица 5).

Внесение в торфяной субстрат соломы вместе с навозом не сказывалось отрицательно на репродуктивных показателях *E. fetida*, и незначительно уступало системам с добавлением в субстрат только навоза КРС (20 %). Количество червей в вариантах с добавлением соломы и навоза увеличилось по сравнению с исходной популяцией в 15–17 раз, а выход копролита, в варианте с заменой субстрата на солому/навоз (10/10), выше, чем во всех остальных вариантах. Копролит представляет собой

концентрированное органическое удобрение без запаха с высоким содержанием подвижных форм питательных элементов, биологически активных веществ и полезной микрофлоры [6]. В целом, замена торфа на равное количество пшеничной соломы и навоза способствовали созданию благоприятных условий: к моменту завершения эксперимента отродилось большое количество ювенильных особей, кроме того в субстрате обнаружено и значительное количество коконов, что в дальнейшем сыграет важную роль в более быстрой переработке оставшегося субстрата. Curry and Byrne [16] показали, что скорость разложения пшеничной соломы под влиянием дождевых червей была выше на 26–47 %. Опираясь на полученные экспериментальные данные и учитывая описанные в литературе закономерности и эффекты, *E. fetida* – многообещающий агент биологической переработки соломы.

Таблица 5.

Основные характеристики популяции червей *Eisenia fetida* при внесении разных доз пшеничной соломы и навоза в состав торфяного субстрата ($M \pm 95 \% CI$)

Субстрат (солома/навоз)	Общее количество червей, особей/кг субстрата	Количество коконов, шт./кг субстрата	Плодовитость взрослых особей, шт./червя	Выход копролита, г
Контроль (0/0)	14,2±2,7	2,1±1,0	0,4±0,1	47,1±1,4
10/10	150,8±10,1*	92,9±5,8*	18,5±5,5*	55,7±1,1*
5/15	152,1±25,1*	75,0±6,0*	17,2±6,5*	41,4±2,7*
0/20	172,5±4,6*	94,5±16,8*	20,4±4,8*	48,0±2,6

Как уже неоднократно упоминалось, микрофлора формируемых в присутствии дождевых червей субстратов оказывает значительное влияние на рост и развитие продуцентов в системе [10, 14, 17]. Известно, что микробная плотность и активность могут являться характеристикой биологической активности природных систем: чем данный параметр выше, тем интенсивнее и быстрее происходят процессы, связанные с трансформацией органических соединений в субстратах [25]. Влияние различных доз соломы пшеницы и навоза КРС на численность микроорганизмов в субстрате представлено в таблице 6.

Представленные данные показывают, что дополнительное внесение органики, способствует статистически значимому ($p < 0,05$) увеличению общего микробного числа микроорганизмов, а также численности микромицетов, кроме варианта с внесением только навоза КРС (20 %). Последнее

может быть связано с тем, что основной функцией микромицетов является разложение биологических полимеров, таких как целлюлоза и хитин, а более мобильные органические соединения (такие как низкомолекулярные углеводы и белки) быстрее вовлекаются в круговорот элементов благодаря бактериальной микрофлоре. Последнее утверждение также продемонстрировано полученными нами экспериментальными данными. Интересно отметить увеличение актуальной активности азотобактера в субстратах с дополнительным внесением органики в виде навоза на 17 % относительно контроля. Процесс азотфиксации является очень энергозатратным и микроорганизмы не будут переходить на активную азотфиксацию в случае достаточной концентрации доступного азота в органической и/или минеральной форме. С другой стороны, азотфиксация также возможна для богатых энергетическим углеродным субстратом в доступной для азотобактера форме. Поэтому увеличение актуальной активности азотобактера может служить как индикатором увеличения доступных форм углеродных соединений, так и недостатка доступных форм азота в субстрате [17].

Таблица 6.

Влияние различных доз соломы пшеницы и навоза КРС и интродукции червей на численность основных групп микроорганизмов в субстрате ($M \pm 95\%$ CI)

Субстрат (солома/навоз)	Общее микробное число, КОЕ / г а.с.в. субстрата	Микромицеты, КОЕ / г а.с.в. субстрата	Актуальная активность азотобактера, %
Контроль (0/0)	$6,2 \times 10^8 \pm 1,1 \times 10^8$	$7,1 \times 10^3 \pm 3,2 \times 10^3$	$9,0 \pm 1,4$
10/10	$8,1 \times 10^8 \pm 1,2 \times 10^8^*$	$3,1 \times 10^4 \pm 6,2 \times 10^3^*$	$8,0 \pm 2,5$
5/15	$7,3 \times 10^8 \pm 1,2 \times 10^8$	$1,2 \times 10^4 \pm 7,6 \times 10^3$	$8,5 \pm 3,4$
0/20	$8,7 \times 10^8 \pm 1,3 \times 10^8^*$	$8,0 \times 10^3 \pm 3,2 \times 10^3$	$15,4 \pm 2,7^*$

Примечание: * – статистическая значимость отличий от контроля ($p < 0,05$).

Качество субстрата, получаемого при вермикультивировании, и микробная численность напрямую зависят от состава органических отходов в этом процессе [12]. Черви, пропуская субстрат через свою пищеварительную систему оказывают влияние на численность микроорганизмов, изменяя качественный и количественный состав, их активность и структуру [10, 14]. Показано, что благодаря деятельности червей возрастает количество нейтральной или полезной для растений микрофлоры, элиминируют колиморфные формы [15, 17]. Известно, что кишечник дождевого червя содержит более высокое количество легкодоступных органических соединений, что позволяет микроорганизмам, проходя через кишечник

червя, получать необходимое питание в достаточном количестве, быстро размножаться и в свою очередь синтезировать полезные для растений метаболиты, благодаря чему вокруг ризосферы растений формируется сообщество бактерий, стимулирующих рост и развитие растений за счет большого количества механизмов [15, 19].

В целом, увеличение численности микроорганизмов в готовом субстрате, играет положительную роль как при проведении совместного процесса культивирования и червей и растений на субстрате, так и при возможном многократном использовании образуемого в процессе культивирования субстрата для получения растительной продукции.

Выводы

Таким образом, показана возможность получения качественной растительной продукции в искусственной экосистеме в присутствии червей в субстрате без дополнительного внесения минеральных удобрений. При этом, замена части субстрата на пшеничную солому и навоз способствовала увеличению продуктивности растений салата, улучшению минерального питания растений и увеличению содержания ионов калия в готовой продукции. Кроме того, подобные системы оказывают эффективное действие и на репродуктивные показатели червей, что также играет важную роль и в процессе дальнейшей переработки субстратов и получения биомассы червей.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest. The authors declare that there is no conflict of interest regarding the publication of this article.

Финансирование. Работа выполнена в рамках тематики научных исследований Государственного задания СФНЦА РАН FNUU-2021-0005.

Funding. The work was carried out within the State Assignment of the Siberian Federal Scientific Center of Agrobiotechnologies of the Russian Academy of Sciences FNUU-2021-0005.

Список литературы

1. Битюцкий Н.П., Кайдун П.И. Влияние дождевых червей на подвижность микроэлементов в почве и их доступность растениям // Почвоведение. 2008. Т. 41, № 12. С. 1479-1486.

2. Величко В.В., Ушакова С.А., Трифонов С.В., Тихомиров А.А. Влияние физико-химической минерализации соломы на формирование урожая пшеницы при выращивании на почвоподобном субстрате // Авиакосмическая и экологическая медицина. 2019. Т. 53, № 3. С. 97-103. <https://doi.org/10.21687/0233-528X-2019-53-3-97-103>
3. Головкин Т.Г., Тихомиров А.А., Ушакова С.А., Табаленкова Г.Н., Захожий И.Г., Гармаш Е.В., Величко В.В. Продуктивность и биологическая ценность зеленных культур применительно к условиям биорегенеративных систем жизнеобеспечения // Известия Коми научного центра УрО РАН. 2011. Вып. 1(5). С. 31-37.
4. Данилова Е.Д., Злобин И.Е., Кузнецов В.В., Ефимова М.В. Экзогенный мелатонин снижает токсическое действие полиметаллического стресса на растения ячменя // Доклады Российской академии наук. Науки о жизни. 2021. Т. 499, № 1. С. 348-353. <https://doi.org/10.31857/S2686738921040077>
5. Дегерменджи А.Г., Тихомиров А.А. Создание искусственных замкнутых экосистем земного и космического назначения // Вестник Российской академии наук. 2014. Т. 84, № 3. С. 23-240.
6. Лящев А.А. Экологическая оценка популяции дождевых компостных червей // Аграрный вестник Урала. 2009. Т. 64, №10. С. 30-32.
7. Русакова И.В., Воробьев Н.И. Влияние биопрепарата Баркон на процесс гумификации соломы // Агрохимия. 2011. № 1. С. 48-55.
8. Сазонова И.А., Азизов И.Р., Яковлева Н.А. Оценка эффективности использования отходов грибоводства в процессах вермикюльтивирования и вермикомпостирования // Аграрный научный журнал. 2022. № 4. С. 44-47. <https://doi.org/10.28983/asj.y2022i4pp44-47>
9. Терещенко Н.Н. Эколого-микробиологические аспекты вермикюльтивирования. Новосибирск, 2003. 116 с.
10. Терещенко Н.Н., Кравец А.В., Акимова Е.Е., Минаева О.М., Зотикова А.П. Эффективность применения микроорганизмов, изолированных из копролитов дождевых червей, для увеличения урожайности зерновых культур // Сибирский вестник сельскохозяйственной науки. 2013. № 5. С. 10-17.
11. Шашурина Е.А., Поминчук Ю.А., Редькова Л.А. Биотестирование при определении пригодности илового субстрата для использования его в качестве удобрения // Вестник РГАТУ. 2019. Т. 42, № 2. С. 52-57.
12. Aasfar A., Bargaz A., Yaakoubi K., Hilali A., Bennis I., Zeroual Y., Kadmiri I.M. Nitrogen fixing *Azotobacter* species as potential soil biological enhancers for crop nutrition and yield stability // Frontiers in Microbiology, 2021, no. 12, Article no. 628379. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2021.628379>

13. Biabani A., Carpenter-Boggs L., Gholizadeh A., Vafaie-Tabar M., Omara M.O. Reproduction efficiency of *Eisenia foetida* and substrate changes during vermicomposting of organic materials // *Compost Science & Utilization*, 2018, vol. 26, no. 3, pp. 209-215. <https://doi.org/10.1080/1065657X.2018.1463877>
14. Blouin M.A., Hodson M.E., Delgado E.A., Baker G., Brussaard L., Butt K.R., Dai J., Dendooven L., Peres G., Tondoh J.E., Cluzeau D., Brun J.-J. Review of earthworm impact on soil function and ecosystem services // *European Journal of Soil Science*, 2013, vol. 64, pp. 161-182. <https://doi.org/10.1111/ejss.12025>
15. Braga L., Yoshiura C., Borges C., Horn M.A., Brown G.G., Drake H.L., Tsai S.M. Disentangling the influence of earthworms in sugarcane rhizosphere // *Scientific Reports*, 2016, no. 6. Article no. 38923. <https://doi.org/10.1038/srep38923>
16. Curry J.P., Byrne D. The role of earthworms in straw decomposition and nitrogen turnover in arable land in Ireland // *Soil Biology and Biochemistry*, 1992, vol. 24, no 12, pp. 1409-1412. [https://doi.org/10.1016/0038-0717\(92\)90125-H](https://doi.org/10.1016/0038-0717(92)90125-H)
17. Domínguez J., Aira M., Crandall K.A., Pérez-Losada M. Earthworms drastically change fungal and bacterial communities during vermicomposting of sewage sludge // *Scientific Reports*, 2021, vol. 11, Article no. 15556. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-95099-z>
18. Gorbunova A.Yu., Korobushkin D.I., Kostina N.V., Degtyarev M.I., Gongalsky K.B., Zaitsev A.S. Level of soil moisture determines the ability of *Eisenia fetida* to reincorporate carbon from decomposed rice straw into the soil // *European Journal of Soil Biology*, 2020, no. 99, Article no. 103209. <https://doi.org/10.1016/j.ejsobi.2020.103209>
19. Jacquiod S., Puga-Freitas R., Spor A., Mounier A., Monard C., Mougél C., Philippot L., Blouin M. A core microbiota of the plant-earthworm interaction conserved across soils // *Soil Biology and Biochemistry*, 2020, vol. 144, Article no 107754. <http://doi.org/10.1016/j.soilbio.2020.107754>
20. Jana U., Barot S., Blouin M., Lavelle P., Laffray D., Repellin A. Earthworms influence the production of above- and belowground biomass and the expression of genes involved in cell proliferation and stress responses in *Arabidopsis thaliana* // *Soil Biology and Biochemistry*, 2010, vol. 42, pp. 244-252. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2009.10.022>
21. Lichtenthaler H.K., Wellburn A.R. Determination of total carotenoids and chlorophylls *a* and *b* of leaf extracts in different solvents // *Biochemical Society Transactions*, 1983, vol. 11, no. 5, pp. 591-592. <https://doi.org/10.1042/BST0110591>

22. Lirikum, Kakati L.N., Thyug L., Mozhui L. Vermicomposting: An eco-friendly approach for waste management and nutrient enhancement // *Tropical Ecology*, 2022, vol. 63, pp. 325-337. <https://doi.org/10.1007/s42965-021-00212-y>
23. Ramnarain Y.I., Ansari A.A., Ori L. Vermicomposting of different organic materials using the epigeic earthworm *Eisenia foetida* // *International Journal of Recycling of Organic Waste in Agriculture*, 2019, vol. 8, pp. 23-36. <https://doi.org/10.1007/s40093-018-0225-7>
24. Sharma D., Prasad R., Patel B., Parashar C.K. Biotransformation of sludges from dairy and sugarcane industries through vermicomposting using the epigeic earthworm *Eisenia fetida* // *International Journal of Recycling of Organic Waste in Agriculture*, 2022, vol. 11, pp. 165-175. <https://doi.org/10.30486/IJROWA.2021.1922034.1196>
25. Sudkolai S.T., Nourbakhsh F. Urease activity as an index for assessing the maturity of cow manure and wheat residue vermicomposts // *Waste Management*, 2017, vol. 64, pp. 63-66. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2017.03.011>
26. Suthar S. Bioremediation of agricultural wastes through vermicomposting // *Bioremediation Journal*, 2009, vol. 13, no. 1, pp. 21-28. <https://doi.org/10.1080/10889860802690513>
27. Tang C.S., Waiss A.C. Short-chain fatty acids as growth inhibitors in decomposing wheat straw // *Journal of Chemical Ecology*, 1978, vol. 4, pp. 225-232. <https://doi.org/10.1007/BF00988057>
28. Van Groenigen J., Lubbers I., Vos H.M.J., Brown G.G., De Deyn G.B., van Groenigen K.J. Earthworms increase plant production: a meta-analysis // *Scientific Reports*, 2014, vol. 4, Article no. 6365. <https://doi.org/10.1038/srep06365>
29. Zaitsev A.S., Gorbunova A.Yu., Korobushkin D.I., Degtyarev M.I., Zhadova A.N., Kostina N.V., Gongalsky K.B. The earthworm species *Eisenia fetida* modulates greenhouse gas release and carbon stabilization after rice straw amendment to a paddy soil // *European Journal of Soil Biology*, 2018, vol. 89, pp. 39-44. <https://doi.org/10.1016/j.ejsobi.2018.10.003>
30. Zotov V.S., Bolychevtseva Y.V., Khapchaeva S.A., Terekhova I.V., Shubin V.V., Yurina N.P., Kulchin Yu.N. Effect of light quality on the biomass yield, photosystem 2 fluorescence, and the total essential oil content of *Ocimum basilicum* // *Applied Biochemistry and Microbiology*, 2020, vol. 56, no. 3, pp. 336-343. <https://doi.org/10.1134/S0003683820030175>

References

1. Bityutskii N.P., Kaidun P.I. The influence of earthworms on the mobility of microelements in soil and their availability for plants. *Eurasian Soil Science*, 2008, vol. 41, no. 12, pp. 1306-1313. <https://doi.org/10.1134/S1064229308120089>

2. Velichko V.V., Ushakova S.A., Trifonov S.V., Tikhomirov A.A. Evaluation of the effect of straw physical-chemical mineralization on the yield of wheat grown on soil-like substrate. *Aviakosmicheskaya i Ekologicheskaya Meditsina* (Russia), 2019, vol. 53, no 3, pp. 97-103.
3. Golovko T.K., Tikhomirov A.A., Ushakova S.A., Tabalenkova G.N., Zakhozhiy I.G., Garmash E.V., Velichko V.V. Productivity and nutrition value of leaf vegetables as applied to bioregenerative life-support systems. *Proceedings of the Komi Science Center of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences*, 2011, vol. 5, no. 1, pp. 31-37.
4. Danilova E.D., Kuznetsov V.V., Efimova M.V., Zlobin I.E. Exogenic melatonin reduces the toxic effect of polymetallic stress on barley plants. *Doklady Biochemistry and Biophysics*, 2021, vol. 499, no. 1, pp. 228-232. <https://doi.org/10.1134/S1607672921040049>
5. Degermendzhi A.G., Tikhomirov A.A. Designing artificial closed land- and space-based ecosystems. *Herald of the Russian Academy of Sciences*, 2014, vol. 84, no. 2, pp. 124-130. <https://doi.org/10.1134/S1019331614020026>
6. Ljashchev A.A. Ecological estimation of populations of earthworms for compost. *Agrarian Bulletin of the Urals*, 2009, vol. 64, no. 10, pp. 30-32.
7. Rusakova I.V., Vorobyev N.I. Effect of the biopreparation Barcon on the humification of straw. *Agrohimia*, 2011, no. 1, pp. 48-55.
8. Sazonova I.A., Azizov I.R., Yakovleva N.A. Estimation of the efficiency of use of waste from mushroom in the processes of vermiculture and vermicomposting. *Agrarnyy nauchnyy zhurnal* [Agrarian Scientific Journal], 2022, no. 4, pp. 44-47. <http://dx.doi.org/10.28983/asj.y2022i4pp44-47>
9. Tereshchenko N.N. *Ekologo-mikrobiologicheskiye aspekty vermikul'tirovaniya* [Ecological and Microbiological Aspects of Vermiculture]. Novosibirsk, 2003, 116 p.
10. Tereshchenko N.N., Kravets A.V., Akimova E.E., Minayeva O.M., Zotikova A.P. Effectiveness of applying microorganisms isolated from earthworm coprolites in increasing yielding capacity of grain crops. *Siberian Herald of Agricultural Science*, 2013, no. 5(234), pp. 10-17.
11. Shashurina E.A., Pominchuk Y.A., Redkova L.A. A bioassay in determining the suitability of silt substrate for use as fertilizer. *Vestnik RGATU*, 2019, vol. 42, no. 2, pp. 52-57.
12. Aasfar A., Bargaz A., Yaakoubi K., Hilali A., Bennis I., Zeroual Y., Kadmiri I.M. Nitrogen fixing *Azotobacter* species as potential soil biological enhancers for crop nutrition and yield stability. *Frontiers in Microbiology*, 2021, no. 12, Article no. 628379. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2021.628379>

13. Biabani A., Carpenter-Boggs L., Gholizadeh A., Vafaie-Tabar M., Omara M.O. Reproduction efficiency of *Eisenia foetida* and substrate changes during vermicomposting of organic materials. *Compost Science & Utilization*, 2018, vol. 26, no. 3. pp. 209-215. <https://doi.org/10.1080/1065657X.2018.1463877>
14. Blouin M.A., Hodson M.E., Delgado E.A., Baker G., Brussaard L., Butt K.R., Dai J., Dendooven L., Peres G., Tondoh J.E., Cluzeau D., Brun J.-J. Review of earthworm impact on soil function and ecosystem services. *European Journal of Soil Science*, 2013, vol. 64, pp. 161-182. <https://doi.org/10.1111/ejss.12025>
15. Braga L., Yoshiura C., Borges C., Horn M.A., Brown G.G., Drake H.L., Tsai S.M. Disentangling the influence of earthworms in sugarcane rhizosphere. *Scientific Reports*, 2016, no. 6, Article no. 38923. <https://doi.org/10.1038/srep38923>
16. Curry J.P., Byrne D. The role of earthworms in straw decomposition and nitrogen turnover in arable land in Ireland. *Soil Biology and Biochemistry*, 1992, vol. 24, no. 12, pp. 1409-1412. [https://doi.org/10.1016/0038-0717\(92\)90125-H](https://doi.org/10.1016/0038-0717(92)90125-H)
17. Domínguez J., Aira M., Crandall K.A., Pérez-Losada M. Earthworms drastically change fungal and bacterial communities during vermicomposting of sewage sludge. *Scientific Reports*, 2021, vol. 11, Article no. 15556. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-95099-z>
18. Gorbunova A.Yu., Korobushkin D.I., Kostina N.V., Degtyarev M.I., Gongalsky K.B., Zaitsev A.S. Level of soil moisture determines the ability of *Eisenia fetida* to reincorporate carbon from decomposed rice straw into the soil. *European Journal of Soil Biology*, 2020, no. 99, Article no. 103209. <https://doi.org/10.1016/j.ejsobi.2020.103209>
19. Jacquiod S., Puga-Freitas R., Spor A., Mounier A., Monard C., Mougel C., Philippot L., Blouin M. A core microbiota of the plant-earthworm interaction conserved across soils. *Soil Biology and Biochemistry*, 2020, vol. 144, Article no 107754. <http://doi.org/10.1016/j.soilbio.2020.107754>
20. Jana U., Barot S., Blouin M., Lavelle P., Laffray D., Repellin A. Earthworms influence the production of above- and belowground biomass and the expression of genes involved in cell proliferation and stress responses in *Arabidopsis thaliana*. *Soil Biology and Biochemistry*, 2010, vol. 42, pp. 244-252. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2009.10.022>
21. Lichtenthaler H.K., Wellburn A.R. Determination of total carotenoids and chlorophylls *a* and *b* of leaf extracts in different solvents. *Biochemical Society Transactions*, 1983, vol. 11, no. 5, pp. 591-592. <https://doi.org/10.1042/BST0110591>
22. Lirikum, Kakati L.N., Thyug L., Mozhui L. Vermicomposting: An eco-friendly approach for waste management and nutrient enhancement. *Tropical Ecology*, 2022, vol. 63, pp. 325-337. <https://doi.org/10.1007/s42965-021-00212-y>

23. Ramnarain Y.I., Ansari A.A., Ori L. Vermicomposting of different organic materials using the epigeic earthworm *Eisenia foetida*. *International Journal of Recycling of Organic Waste in Agriculture*, 2019, vol. 8, pp. 23-36. <https://doi.org/10.1007/s40093-018-0225-7>
24. Sharma D., Prasad R., Patel B., Parashar C.K. Biotransformation of sludges from dairy and sugarcane industries through vermicomposting using the epigeic earthworm *Eisenia fetida*. *International Journal of Recycling of Organic Waste in Agriculture*, 2022, vol. 11, pp. 165-175. <https://doi.org/10.30486/IJROWA.2021.1922034.1196>
25. Sudkolai S.T., Nourbakhsh F. Urease activity as an index for assessing the maturity of cow manure and wheat residue vermicomposts. *Waste Management*, 2017, vol. 64, pp. 63-66. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2017.03.011>
26. Suthar S. Bioremediation of agricultural wastes through vermicomposting. *Bioremediation Journal*, 2009, vol. 13, no. 1, pp. 21-28. <https://doi.org/10.1080/10889860802690513>
27. Tang C.S., Waiss A.C. Short-chain fatty acids as growth inhibitors in decomposing wheat straw. *Journal of Chemical Ecology*, 1978, vol. 4, pp. 225-232. <https://doi.org/10.1007/BF00988057>
28. Van Groenigen J., Lubbers I., Vos H.M.J., Brown G.G., De Deyn G.B., van Groenigen K.J. Earthworms increase plant production: a meta-analysis. *Scientific Reports*, 2014, vol. 4, Article no. 6365. <https://doi.org/10.1038/srep06365>
29. Zaitsev A.S., Gorbunova A.Yu., Korobushkin D.I., Degtyarev M.I., Zhadova A.N., Kostina N.V., Gongalsky K.B. The earthworm species *Eisenia fetida* modulates greenhouse gas release and carbon stabilization after rice straw amendment to a paddy soil. *European Journal of Soil Biology*, 2018, vol. 89, pp. 39-44. <https://doi.org/10.1016/j.ejsobi.2018.10.003>
30. Zotov V.S., Bolychevtseva Y.V., Khapchaeva S.A., Terekhova I.V., Shubin V.V., Yurina N.P., Kulchin Yu.N. Effect of light quality on the biomass yield, photosystem 2 fluorescence, and the total essential oil content of *Ocimum basilicum*. *Applied Biochemistry and Microbiology*, 2020, vol. 56, no. 3, pp. 336-343. <https://doi.org/10.1134/S0003683820030175>

ВКЛАД АВТОРОВ

Т.И. Зюбанова, О.М. Минаева, Е.Е. Акимова выполняли проведение экспериментальных исследований, анализ экспериментальных данных, написание рукописи. **М. Е. Кириллова** проводила химические анализы субстратов и растений. **Н.Н. Терешенко** осуществляла руководство исследованием.

AUTHOR CONTRIBUTIONS

Tatyana I. Zyubanova, Oksana M. Minaeva and Elena E. Akimova performed the experimental research, analyzed the experimental data and writing the manuscript, **Marina E. Kirillova** conducted the chemical analyses, **Natalia N. Tereshchenko** supervised the research.

ДАННЫЕ ОБ АВТОРАХ

Зюбанова Татьяна Ивановна, младший научный сотрудник; ст. преп. кафедры сельскохозяйственной биологии, Институт биологии, экологии, почвоведения, сельского и лесного хозяйства
Сибирский научно-исследовательский институт сельского хозяйства и торфа - филиал Федерального государственного бюджетного учреждения науки Сибирского федерального научного центра агробиотехнологий Российской академии наук (СибНИИСХиТ – филиал СФНЦА РАН); Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский Томский государственный университет»
ул. Гагарина, 3, г. Томск, 634050, Российская Федерация; пр. Ленина, 36, г. Томск, 634050, Российская Федерация
zyubanovat.i@gmail.com

Минаева Оксана Модестовна, доцент, канд. биол. наук, доцент кафедры сельскохозяйственной биологии, Институт биологии, экологии, почвоведения, сельского и лесного хозяйства; старший научный сотрудник
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский Томский государственный университет»; Сибирский научно-исследовательский институт сельского хозяйства и торфа - филиал Федерального государственного бюджетного учреждения науки Сибирского федерального научного центра агробиотехнологий Российской академии наук (СибНИИСХиТ – филиал СФНЦА РАН)
пр. Ленина, 36, г. Томск, 634050, Российская Федерация; ул. Гагарина, 3, г. Томск, 634050, Российская Федерация
tom05@mail.ru

Акимова Елена Евгеньевна, канд. биол. наук, старший научный сотрудник; доцент кафедры сельскохозяйственной биологии, Институт биологии, экологии, почвоведения, сельского и лесного хозяйства

*Сибирский научно-исследовательский институт сельского хозяйства и торфа - филиал Федерального государственного бюджетного учреждения науки Сибирского федерального научного центра агробиотехнологий Российской академии наук (СибНИИСХиТ – филиал СФНЦА РАН); Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский Томский государственный университет»
ул. Гагарина, 3, г. Томск, 634050, Российская Федерация; пр. Ленина, 36, г. Томск, 634050, Российская Федерация
akimovanell@mail.ru*

Кириллова Марина Евгеньевна, старший научный сотрудник

*Сибирский научно-исследовательский институт сельского хозяйства и торфа - филиал Федерального государственного бюджетного учреждения науки Сибирского федерального научного центра агробиотехнологий Российской академии наук (СибНИИСХиТ – филиал СФНЦА РАН)
ул. Гагарина, 3, г. Томск, 634050, Российская Федерация
kirillovame@bk.ru*

Терещенко Наталья Николаевна, д-р биол. наук, профессор, кафедры экологии, природопользования и экологической инженерии, Институт биологии, экологии, почвоведения, сельского и лесного хозяйства
*Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский Томский государственный университет»
пр. Ленина, 36, г. Томск, 634050, Российская Федерация
ternat@mail.ru*

DATA ABOUT THE AUTHORS

Tatyana I. Zybanova, Junior Researcher; Senior Teacher of the Department of Agricultural Biology, Institute of Biology
*Siberian Research Institute of Agriculture and Peat, Branch of the Federal State Budgetary Institution of Science, Siberian Federal Scientific Center of Agrobiotechnologies of the Russian Academy of Sciences; Tomsk State University
3, Gagarina Str., Tomsk, 634050, Russian Federation; 36, Lenina Pr., Tomsk, 634050, Russian Federation*

zyubanovat.i@gmail.com

SPIN-code: 2023-2096

ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-9429-9706>

ResearcherID: Y-5887-2019

Scopus Author ID: 57203914538

Oksana M. Minaeva, Cand. Sc. (Biology), Associate Professor, Associate Professor of the Department of Agricultural Biology, Institute of Biology; Senior Researcher

Tomsk State University; Siberian Research Institute of Agriculture and Peat, Branch of the Federal State Budgetary Institution of Science, Siberian Federal Scientific Center of Agrobiotechnologies of the Russian Academy of Sciences

36, Lenina Pr., Tomsk, 634050, Russian Federation; 3, Gagarina Str., Tomsk, 634050, Russian Federation

mom05@mail.ru

SPIN-code: 9088-5920

ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-5925-6022>

ResearcherID: H-8506-2014

Scopus Author ID: 25623529200

Elena E. Akimova, Cand. Sc. (Biology), Senior Researcher; Associate Professor of the Department of Agricultural Biology, Institute of Biology *Siberian Research Institute of Agriculture and Peat, Branch of the Federal State Budgetary Institution of Science, Siberian Federal Scientific Center of Agrobiotechnologies of the Russian Academy of Sciences; Tomsk State University*

3, Gagarina Str., Tomsk, 634050, Russian Federation; 36, Lenina Pr., Tomsk, 634050, Russian Federation

akimovanell@mail.ru

SPIN-code: 1583-3419

ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-3279-8200>

ResearcherID: H-8521-2014

Scopus Author ID: 25623245900

Marina E. Kirillova, Senior Researcher

Siberian Research Institute of Agriculture and Peat, Branch of the Federal State Budgetary Institution of Science, Siberian Federal Scientific Center of Agrobiotechnologies of the Russian Academy of Sciences

3, Gagarina Str., Tomsk, 634050, Russian Federation

kirillovame@bk.ru

SPIN-code: 3350-1703

ORCID: <http://orcid.org/0009-0009-0138-6930>

Natalia N. Tereshchenko, Dr. Sc. (Biology), Associate Professor, Professor of the Department of Ecology, Nature Management and Environmental Engineering, Institute of Biology

Tomsk State University

36, Lenina Pr., Tomsk, 634050, Russian Federation

ternat@mail.ru

SPIN-code: 7391-2237

ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-3084-6926>

ResearcherID: N-7702-2014

Scopus Author ID: 7003806440

Поступила 02.08.2023

После рецензирования 08.09.2023

Принята 19.09.2023

Received 02.08.2023

Revised 08.09.2023

Accepted 19.09.2023

DOI: 10.12731/2658-6649-2024-16-2-803

УДК 631.58



Научная статья

РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ ПРИМЕНЕНИЯ БПЛА ДЛЯ АНАЛИЗА КАЧЕСТВЕННОГО СОСТОЯНИЯ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ УГОДИЙ САХАЛИНСКОЙ ОБЛАСТИ

С.В. Абрамова, Е.Н. Бояров, А.Ю. Соболев

Обоснование. Оценка качественного состояния сельскохозяйственных угодий является важнейшей составляющей в сфере аграрного управления и экологического контроля и представляет собой перманентную научную проблему. Применение беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) с набором датчиков для такой оценки позволяет оперативно получать актуальную и достоверную информацию объективного контроля, что дает возможность существенно повысить качество выводов и разработать рекомендации по улучшению управления земельными ресурсами и устойчивому развитию сельскохозяйственных угодий.

Цель. Разработка методики использования БПЛА для оценки качественного состояния сельскохозяйственных угодий Сахалинской области для ее применения в оптимизации агротехнических практик.

Материалы и методы. В отдельных зонах сельскохозяйственного назначения Сахалинской области дистанционными методами была проведена оценка качественного состояния. С помощью набора датчиков, расположенных на БПЛА, определяли качество воздуха, температуру, влажность, уровень пыли.

Результаты. Показано, что применение БПЛА в сельском хозяйстве Сахалинской области предоставляет широкие возможности для мониторинга сельскохозяйственных показателей, позволяя создать компактную и гибкую систему сбора данных за счет подключения и интеграции различных датчиков, что дает возможность создания масштабируемой системы. Впервые разработана модель применения БПЛА для экологического мониторинга сельскохозяйственных угодий Сахалинской области, важным элементом которой является авторский интерфейс, позволяющий обрабатывать в реальном времени показания датчиков и хранить их в специализированной базе данных. С целью реализации модели разработана и апробирована авторская методика

использования БПЛА для оценки качественного состояния сельскохозяйственных угодий в Сахалинской области.

Заключение. Полученные результаты подтвердили эффективность данного подхода для сбора первичных данных экологического. Выбор подходящих БПЛА и датчиков, точный сбор и анализ данных, а также выработка научно обоснованных рекомендаций предоставили основу для построения модели применения БПЛА для экологического мониторинга сельскохозяйственных угодий Сахалинской области. Разработанную модель можно считать прототипом системы комплексного мониторинга, которая может быть масштабируемой за счет изменения набора используемых датчиков.

Ключевые слова: беспилотные летательные аппараты; экологический мониторинг; сельскохозяйственные угодья; датчики; анализ данных; агротехнические мероприятия; рекомендации

Для цитирования. Абрамова С.В., Бояров Е.Н., Соболев А.Ю. Разработка методики применения БПЛА для анализа качественного состояния сельскохозяйственных угодий Сахалинской области // *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*. 2024. Т. 16, №2. С. 93-112. DOI: 10.12731/2658-6649-2024-16-2-803

Original article

DEVELOPMENT OF A METHODOLOGY FOR THE APPLICATION OF UAVS FOR ANALYSIS OF THE QUALITATIVE STATE OF AGRICULTURAL LANDS IN THE SAKHALIN REGION

S.V. Abramova, E.N. Boyarov, A. Yu. Sobolev

Background. Assessment of the qualitative state of agricultural lands is a crucial component in the field of agricultural management and environmental control, representing a persistent scientific challenge. The use of unmanned aerial vehicles (UAVs) equipped with a set of sensors for such assessment allows for prompt acquisition of accurate and reliable information for objective monitoring, enabling a significant improvement in the quality of conclusions and the development of recommendations for enhancing land resource management and sustainable agricultural land development.

Purpose. To develop a methodology for the utilization of UAVs in assessing the qualitative state of agricultural lands in the Sakhalin region, aiming to apply this approach for optimizing agrotechnical practices.

Materials and Methods. In specific agricultural zones of the Sakhalin region, a remote assessment of the quality state was conducted. Using a set of sensors placed on UAVs, air quality, temperature, humidity, and dust level were determined.

Results. It has been shown that the use of UAVs in agriculture in the Sakhalin region offers broad opportunities for monitoring agricultural indicators, enabling the creation of a compact and flexible data collection system through the connection and integration of various sensors, thus facilitating the development of a scalable system. A model for the application of UAVs in the ecological monitoring of agricultural lands in the Sakhalin region has been developed, featuring an original interface for real-time sensor data processing and storage in a specialized database. To implement the model, a methodology for utilizing UAVs to assess the quality state of agricultural lands in the Sakhalin region was developed and tested.

Conclusions. The obtained results confirmed the effectiveness of this approach for collecting primary ecological data. The selection of suitable UAVs and sensors, accurate data collection and analysis, as well as the development of scientifically justified recommendations, provided the foundation for constructing a model for the application of UAVs in the ecological monitoring of agricultural lands in the Sakhalin region. The developed model can be considered a prototype of a comprehensive monitoring system, which can be scalable by modifying the set of utilized sensors.

Keywords: unmanned aerial vehicles; environmental monitoring; agricultural lands; sensors; data analysis; agrotechnical measures; recommendations

For citation. Abramova S.V., Boyarov E.N., Sobolev A.Yu. Development of a Methodology for the Application of UAVs for the Analysis of the Qualitative State of Agricultural Lands in the Sakhalin Region. *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*, 2024, vol. 16, no. 2, pp. 93-112. DOI: 10.12731/2658-6649-2024-16-2-803

Введение

Применение БПЛА в анализе качественного состояния сельскохозяйственных угодий и их экологическом мониторинге представляет собой значимую инновацию, ответственную за изменение парадигмы современного аграрного управления и экологического контроля. В рамках современных вызовов, таких как изменения климата, ограниченность ресурсов и потребность в устойчивом развитии, методика мониторинга различных показателей окружающей среды, основанной на применении БПЛА приобретает важность в оптимизации производственных процессов и улучшении устойчивости сельскохозяйственной деятельности.

Актуальность таких исследований обусловлена способностью автоматизированных систем на базе БПЛА эффективно собирать, анализировать и интерпретировать многомерные данные с разнообразных сенсоров, что позволяет добиваться высокой разрешающей способности и пространственной точности в мониторинге агроландшафтов. Посредством интеграции современных датчиков, таких как мультиспектральные и гиперспектральные камеры, термальные сенсоры и сенсоры влажности почвы, достигается возможность оценки ключевых параметров сельскохозяйственных угодий, таких как плотность растительности, уровень урожайности, влажность почвы и присутствие живых организмов – вредителей сельского хозяйства.

Исключительное значение в данном контексте приобретает тесная координация между аналитическими функциями таких систем и алгоритмами обработки данных. Данное взаимодействие позволяет достичь высокой степени автоматизации сбора, анализа и интерпретации данных, ускоряя процесс принятия решений и снижая степень участия человека. Важным элементом данного методологического подхода является создание надежных моделей, базирующихся на алгоритмах машинного обучения и компьютерного зрения, что способствует определению аномалий и тенденций, имеющих отношение к качественному состоянию сельскохозяйственных угодий.

Таким образом, методика применения БПЛА в анализе качественного состояния сельскохозяйственных угодий и их экологическом мониторинге олицетворяет инновационный перелом в области аграрного управления и экологического контроля. Соответственно, данное исследование представляет собой комплексный анализ применения беспилотных летательных аппаратов в сочетании с передовыми технологиями объективного контроля для дистанционного мониторинга качественного состояния сельскохозяйственных угодий. Результаты исследования не только демонстрируют эффективность этого подхода, но и открывают новые перспективы для оптимизации производственных процессов и повышения устойчивости сельского хозяйства в условиях современных вызовов, таких как изменения климата и ограниченность ресурсов

Цель

Разработка методики использования БПЛА для оценки качественного состояния сельскохозяйственных угодий Сахалинской области для ее применения в оптимизации агротехнических практик.

Материалы и методы

Выбор сельскохозяйственных угодий Сахалинской области был обусловлен их важностью для агропроизводства и экологической устойчивости региона. Среди доступных моделей БПЛА были проанализированы характеристики, включая дальность полета, грузоподъемность, стабильность и наличие платформы для установки датчиков. Выбрана модель, соответствующая требованиям исследования. На основе целей мониторинга были выбраны датчики, включая датчики определения качества воздуха и пыли, датчики для анализа атмосферных условий. Оптимальные маршруты полета были разработаны с учетом географических особенностей территории и характеристик БПЛА, а также с учетом действующих ограничений на зоны полетов БПЛА, действующие на основании Указа Губернатора Сахалинской области от 25.04.2023 № 18 «Об использовании беспилотных воздушных судов на территории Сахалинской области» и в соответствии с Картой разрешённых зон, где можно пользоваться беспилотными летательными аппаратами (<https://map.sakhalin.gov.ru/minarch>).

Результаты

В современном сельском хозяйстве, где эффективность, устойчивость и точное управление ресурсами становятся все более важными, применение БПЛА становится ключевым инновационным инструментом. Эти технологии предоставляют аграрным производителям и экологам возможность получать высококачественные объективные и актуальные данные о состоянии сельскохозяйственных угодий и окружающей среды с высокой точностью и детализацией.

БПЛА, снабженные современными датчиками и камерами, способны осуществлять съемку, анализ и мониторинг различных параметров, таких как урожайность, плотность растительности, состояние почвы, влажность и заболевания растений, а также экологические показатели. Эти инновационные технологии предоставляют агрономам, экологам и ученым важные инструменты для оптимизации производственных процессов, принятия обоснованных решений и оценки воздействия человеческой деятельности на окружающую среду [1].

Обзор применения БПЛА в сельском хозяйстве охватывает широкий спектр исследований, проводимых различными учеными и практиками в этой области. Рассмотрим работы некоторых исследователей, которые охватывают разнообразные аспекты применения БПЛА в сельском хозяйстве

для анализа качественного состояния сельскохозяйственных угодий и их экологического мониторинга.

Так, К.О. Бочаров рассматривая особенности применения БПЛА в сельском хозяйстве отмечает, что беспилотные летательные аппараты используются практически во всех отраслях сельского хозяйства: выполняют необходимые анализы и сканирование для выявления бактерий, грибов, проблемных зон, нуждающихся в орошении, и многое другое [4].

В работах Д.В. Курносенко рассматриваются вопросы применения беспилотных летательных аппаратов для мониторинга земель сельскохозяйственного назначения, возможности выявления неиспользуемых земель, рационального использования [6].

Е.Н. Купреева рассматривает преимущества и недостатки традиционных методов геодезических исследований, а также возможности и преимущества беспилотных систем в геодезии на примере различных моделей БПЛА [5].

И. А. Хорош, Д. В. Курносенко в своих работах исследуют вопросы применения беспилотных летательных аппаратов для сельского хозяйства, рассматриваются текущее состояние, а также перспективы развития этой технологии в России [13].

С. В. Шайтура, А. В. Коломейцев, И. И. Позняк рассматривают перспективы цифровизации сельского хозяйства, проведен анализ составных частей точного земледелия, проанализированы механизмы, используемые в точном земледелии, сформулировать основные положения точного земледелия [12].

В работе В. В. Ознамец показано принципиальное отличие съемки с применением БПЛА и классической аэрофотосъемки и отмечается, что съемка с применением БПЛА позволяет собирать информацию для построения качественно разных моделей: ареальных моделей территорий, объемных моделей пространственных объектов и моделей фрагментов объектов и территорий [9].

Н. В. Морозовой описывается значимость земельного мониторинга и эффективность получения информации о земле с помощью дистанционного зондирования [8].

D.C. Tsouros, S. Bibi, P. G. Sarigiannidis оказывают, что такие устройства, как БПЛА, могут использоваться в различных приложениях, связанных с управлением сельскохозяйственными культурами, путем получения изображений с высоким пространственным и временным разрешением. Также авторами подчеркивается, что «...эти технологии производят ре-

волюцию в сельском хозяйстве, позволив принимать решения за считанные дни, а не недели, обещая значительное снижение затрат и увеличение урожайности» [20].

R. Bongiovanni, J. Lowenberg-DeBoer определяют, что БПЛА возможно применять в точном земледелии, что может помочь в управлении затратами на растениеводство экологически чистым способом и будет способствовать долгосрочной устойчивости производственного сельского хозяйства, а также снижать нагрузку на окружающую среду, применяя удобрения и пестициды только там, где они необходимы [17].

K. Paul, J. Dev Roy, S. Sarkar показали, что БПЛА могут помогать в процессах орошения, составлять карты больших полей и осуществлять мониторинг культуры на этих полях. Умное сельское хозяйство не только способствует обеспечению продовольствия для растущего населения, но и способствует последним тенденциям, таким как органическое земледелие и другие [19].

Таким образом, основываясь на анализе перечисленных публикаций, раскроем ключевые преимущества и недостатки использования БПЛА для анализа качественного состояния угодий [16, 18].

Так, преимущества использования БПЛА для анализа качественного состояния сельскохозяйственных угодий охватывают широкий спектр аспектов, среди которых можно выделить следующие [2, 3, 7, 10, 11, 14, 15]:

1. Точность и детализация данных, так как БПЛА способны собирать высокоразрешающие данные, включая мультиспектральные и термальные изображения, что позволяет получить подробную информацию о состоянии почвы, растительности, уровне урожайности и других параметрах. Это обеспечивает более точную оценку качества и потенциала угодий.

2. Скорость мониторинга, поскольку БПЛА способны быстро охватывать большие территории и выполнять съемку в кратчайшие сроки. Это увеличивает скорость мониторинга и анализа, что важно для оперативного принятия решений.

3. БПЛА совместно с геопространственными технологиями позволяют реализовать прецизионное земледелие, т.е. точно подстраивать агротехнические мероприятия под специфические условия каждой области угодий. Это позволяет оптимизировать использование ресурсов.

4. Возможность мониторинга в режиме реального времени, что позволяет оперативно реагировать на изменения в состоянии угодий, такие как заболевания растений, вредители или изменения влажности почвы.

5. Минимизация необходимости физического присутствия людей на поле, что способствует снижению рисков травмирования и антропогенного воздействия на окружающую среду.

Вместе с тем для полноты картины следует отметить и некоторые важные недостатки применения БПЛА для мониторинга земель сельскохозяйственного назначения, к числу которых отнесем следующие:

1. Высокие затраты, поскольку приобретение и обслуживание БПЛА может быть дорогим вложением, что может стать барьером для небольших аграрных предприятий.

2. Для эффективного использования БПЛА требуется специализированная экспертиза в области авиации и обработки данных, поскольку в зонах полета возможны определенные ограничения на использование БПЛА.

3. Ограниченная автономность БПЛА по времени полета и радиусу действия, что может потребовать периодической зарядки или замены батарей.

4. Неблагоприятные погодные условия, такие как сильный ветер, туман, или дождь, могут ограничивать возможность полетов и сбора данных.

5. Обработка и анализ больших объемов данных, собранных с БПЛА, может быть сложной задачей и требовать специализированного программного обеспечения.

Таким образом, несмотря на некоторые недостатки, использование БПЛА в анализе качественного состояния угодий предоставляет значительные преимущества, которые могут способствовать более эффективному и устойчивому сельскому хозяйству.

Методика анализа качественного состояния сельскохозяйственных угодий

Выбор датчиков и анализаторов для сбора данных с целью анализа состояния сельскохозяйственных угодий требует внимательного аналитического и методологического подхода. Процесс выбора следует базировать на нескольких ключевых этапах, включающих определение уникальных целей мониторинга, обзор технических характеристик доступных датчиков, оценку их способности обеспечивать требуемую точность и разрешение, а также сопоставление этих параметров с характеристиками исследуемых агрокультур и агроландшафтов.

В начале процесса необходимо четко определить конкретные цели мониторинга, такие как оценка урожайности, состояния растительности, влажности почвы, качества воздуха и другие параметры. От этого определения зависит дальнейший выбор датчиков.

Ключевым фактором является способность выбранных датчиков обеспечивать требуемую точность и разрешение. Это требует сопоставления технических характеристик датчиков с уровнем детализации, необходимым для анализа состояния растений, почвы и окружающей среды. При этом следует учесть, что более высокая точность и разрешение могут сопровождаться более высокой стоимостью.

Дополнительно, особое внимание следует уделять совместимости выбранных датчиков с конкретной системой мониторинга, базируемой на БПЛА [21]. Это включает в себя анализ физических характеристик датчиков, их массы и габаритов, а также совместимость интерфейсов передачи данных и возможности интеграции в автоматизированные системы.

Важным этапом является оценка возможностей калибровки выбранных датчиков под конкретную агрокультуру и условия исследования. Процесс калибровки позволяет корректировать измерения датчиков с учетом различных факторов, таких как тип почвы, влажность, воздействие атмосферных условий и другие.

И, наконец, перед окончательным выбором датчиков и анализаторов, необходимо учесть бюджетные ограничения и ресурсную доступность. Это включает как стоимость приобретения датчиков, так и затраты на обучение персонала, обработку данных и обслуживание оборудования.

Для подключения различных датчиков и аккумулирования данных нами было применено кроссплатформенное решение на базе микрокомпьютера Raspberry Pi, имеющего требуемые вычислительные мощности, функциональные и аппаратные возможности для подключения навесного оборудования (датчиков), а также массогабаритные показатели, приемлемые для размещения на БПЛА типа DJI Mavic 3.

Микрокомпьютер Raspberry Pi предоставляет широкие возможности для подключения и интеграции различных датчиков мониторинга сельскохозяйственных показателей, позволяя создать компактную и гибкую систему сбора данных. С его помощью можно реализовать множество функций, таких как сбор данных о влажности почвы, температуре, уровне освещенности, качестве воздуха и других параметрах окружающей среды, а также обеспечить их передачу для дальнейшего анализа и принятия решений в области прецизионного сельского хозяйства.

Таким образом, исходя из рассмотренных факторов, в рамках нашего исследования, были выбраны следующие датчики:

- инфракрасный датчик CO₂ типа MH-Z19;
- датчик качества воздуха типа MICS-5524;

- датчик температуры и влажности типа DHT11;
- датчик пыли типа GP2Y1010AU0F.

Размещение и фиксация навесного оборудования на БПЛА осуществлялось с помощью специального кронштейна. Тем самым, БПЛА, микрокомпьютер со встроенным микроконтроллером, система датчиков и база данных в совокупности образовали воздушный сегмент (ВС).

Основные показатели качественного состояния угодий

Одним из ключевых аспектов нашего исследования является интеграция данных, полученных от различных датчиков, которые обеспечивают многомерную и всестороннюю оценку экологических параметров. Соответственно, раскроем возможности применения рассматриваемых датчиков для экологического мониторинга сельскохозяйственных угодий Сахалинской области.

Так, инфракрасный датчик CO_2 типа MH-Z19, обладает способностью точно измерять концентрацию углекислого газа (CO_2) в окружающей атмосфере. При интеграции этого датчика с ВС, полученные данные позволяют выявлять уровни CO_2 в воздухе над сельскохозяйственными угодьями. Высокие уровни CO_2 могут указывать на наличие деградации почвы или нарушение баланса газов в атмосфере, что имеет важное значение для определения экологической устойчивости и планирования агротехнических мероприятий.

Датчик качества воздуха типа MICS-5524 предоставляет информацию о содержании различных вредных газов, таких как оксиды азота (NO_x) и углеводороды (НС), которые могут быть результатом сельскохозяйственных операций и транспортной деятельности. Интеграция этого датчика в систему ВС позволяет реализовать детальный мониторинг загрязнения воздуха и выявлять потенциально опасные участки сельскохозяйственных угодий.

Датчик температуры и влажности типа DHT11 осуществляет обработку информацию о температуре и влажности окружающей среды. Включение DHT11 в состав ВС позволяет регистрировать климатические параметры в различных точках сельскохозяйственной местности. Это особенно важно для определения оптимальных условий для роста культур и выявления потенциальных зон стресса.

Датчик пыли типа GP2Y1010AU0F, используется для измерения концентрации взвешенных частиц в воздухе, которые могут оказывать негативное воздействие на физиологические процессы растений и здоровье

человека. Применение данного датчика в составе ВС позволяет определить уровни пыли в воздухе над сельскохозяйственными угодьями и принять меры по снижению загрязнения.

Схематично применение БПЛА для экологического мониторинга сельскохозяйственных угодий Сахалинской области отражено в модели, изображенной на рис. 1.

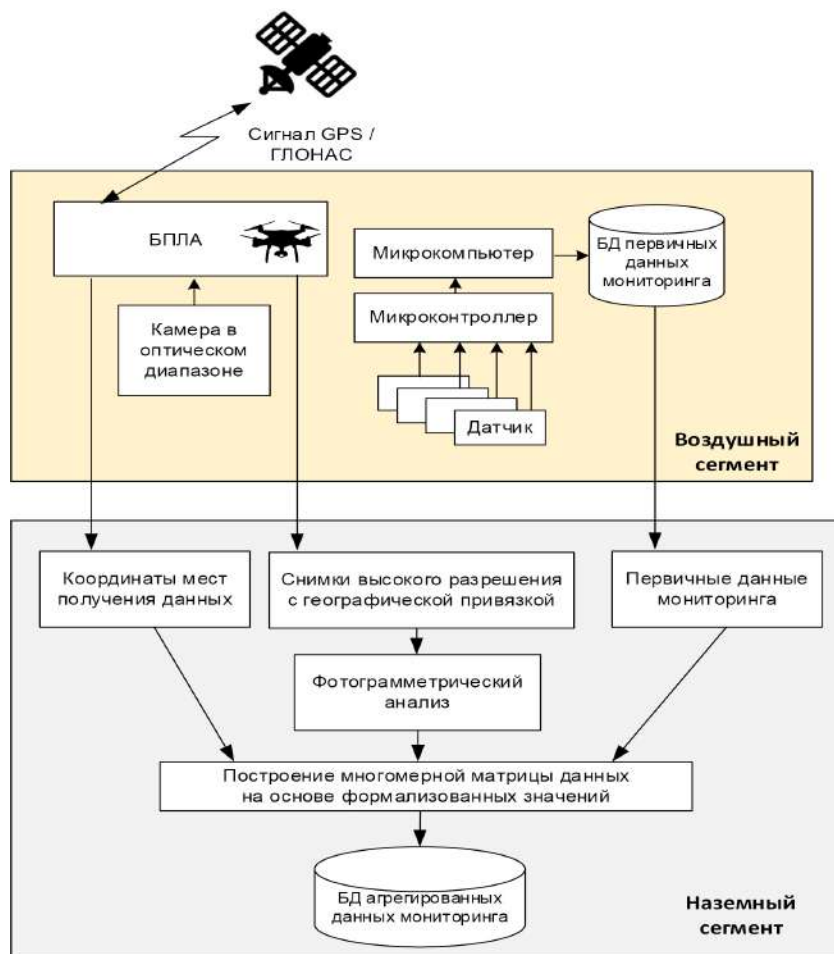


Рис. 1. Модель применение БПЛА для экологического мониторинга сельскохозяйственных угодий Сахалинской

Построенная модель позволяет разработать и обосновать опытную методику применения БПЛА для оценки качественного состояния сельскохозяйственных угодий Сахалинской области, которая включает в себя элементы, представленные системно на рис. 2.



Рис. 2. Структура методики применения БПЛА для оценки качественного состояния сельскохозяйственных угодий Сахалинской области

Тем самым, основными элементами данной методики явились следующие:

1. Планирование и подготовка оценки качественного состояния сельскохозяйственных угодий Сахалинской области.

1.1. Определение целей мониторинга с учетом необходимости оценки состояния почвы, уровня влажности, качества воздуха и других параметров, влияющих на агропроизводство и экологическую обстановку (определение конкретных параметров, таких как состояние почвы, уровень влажности, качество воздуха и др.).

1.2. Выбор БПЛА (определение подходящей модели БПЛА с необходимыми характеристиками, такими как дальность полета, грузоподъемная способность, стабильность).

1.3. Выбор датчиков (идентификация соответствующих датчиков, способных измерять необходимые параметры, например, мультиспектральные камеры, термальные камеры, датчики влажности).

1.4. Определение маршрутов полета (разработка оптимальных маршрутов для полета БПЛА, учитывая особенности местности, расположение угодий, разрешенные зоны полета и т.д.).

2. Сбор данных о качественном состоянии сельскохозяйственных угодий Сахалинской области:

2.1. Запуск БПЛА и осуществление полетов по заранее спланированным маршрутам с активацией датчиков для сбора данных.

2.2. Синхронизация данных (обеспечение синхронизации данных с датчиков с временными и пространственными координатами полета).

2.3. Запись данных в специально создаваемую базу данных.

3. Обработка и анализ данных мониторинга.

3.1. Обработка изображений (обработка собранных изображений для выделения характеристик растительности и почвы).

3.2. Анализ данных (вычисление индексов растительного покрова, температурных карт, оценка уровня влажности и загрязнения воздуха).

3.3. Сравнение с базовыми данными (сопоставление полученных результатов с базовыми данными и данными непрерывного мониторинга для определения изменений и трендов).

4. Визуализация и интерпретация полученных данных мониторинга.

4.1. Создание карт и моделей (разработка геопространственных карт на базе ГИС и моделей, иллюстрирующих состояние угодий и параметры среды в виде цифрового двойника изучаемой местности).

4.2. Интерпретация результатов (анализ полученных карт и данных для выявления областей с неблагоприятным состоянием, определения причин и влияния факторов).

5. Построение выводов и разработка рекомендаций по эффективному использованию земель сельскохозяйственного назначения.

5.1. Анализ и обобщение данных (выделение основных результатов и трендов, связанных с качественным состоянием угодий).

5.2. Формирование рекомендаций на основе анализа данных (разработка рекомендаций по оптимизации агротехнических методов, улучшению урожайности и снижению негативного воздействия).

5.3. Создание отчетов (разработка детальных отчетов с графиками, картами и аналитической интерпретацией результатов).

5.4. Мониторинг долгосрочных изменений (регулярное проведение мониторинга для отслеживания динамики изменений и эффективности реализованных мер).

Заключение

В данном исследовании была успешно разработана и применена методика использования БПЛА для оценки качественного состояния сельскохозяйственных угодий в Сахалинской области. Полученные результаты подтвердили эффективность данного подхода для сбора первичных данных экологического мониторинга в целях оптимизации агротехнических

мероприятий и поддержании экологической устойчивости. Выбор подходящих БПЛА и датчиков, точный сбор и анализ данных, а также выработка научно обоснованных рекомендаций предоставили основу для построения модели применения БПЛА для экологического мониторинга сельскохозяйственных угодий Сахалинской, которая позволила разработать и обобщить опытную методику применения БПЛА для оценки качественного состояния сельскохозяйственных угодий Сахалинской области.

Информация о спонсорстве. Исследование выполнено при поддержке Правительства Сахалинской области в ходе реализации научного проекта в рамках грантовых исследований молодых ученых «Проведение экологического мониторинга сельскохозяйственных угодий Сахалинской области с использованием беспилотного летательного аппарата».

Список литературы

1. Абрамова С. В., Бояров Е. Н., Купцова О. В., Двойнова Н. Ф. Риск-ориентированная модель природопользования в условиях заказника «Долинский» Сахалинской области // Вестник СГУГиТ (Сибирского государственного университета геосистем и технологий). 2023. Т. 28, № 2. С. 89-103. <https://doi.org/10.33764/2411-1759-2023-28-2-89-103>
2. Агродроны // ГЕОМИР. URL: <https://www.geomir.ru/publikatsii/agrodrony/> (дата обращения: 05.08.2023)
3. Бидак Э.В. Преимущества использования БПЛА в сельском хозяйстве / Э. В. Бидак, А. Р. Мевша, Д. В. Пода // Новая наука: история становления, современное состояние, перспективы развития: сборник статей Международной научно-практической конференции, Волгоград, 18 ноября 2017 года. Часть 3. Волгоград: ОМЕГА САЙНС, 2017. С. 197-200.
4. Бочаров К.О. Применение дронов в сельском хозяйстве // Наука без границ. 2021. №6 (58). С. 88-94.
5. Купреева Е.Н. Технология применения беспилотных систем в геодезических исследованиях, возможности и преимущества // Каталог научных и инновационных разработок ФГБОУ ВО «Омский государственный аграрный университет им. П.А. Столыпина»: Сборник материалов по итогам учебной, научно-исследовательской и практической деятельности. Омск: Омский государственный аграрный университет имени П.А. Столыпина, 2023. С. 215-221.
6. Курносенко Д. В. Применение беспилотных летательных аппаратов в качестве средств мониторинга земель сельскохозяйственного назначения //

- Инновационные тенденции развития российской науки: Материалы XII Международной научно-практической конференции молодых ученых, Красноярск, 08–09 апреля 2019 года / Красноярский государственный аграрный университет. Часть I. Красноярск: Красноярский государственный аграрный университет, 2019. С. 237-240.
7. Курченко Н.Ю. Использование БПЛА в сельском хозяйстве / Н. Ю. Курченко, В. В. Бовш // Вектор современной науки: Сборник тезисов по материалам Международной научно-практической конференции студентов и молодых ученых, Краснодар, 15 ноября 2022 года. Краснодар: Кубанский государственный аграрный университет имени И.Т. Трубилина, 2022. С. 848-849.
 8. Морозова Н. В. Мониторинг земельных ресурсов. Методика сбора информации при осуществлении мониторинга // E-Scio. 2020. № 4(43). С. 342-347.
 9. Ознамец В.В. Пространственная съемка и моделирование с использованием беспилотных летательных аппаратов // Образовательные ресурсы и технологии. 2020. № 1(30). С. 83-91. <https://doi.org/10.21777/2500-2112-2020-1-83-91>
 10. Пермяков Д.С. Перспективы использования БПЛА в сельском хозяйстве / Д. С. Пермяков, А. Г. Носков // Инновационные технологии в науке и образовании (Конференция «ИТНО 2022»): Сборник научных трудов X Юбилейной международной научно-практической конференции, с. Дивноморское, 26 сентября – 02 2022 года / Редколлегия: Ю.Ф. Лачуга [и др.]. Ростов-на-Дону: ДГТУ-ПРИНТ, 2022. С. 240-244. <https://doi.org/10.23947/itse.2022.240-244>
 11. Сравнительный анализ параметров БПЛА для сельского хозяйства / В. Ю. Михайлов, Е. А. Грика, В. В. Тихоновский, Н. Е. Сацкевич // Состояние и инновации технического сервиса машин и оборудования : Материалы XIV международной научно-практической конференции, посвященной памяти доцента М.А. Анфиногенова, Новосибирск, 10-11 ноября 2022 года. Новосибирск: Издательский центр Новосибирского государственного аграрного университета «Золотой колос», 2022. С. 147-150.
 12. Точное земледелие как один из аспектов цифровизации сельского хозяйства / С. В. Шайтура, А. В. Коломейцев, И. И. Позняк [и др.] // Вестник Курской государственной сельскохозяйственной академии. 2022. № 3. С. 161-166.
 13. Хорош И.А. Возможности применения беспилотных летательных аппаратов в сельском хозяйстве / И. А. Хорош, Д. В. Курносенко // Актуальные проблемы аграрной науки: прикладные и исследовательские аспекты: сборник научных трудов II Всероссийской (национальной) научно-практической конференции, Нальчик, 10-11 февраля 2022 года. Нальчик: Ка-

- бардино-Балкарский государственный аграрный университет имени В.М. Кокова, 2022. С. 173-176.
14. Чекусов М. С. Применение БПЛА в цифровом сельском хозяйстве / М. С. Чекусов, А. А. Кем, А. Н. Шмидт // Информационные технологии, системы и приборы в АПК. АГРОИНФО-2021: Материалы 8-й Международной научно-практической конференции, р.п. Краснообск, 21–22 октября 2021 года / под ред. В.В. Альта. Новосибирск-Краснообск: Сибирский федеральный научный центр агробиотехнологий Российской академии наук, 2021. С. 363-365. <https://doi.org/10.26898/agroinfo-2021-363-365>
 15. Юдина Н.П. Применение БПЛА в сельском хозяйстве / Н. П. Юдина, Е. С. Юрова // Территория инноваций. 2016. № 3. С. 39-44.
 16. Agriculture 4.0: Agriculture and Environment Monitoring // electronicsforu. URL: <https://www.electronicsforu.com/technology-trends/tech-focus/agriculture-4-environment-monitoring> (дата обращения: 05.06.2023).
 17. Bongiovanni R., Lowenberg-DeBoer J. Precision agriculture and sustainability // *Precis. Agric.* 2004. Vol. 5. P. 359–387. <https://doi.org/10.1023/B:PRAG.0000040806.39604.a>
 18. FAO, 2017. Drone for agriculture. URL: <http://www.fao.org/policy-support/tools-and-publications/resources-details/en/c/1234537> (дата обращения: 05.08.2023).
 19. Paul K.K., Roy J.D., Sarkar S. Using UAV and Deep Learning A Systematic Review // *Internet of Things Robotic and Drone Technology*. 2021. <https://doi.org/10.1201/9781003181613-1>
 20. Tsouros D.C, Bibi S., Sarigiannidis P.G. A review on UAV- based applications for precision agriculture // *Information*. 2019. Vol. 10, 349. <https://doi.org/10.3390/info10110349>
 21. Vermesan O., Bahr R., Ottella M., Serrano M., Karlsen T., Wahlstrøm T., Sand H.E., Ashwathnarayan M., Gamba M.T. Internet of Robotic Things Intelligent Connectivity and Platforms // *Frontiers in Robotics and AI*. 2020. Vol. 7, 104. <https://doi.org/10.3389/frobt.2020.00104>

References

1. Abramova S.V., Boyarov E.N., Kupcova O.V., Dvoynova N.F. Risk-orientirovannaya model' prirodopol'zovaniya v usloviyah zakaznika «Dolinskij» Sahalinskoy oblasti [Risk-oriented model of nature management in the conditions of the Dolinsky Nature Reserve of the Sakhalin region]. *Vestnik Sibirskogo gosudarstvennogo universiteta geosistem i tekhnologij*, 2023, vol. 28, no. 2, pp. 89-103.

2. *Agrodrony* [Agrodrons]. <https://www.geomir.ru/publikatsii/agrodrony/>
3. Bidak E. V., Mevsha A. R., Poda D. V. Preimushchestva ispol'zovaniya BPLA v sel'skom hozyajstve [Advantages of using UAVs in agriculture]. *New science: history of formation, current state, prospects of development: a collection of articles of the International Scientific and Practical Conference, Volgograd, November 18, 2017*. Volgograd: OMEGA SAJNS, 2017, pp. 197-200.
4. Bocharov K.O. Primenenie dronov v sel'skom hozyajstve [The use of drones in agriculture]. *Nauka bez granits*, 2021, vol. 6 (58), pp. 88-94.
5. Kupreeva E.N. Tekhnologiya primeneniya bespilotnyh sistem v geodezicheskikh issledovaniyah, vozmozhnosti i preimushchestva [Technology of application of unmanned systems in geodetic research, opportunities and advantages]. *Catalog of scientific and innovative developments of Omsk State Agrarian University named after P.A. Stolypin: Collection of materials on the results of educational, research and practical activities*. Omsk, 2023, pp. 215-221.
6. Kurnosenko D. V. Primenenie bespilotnyh letatel'nyh apparatov v kachestve sredstv monitoringa zemel' sel'skohozyajstvennogo naznacheniya [The use of unmanned aerial vehicles as means of monitoring agricultural land]. *Innovative trends in the development of Russian science: Proceedings of the XII International Scientific and Practical Conference of Young Scientists, Krasnoyarsk, April 08-09, 2019*. Krasnoyarsk, 2019, pp. 237-240.
7. Kurchenko N.Yu., Bovsh V.V. Ispol'zovanie BPLA v sel'skom hozyajstve [The use of UAVs in agriculture]. *Vector of modern science: Collection of abstracts on the materials of the International scientific-practical conference of students and young scientists, Krasnodar, November 15, 2022*. Krasnodar: Kuban State Agrarian University named after I.T. Trubilin, 2022, pp. 848-849.
8. Morozova N. V. Monitoring zemel'nyh resursov. Metodika sbora informacii pri osushchestvlenii monitoringa [Spatial survey and modeling using unmanned aerial vehicles]. *E-Scio*, 2020, vol. 4(43), pp. 342-347.
9. Oznamec V.V. *Obrazovatel'nye resursy i tekhnologii*, 2020, no. 1(30), pp. 83-91. <https://doi.org/10.21777/2500-2112-2020-1-83-91>
10. Permyakov D. S. Noskov A. G. Perspektivy ispol'zovaniya BPLA v sel'skom hozyajstve [Prospects of using UAVs in agriculture]. *Innovative Technologies in Science and Education (Conference "ITNO 2022")*: *Collection of scientific papers of the X Jubilee International Scientific and Practical Conference, v. Divnomorskoye, September 26 - 02, 2022* / Editorial Board: Y.F. Lachuga et al. Rostov-on-Don: DGTU-PRINT, 2022, pp. 240-244. <https://doi.org/10.23947/itse.2022.240-244>
11. Mikajlov V.Yu., Grika E.A., Tihonovskij V.V., Sackevich N.E. Sravnitel'nyj analiz parametrov BPLA dlya sel'skogo hozyajstva [Comparative analysis of UAV pa-

- rameters for agriculture]. *State and innovations of technical service of machines and equipment : Proceedings of the XIV International Scientific and Practical Conference in memory of Associate Professor M. A. Anfinogenov, Novosibirsk, November 10-11, 2022*. Novosibirsk: Zolotoy Kolos, 2022, pp. 147-150.
12. Shajtura S. V., A. V. Kolomejcev, I. I. Poznyak Tochnoe zemledelie kak odin iz aspektov cifrovizacii sel'skogo hozyajstva [Precision agriculture as one of the aspects of digitalization of agriculture]. *Vestnik Kurskoj gosudarstvennoj sel'skohozyajstvennoj akademii*, 2022, no. 3, pp. 161-166.
 13. Horosh I.A., Kurnosenko D.V. Vozmozhnosti primeneniya bespilotnyh letatel'nyh apparatov v sel'skom hozyajstve [The possibilities of using unmanned aerial vehicles in agriculture]. *Actual problems of agrarian science: applied and research aspects: a collection of scientific papers of the II All-Russian (national) scientific-practical conference, Nalchik, February 10-11, 2022*. Nalchik: Kabardino-Balkarian State Agrarian University named after V.M. Kokov, 2022, pp. 173-176.
 14. Chekusov M.S., Kem A.A., SHmidt A.N. Primenenie BPLA v cifrovom sel'skom hozyajstve [The use of UAVs in digital agriculture]. *Information technologies, systems and devices in agroindustrial complex. AGROINFO-2021: Proceedings of the 8th International Scientific and Practical Conference, Krasnoobsk, October 21-22, 2021* / edited by V.V. Alt. Alta. Novosibirsk-Krasnoobsk: Siberian Federal Scientific Center of Agrobiotechnologies of the Russian Academy of Sciences, 2021, pp. 363-365. <https://doi.org/10.26898/agroinfo-2021-363-365>
 15. Yudina N.P., Yurova E.S. Primenenie BPLA v sel'skom hozyajstve [The use of UAVs in agriculture]. *Territoriya innovatsiy*, 2016, no. 3, pp. 39-44.
 16. Agriculture 4.0: Agriculture and Environment Monitoring. <https://www.electronicsforu.com/technology-trends/tech-focus/agriculture-4-environment-monitoring>
 17. Bongiovanni R., Lowenberg-DeBoer J. Precision agriculture and sustainability. *Precis. Agric.*, 2004, vol. 5, pp. 359–387. <https://doi.org/10.1023/B:PRAG.0000040806.39604.aa>
 18. FAO, 2017. Drone for agriculture. URL: <http://www.fao.org/policy-support/tools-and-publications/resources-details/en/c/1234537>
 19. Paul K.K., Roy J.D., Sarkar S. Using UAV and Deep Learning A Systematic Review. *Internet of Things Robotic and Drone Technology*, 2021. <https://doi.org/10.1201/9781003181613-1>
 20. Tsouros D.C, Bibi S., Sarigiannidis P.G. A review on UAV- based applications for precision agriculture. *Information*, 2019, vol. 10, 349. <https://doi.org/10.3390/info10110349>

21. Vermesan O., Bahr R., Ottella M., Serrano M., Karlsen T., Wahlstrøm T., Sand H.E., Ashwathnarayan M., Gamba M.T. Internet of Robotic Things Intelligent Connectivity and Platforms. *Frontiers in Robotics and AI*, 2020, vol. 7, 104. <https://doi.org/10.3389/frobt.2020.00104>

ДАННЫЕ ОБ АВТОРАХ

Светлана Владимировна Абрамова, д.п.н., доцент, заведующий кафедрой безопасности жизнедеятельности, Академик Международной академии наук экологии и безопасности жизнедеятельности
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Сахалинский государственный университет»
проспект Коммунистический, 33, г. Южно-Сахалинск, 693000, Российская Федерация
abramova_sv@list.ru

Евгений Николаевич Бояров, д.п.н., доцент, профессор кафедры безопасности жизнедеятельности, Академик Международной академии наук экологии и безопасности жизнедеятельности
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Сахалинский государственный университет»
проспект Коммунистический, 33, г. Южно-Сахалинск, 693000, Российская Федерация
e.boyarov@mail.ru

Андрей Юрьевич Соболев, к.п.н., доцент кафедры безопасности жизнедеятельности,
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Сахалинский государственный университет»
проспект Коммунистический, 33, г. Южно-Сахалинск, 693000, Российская Федерация
sobelev_an@bk.ru

DATA ABOUT THE AUTHORS

Svetlana V. Abramova, Holder of an Advanced Doctorate (Doctor of Science) in Pedagogic Sciences, Associate Professor, Head of the Department of Life Safety

Sakhalin State University

33, Kommunisticheskij Ave., Yuzhno-Sakhalinsk, 693000, Russian Federation

abramova_sv@list.ru

SPIN-code: 6335-3019

ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-9863-5287>

Scopus Author ID: 57191872091

Evgeniy N. Boyarov, Holder of an Advanced Doctorate (Doctor of Science) in Pedagogic Sciences, Associate Professor, Professor of the Department of Life Safety

Sakhalin State University

33, Kommunisticheskij Ave., Yuzhno-Sakhalinsk, 693000, Russian Federation

e.boyarov@mail.ru

SPIN-code: 5413-4504

ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-7283-1872>

Scopus Author ID: 57191878704

Andrey Yu. Sobolev, Cand.of Ped.Sc.,Asc.Prof. of the Department of Life Safety

Sakhalin State University

33, Kommunisticheskij Ave., Yuzhno-Sakhalinsk, 693000, Russian Federation

sobolev_an@bk.ru

SPIN-code 1676-3145

Поступила 15.08.2023

После рецензирования 14.09.2023

Принята 03.10.2023

Received 15.08.2023

Revised 14.09.2023

Accepted 03.10.2023

DOI: 10.12731/2658-6649-2024-16-2-760

УДК 575.224.46



Научная статья

ЦИТОГЕНЕТИЧЕСКИЕ ЭФФЕКТЫ У-РАДИАЦИИ В КЛЕТКАХ КОРНЕВОЙ МЕРИСТЕМЫ *ALLIUM CERA*

М.В. Смирнова, А.А. Смирнов

Обоснование. Загрязнение окружающей среды радиоактивными материалами геогенного и антропогенного происхождения является глобальной проблемой. Было разработано множество процедур тестирования на мутагенность, которые позволяют обнаруживать повреждения ДНК, вызванные ионизирующим излучением. В настоящей работе использовали *Allium* - тест (широко используемый биоанализ генотоксичности на основе растений) для выявления генетических повреждений, вызванных у-излучением. Полученные данные указывают на то, что данный метод может быть использован для биомониторинга окружающей среды. Целью настоящего исследования было изучение у-излучения с помощью Аллиум-теста.

Материалы и методы. Луковицы лука Штутгартер Ризен (*Allium sera* L., $2n = 16$) хранили в темном прохладном месте (+4-5°C). Для каждого образца и контроля брали по 3 луковицы. В качестве контроля использовали дистиллированную воду. Гамма-облучение проводили с помощью $Eu152$ в течение 3 дней в дозах 0,3, 1 и 3 Гр. Через 3 дня корни срезали и фиксировали в уксусном спирте, а затем помещали в герметичные пробирки для длительного хранения в 80%-ном этаноле. Корни гидролизировали и окрашивали в керамических тиглях в растворе ацетоорцеина над пламенем спиртовки, а давленные препараты готовили в капле 45%-ной уксусной кислоты. Количество делящихся клеток определяли в 1000 клеток в поле зрения с учетом фаз и хромосомных aberrаций.

Результаты. Было выявлено появление гигантских клеток, C-митозов, ядерных почек, фрагментов, отставаний и мостов, нарушений в работе веретена деления и микроядер при облучении в дозах 3 и 1 Гр.

Выводы. В результате исследования было показано, что у - облучение лука репчатого (*Allium sera* L.) дозами 3, 1 и 0,3 Гр приводило к появлению цитогенетических нарушений, доля которых достоверно отличалась от контроля.

Ключевые слова: *Allium-test; гамма-радиация; хромосомные aberrации; митотический индекс*

Для цитирования. Смирнова М.В., Смирнов А.А. Цитогенетические эффекты γ -радиации в клетках корневой меристемы *Allium cepa* // *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*. 2024. Т. 16, №2. С. 113-125. DOI: 10.12731/2658-6649-2024-16-2-760

Original article

CYTOGENETIC EFFECTS Y-RADIATION IN THE CELLS OF THE ROOT MERISTEM OF *ALLIUM CEPA*

M.V. Smirnova, A.A. Smirnov

Background. Environmental contamination with radioactive materials of geogenic and anthropogenic origin is a global problem. A variety of mutagenicity test procedures has been developed which enable the detection of DNA damage caused by ionizing radiation. In the present study, we investigated the *Allium* test (the widely used plant-based genotoxicity bioassay) for the detection of genetic damage caused γ -radiation. Received data indicate that this method is can be used for environmental biomonitoring. Aim of the present study was the investigation of γ -radiation of the *Allium* test assay.

Materials and methods. The bulbs of the Stuttgarter Riesen onion (*Allium cepa* L., $2n = 16$) were kept in a cool dark place (+4–5 °C). For each sample and control were taken 3 bulbs. Distilled water was used as a control. γ - irradiation of the bulbs was carried out with the ^{60}Co for 3 days in doses of 0.3, 1 and 3 Gy. After 3 days, the roots were cut and fixed in Clark's and to be placed in sealable test-tubes for long-time storing in 80% ethanol. The roots were simultaneously hydrolyzed and colored in ceramic crucibles in acetoorcein solution were boiled in the flame of an alcohol lamp. The slides prepared from squashing the root meristems with one drop of 45% acetic acid. The number of dividing cells was determined in 1000 examined cells in the field of view, with phase and chromosome aberration.

Results. The appearance of giant cells, C-mitoses, nuclear buds, fragments, lagging and bridges, disturbances in the work of the fission spindle and micronuclei in irradiation at doses of 3 and 1 Gy were noted.

Conclusion. As a result of the study, it was shown that γ - irradiation of the onion test object (*Allium cepa* L.) with doses of 3, 1 and 0.3 Gy led to the appearance of cytogenetic disorders, the proportion of which significantly differed from the control.

Keywords: *Allium-test; y-radiation; chromosomal aberration; mitotic index*

For citation. Smirnova M.V., Smirnov A.A. Cytogenetic Effects Y-Radiation in the Cells of the Root Meristem of *Allium cepa*. *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*, 2024, vol. 16, no. 2, pp. 113-125. DOI: 10.12731/2658-6649-2024-16-2-760

Введение

Антропогенное загрязнение окружающей среды радионуклидами является глобальной проблемой, поскольку оно может оказывать неблагоприятное воздействие на здоровье людей, а также изменять стабильность экосистем [11]. Одним из ключевых механизмов, с помощью которых радиоактивное облучение приводит к неблагоприятным последствиям в организме человека и в окружающей среде, является повреждение генетического материала [8, 16, 18].

В настоящее время существует значительная неопределенность воздействия малых доз радиации, что делает эту область исследований актуальной. Кроме этого, важно оценивать долгосрочные последствия радиационного облучения живых организмов, включая растения.

Снижение риска воздействия излучений на организм человека является составляющей для решения задач безопасности. Одним из звеньев оценки опасности излучений является экологический мониторинг, поэтому использование тест-систем относится к приоритетным направлениям исследований. Среди биологических объектов растения оказались наиболее чувствительными и эффективными тест-системами, не требующие этического одобрения для проведения исследования, направленного на предотвращение экологического риска [4]. Растения, наиболее часто используемые в таких анализах, включают фасоль (*Vicia faba* L.) [12], традесканцию (*Tradescantia fluminensis* Veil.) [13], кукурузу (*Zea mays* L.) [6] и др.

Широкое применение в методиках биотестирования нашел лук обыкновенный (*Allium cepa* L.) благодаря высокой чувствительности, устойчивой реакции как на молекулярно-клеточном (митотический индекс (МИ), частота микроядер и aberrаций хромосом в клетках), так и организменном (ингибирование роста корней) уровнях, простоте и оперативности методик [9, 10]. Эффективность *Allium*-теста для оценки токсичности почв, донных отложений, воздуха, пресных и морских вод, загрязняемых промышленными и бытовыми сбросами, модельных растворов, качества питьевой воды и т.д. была продемонстрирована во множестве исследований [7, 15, 17, 19]. *Allium test* рекомендован экспертами ВОЗ как стандарт в цитогенетическом мониторинге окружающей среды [20].

Цель. Изучить цитотоксичность и генотоксичность гамма-излучения с помощью Аллиум-теста.

Материалы и методы

Луковицы лука репчатого сорта Штутгартен Ризен хранили 2 недели в темном прохладном месте для выравнивания процессов в луковицах. Далее луковицы отбирали по схожему диаметру, осматривали и удаляли сухие чешуйки и корешки. Для каждого варианта опыта и контроля (дистиллированная вода) взяли по три луковицы. Перед экспериментом луковицы проращивали в дистиллированной воде 48 часов для оценки жизнеспособности. Гамма-облучение луковиц осуществлялось изотопом Eu^{152} в течение 72 часов дозами в 3, 1 и 0.3 Гр. Контрольные образцы, находившиеся в том же помещении для создания одинаковых условий в защитной конструкции, получили дозу в 0.01 Гр. Доза регулировалась путем удаления облучаемых объектов от источника излучения. Контрольные луковицы были помещены в конструкцию из свинцовых кирпичей во избежание облучения. Эксперимент проводился при температуре 15°C в темноте для исключения процесса фотосинтеза.

После облучения корешки с луковиц срезали ножом и фиксировали на 24 часа в уксусном спирте (96% спирт+ледяная уксусная кислота в пропорциях 3 к 1). После фиксации корешки промывали 3 раза 80% спиртом по часу с последующим хранением в закрывающихся баночках.

Для приготовления препаратов корешки подвергали окрашиванию 1% ацетоорсеином. Корешки помещали в керамические тигли, заливали красителем и нагревали до кипения над пламенем спиртовки для размягчения тканей корешка и лучшего проникновения красителя в клетки тигли закрывали пленкой и оставляли в холодильнике при температуре 4°C на сутки-двое. Далее корешок помещали на предметное стекло, скальпелем отрезали кончик корешка длиной 2-3 мм (с зоной роста), капали каплю 45% уксусной кислоты, накрывали покровным стеклом и салфеткой. Осторожными давящими движениями стеклянной палочки корешок раздавливали для получения монослоя клеток. Избыток уксусной кислоты аккуратно убирали салфеткой и препарат просматривали на увеличении $\times 400$ на микроскопе «Микромед-1, вар.1-20» (Москва, Россия) с камерой TOUPCAM 2.0 (Ханчжоу, Китай). В каждом препарате подсчитывали около 1000 клеток с отметкой фаз и хромосомных аберраций.

Митотический индекс (МИ) рассчитывали как отношение количества всех делящихся клеток (профаза+метафаза+анафаза+телофаза) на общее количество подсчитанных клеток в препарате, выраженное в процентах.

Все данные вносили в документ в программе Excel, рассчитывали по формуле МИ, потом среднее значение каждого варианта опыта и контроль. Нарушения заносились в таблицу, подсчитывали процент нарушений в каждом варианте опыта и контроле.

Статистический анализ проводили на языке программирования R. Статистически значимые различия сравнивались при $p \leq 0.05$ с использованием тестов ANOVA и Тьюки (достоверно значимая разница).

Результаты и обсуждение

Облучение во всех дозах не вызывало достоверно значимого понижения МИ по сравнению с контролем (Рис. 1).

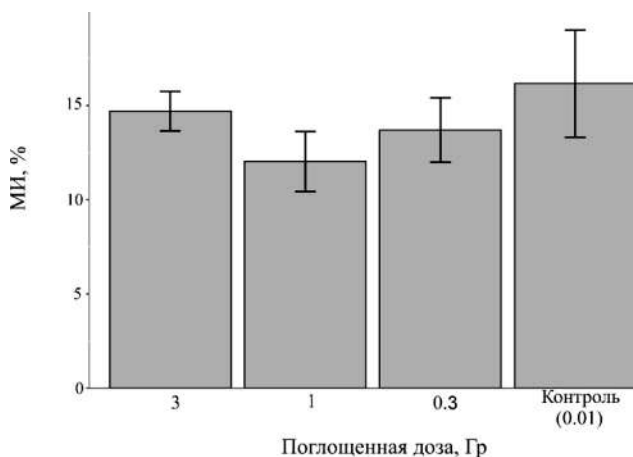


Рис. 1. Показатели митотического индекса меристематических клеток корня А. сера после облучения гамма-радиацией.

3 Гр – 1 вариант опыта, 1 Гр – 2 вариант опыта, 0.3 Гр – 3 вариант опыта

Цитогенетический анализ показал, что с увеличением дозы увеличивается количество aberrаций. При этом количество нарушений в дозах 3 (1 вариант опыта) и 1 Гр (2 вариант опыта) было достоверно выше, чем в контроле и 0,3 Гр (рис. 2).

В основном отмечали появление гигантских клеток, С-митозов, ядерных почек, фрагментов, отстаиваний и мостов, нарушений в работе вере-

тена деления и микроядер и в вариантах опыта 1 (облучение 3 Гр) и 2 (облучение 1 Гр).

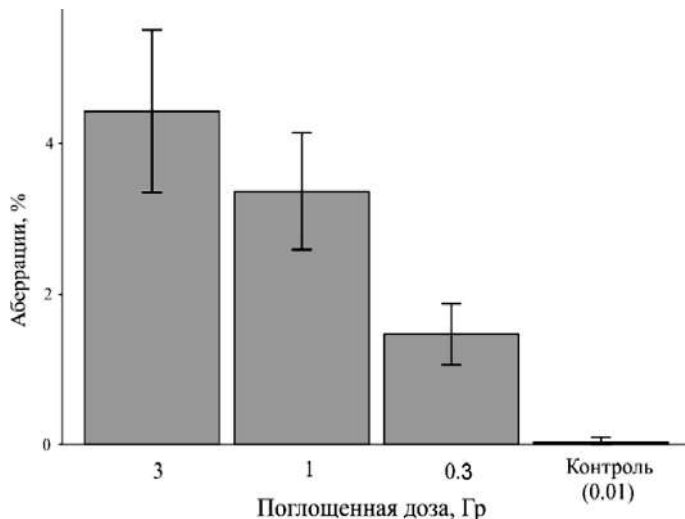


Рис. 2. Доля аберрантных клеток в меристематических клетках корня *A. cerea* после облучения гамма-радиацией.

3 Гр – 1 вариант опыта, 1 Гр – 2 вариант опыта, 0.3 Гр – 3 вариант опыта

Гигантские клетки возникают вследствие нарушений в цитоскелете во время интерфазы, а выпячивание хроматина (ядерные почки), появляются при ингибировании веретена деления и цитокинеза (рис. 3) [14].

Мосты могут появляться по причине разрывов хромосом и хроматид и последующего их слияния, а также липкости хромосом вследствие нарушения работы специальных белков [5].

В некоторых клетках наряду с мостами наблюдались хромосомные фрагменты, отставания и выбросы, которые можно рассматривать как показатели «свежей» хромосомной перестройки [2]. Фрагментация хромосом является признаком разрушения их структуры, связанного с лизированием ферментами молекул ДНК, и служит показателем нестабильности генома. Фрагменты при этом не включаются в формирующиеся дочерние ядра и лизируются ферментами или остаются в цитоплазме клетки в виде микроядер [1].

Отставания хромосом возникают при нарушениях как в самой хромосоме, так и в ахроматиновом веретене деления (рис. 4, 5).

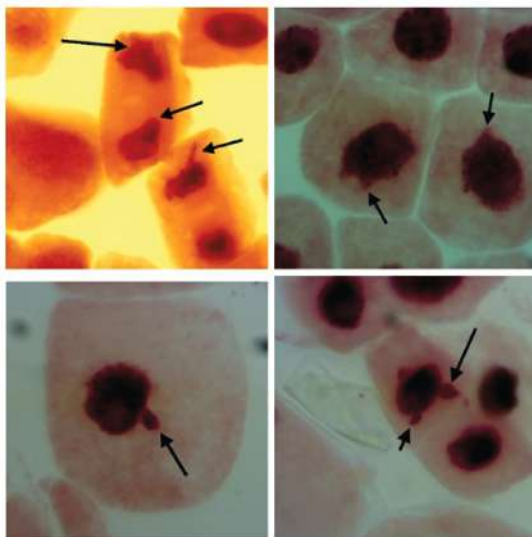


Рис. 3. Появление ядерных почек в меристематических клетках корня *A. sera* после облучения гамма-радиацией

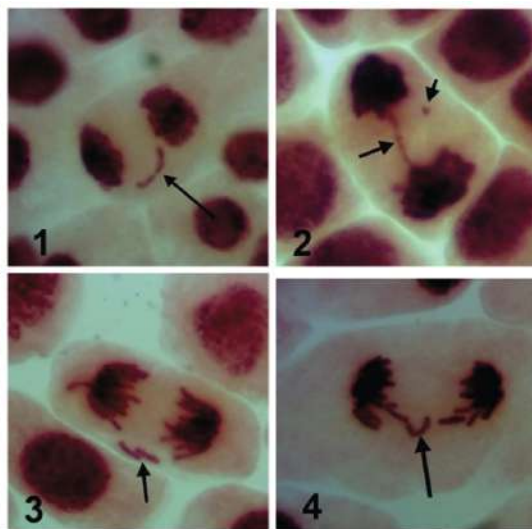


Рис. 4. Появление отставаний хромосом (1), мостов (2) и фрагментов (3 и 4) в меристематических клетках корня *A. sera* после облучения гамма-радиацией

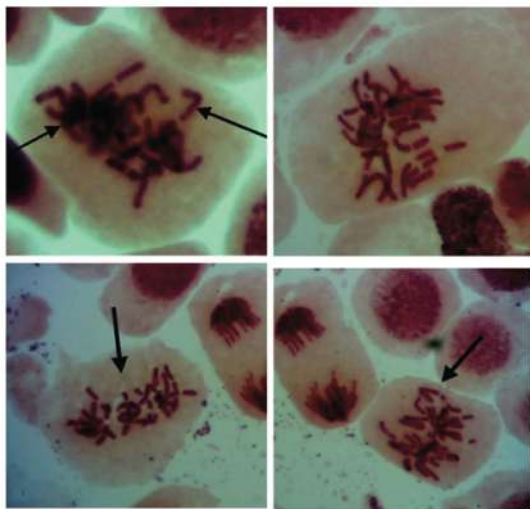


Рис. 5. Появление нарушений в работе веретена деления в меристематических клетках корня *A. cepa* после облучения гамма-радиацией

Таким, образом можно сделать вывод, что гамма-облучение луковиц поглощенными дозами 3, 1 и 0,3 Гр обладает негативным действием на деление клетки, проявляющееся в появлении хромосомных и других нарушений достоверно выше, чем в контроле. Митотический индекс достоверно не отличался от контроля, это может происходить из-за некоторой стимуляции деления клеток, уже показанного в источнике [3] под влиянием радиации, однако такое деление может негативно сказываться на общем состоянии клеток, что видно из цитогенетического анализа, такое состояние может выравниваться после удаления объекта от источника облучения.

Заключение

В результате проведенного исследования было показано, что гамма-облучение тест - объекта лука репчатого (*Allium cepa* L.) поглощенными дозами в 3, 1 и 0,3 Гр привело к появлению цитогенетических нарушений, доля которых достоверно отличалась от контроля. Наблюдали появление таких нарушений как ядерные почки, мосты, фрагменты и отставания хромосом, С-митоз, нарушение работы веретена деления, появление гигантских клеток, микроядер, что говорит о негативном влиянии гамма-радиации. Достоверного изменения митотического индекса по сравнению с контролем не

происходило. Это может быть связано с некоторой стимуляцией деления клеток, но тем не менее, такое облучение ведет к нарушению работы систем клетки. Исследование может быть полезно для задач биомониторинга.

Список литературы

1. Буторина А. К., Калаев В. Н. Анализ чувствительности различных критериев цитогенетического мониторинга // Экология. 2000. №3. С. 206-210.
2. Калаев В. Н., Попова А. А. Цитогенетические характеристики и морфологические показатели семенного потомства деревьев дуба черешчатого (*Quercus robur* L.), произрастающих на территориях с разным уровнем антропогенного загрязнения // Вестник Воронежского государственного университета. Серия: Химия. Биология. Фармация. 2014. №4. С. 63-72.
3. Трофимова Е. А., Дементьев Д. В., Болсуновский А. Я. Влияние γ -излучения на развитие растений из облученных семян и проростков *Allium cepa* L. // Радиационная биология. Радиоэкология. 2019. Т. 59, № 3. С. 293-299.
4. Barbério A., Barros L., Voltolini J. C., Mello M. L. S. Evaluation of the cytotoxic and genotoxic potential of water from the Brazilian river Paraíba do Sul with the *Allium cepa* test // Brazilian Journal of Medical and Biological Research. 2009. Vol. 69(3). P. 837-842. <https://doi.org/10.1007/s11051-013-2220-2>
5. Bonciu E., Firbas P., Fontanetti C. S., Wusheng J., Karaismailoğlu M. C., Liu D., Menicucci F., Pesnya D. S., Popescu A., Romanovsky A. V., Schiff S., Ślusarczyk J., de Souza C. P., Srivastava A., Sutan A. N. Papini A. An evaluation for the standardization of the *Allium cepa* test as cytotoxicity and genotoxicity assay // Caryologia. 2018. Vol. 71. P. 191-209. <https://doi.org/10.1080/00087114.2018.1503496>
6. Bonea D., Bonciu E. Cytogenetic effects induced by the fungicide Royal Flo to maize (*Zea mays* L.) // Caryologia. 2017. Vol. 70(3). P. 195-199. <https://doi.org/10.1080/00087114.2017.1318232>
7. Ennaceur S. Genotoxicity assessment of drinking water from different sources using the *Allium cepa* test procedure // Fresenius environmental bulletin. 2018. Vol. 27(12B). P. 9972-9978.
8. Fesenko S. V., Alexakhin R. M., Geras'kin S. A., Sanzharova N. I., Spirin Y. V., Spiridonov S. I., Gontarenko I. A., Strand P. Comparative radiation impact on biota and man in the area affected by the accident at the Chernobyl nuclear power plant // J. Environ. Radioact. 2005. Vol. 80. P. 1e25. <https://doi.org/10.1016/j.jenvrad.2004.08.011>
9. Fiskesjö G. The *Allium* test as a standard for environmental monitoring // Hereditas. 1985. Vol. 102. P. 99-112.
10. Fiskesjö G. The *Allium* test—an alternative in environmental studies: the relative toxicity of metal ions // Mutat. Res. Fund. Mol. M. 1988. Vol. 197. P. 243-260.

11. Hamlin H. J., Guillette L. J. Jr. Birth defects in wildlife: the role of environmental contaminants as inducers of reproductive and developmental dysfunction // Syst. Biol. Reprod. Med. 2010. Vol. 56. P. 113-121. <https://doi.org/10.3109/19396360903244598>
12. Kursheed S., Raina A., Amin Laskar R., Khan S. Effect of gamma radiation and EMS on mutation rate, their effectiveness and efficiency in faba bean (*Vicia faba* L.) // Caryologia. 2018. Vol. 71 (4). P. 397-404. <https://doi.org/10.1080/00087114.2018.1485430>
13. Misík M., Krupitza G., Misíkova K., Micieta K., Nersesyan A., Kundi M., Knasmueller S. The Tradescantia micronucleus assay is a highly sensitive tool for the detection of low levels of radioactivity in environmental samples // Environmental Pollution. 2016. Vol. 219. P. 1044-1048. <http://dx.doi.org/10.1016/j.envpol.2016.09.004>
14. Mushtaq W., Ain Q., Siddiqui M. B., Hakeem K. R. Cytotoxic allelochemicals induce ultrastructural modifications in *Cassia tora* L. and mitotic changes in *Allium cepa* L.: a weed versus weed allelopathy approach // Protoplasma. 2019. Vol. 256. P. 857-871. <https://doi.org/10.1007/s00709-018-01343-1>
15. Palmieri M. J., Andrade-Vieira L. F., Cardoso T. M. V., De Faria E. M. W., Lubber J., Davide L. C., Marcussi S. Cytogenotoxic effects of spent pot liner (spl) and its main components on human leukocytes and meristematic cells of *Allium cepa* // Water Air Soil Pollut. 2016. Vol. 227 (156). P. 1-10. <https://doi.org/10.1007/s11270-016-2809-z>
16. Richardson D. B., Cardis E., Daniels R. D., Gillies M., O'Hagan J. A., Hamra G. B., Haylock R., Laurier D., Leuraud K., Moissonnier M., Schubauer-Berigan M. K., Thierry-Chef I., Kesminiene A. Risk of cancer from occupational exposure to ionising radiation: retrospective cohort study of workers in France, the United Kingdom, and the United States (INWORKS) // BMJ. 2015. Vol. 351. P. h5359. <https://doi.org/10.1136/bmj.h5359>
17. Sartaj A. B., Guangyu C., Fusheng L., Adarsh P. V. Biomonitoring of genotoxicity of industrial wastes using plant bioassays // Bioresource Technology Reports. 2012. Vol. 6. P. 207-216. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2018.01.003>
18. Spycher B. D., Lupatsch J. E., Zwahlen M., Roosli M., Niggli F., Grotzer M. A., Rischewski J., Egger M., Kuehni C. E. Background ionizing radiation and the risk of childhood cancer: a census-based nationwide cohort study // Environ. Health Perspect. 2015. Vol. 123. P. 622e628. <https://doi.org/10.1289/ehp.1408548>
19. Sudhakar R., Ninge Gowda K. N., Venu G. Mitotic abnormalities induced by silk dyeing industry effluents in the cells of *Allium cepa* // Cytologia. 2001. Vol. 66(3). P. 235-239. <https://doi.org/10.1508/cytologia.66.235>

20. WHO. World Health Organization monographs on selected medicinal plants // World Health Organization. Geneva. 1999. Vol. 1. 193 p.

References

1. Butorina A.K., Kalaev V.N. Sensitivity analysis of different criteria of cytogenetic monitoring. *Ekologiya* [Ecology], 2000, no. 3, pp. 206-210.
2. Kalaev V.N., Popova A.A. Cytogenetic characteristics and morphological indices of seed progeny of trees of oak (*Quercus robur* L.) growing in areas with different levels of anthropogenic pollution. *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Khimiya. Biologiya. Farmatsiya*, 2014, no. 4, pp. 63-72.
3. Trofimova E. A., Dementiev D. V., Bolsunovsky A. Y. Effect of γ -radiation 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.
4. Barbério A., Barros L., Voltolini J.C., Mello M.L.S. Evaluation of the cytotoxic and genotoxic potential of water from the Brazilian river Paraíba do Sul with the *Allium cepa* test. *Brazilian Journal of Medical and Biological Research*, 2009, vol. 69(3), pp. 837-842. <https://doi.org/10.1007/s11051-013-2220-2>
5. Bonciu E., Firbas P., Fontanetti C. S., Wusheng J., Karaismailoğlu M. C., Liu D., Menicucci F., Pesnya D.S., Popescu A., Romanovsky A.V., Schiff S., Ślusarczyk J., de Souza C. P., Srivastava A., Sutan A. N. Papini A. An evaluation for the standardization of the *Allium cepa* test as cytotoxicity and genotoxicity assay. *Caryologia*, 2018, vol. 71, pp. 191-209. <https://doi.org/10.1080/00087114.2018.1503496>
6. Bonea D., Bonciu E. Cytogenetic effects induced by the fungicide Royal Flo to maize (*Zea mays* L.). *Caryologia*, 2017, vol. 70(3), pp. 195-199. <https://doi.org/10.1080/00087114.2017.1318232>
7. Ennaceur S. Genotoxicity assessment of drinking water from different sources using the *Allium cepa* test procedure. *Fresenius environmental bulletin*, 2018, vol. 27(12B), pp. 9972-9978.
8. Fesenko S.V., Alexakhin R.M., Geras'kin S.A., Sanzharova N.I., Spirin Y.V., Spiridonov S.I., Gontarenko I.A., Strand P. Comparative radiation impact on biota and man in the area affected by the accident at the Chernobyl nuclear power plant. *J. Environ. Radioact*, 2005, vol. 80, 1e25. <https://doi.org/10.1016/j.jenvrad.2004.08.011>
9. Fiskešjo G. The *Allium* test as a standard for environmental monitoring. *Hereditas*, 1985, vol. 102, pp. 99-112.
10. Fiskešjo G. The *Allium* test—an alternative in environmental studies: the relative toxicity of metal ions. *Mutat. Res. Fund. Mol. M*, 1988, vol. 197, pp. 243-260.

11. Hamlin H.J., Guillette L.J.Jr. Birth defects in wildlife: the role of environmental contaminants as inducers of reproductive and developmental dysfunction. *Syst. Biol. Reprod. Med*, 2010, vol. 56, pp. 113-121. <https://doi.org/10.3109/19396360903244598>
12. Kursheed S., Raina A., Amin Laskar R., Khan S. Effect of gamma radiation and EMS on mutation rate, their effectiveness and efficiency in faba bean (*Vicia faba* L.). *Caryologia*, 2018, vol. 71, no. 4, pp. 397-404. <https://doi.org/10.1080/00087114.2018.1485430>
13. Misík M., Krupitza G., Misikova K., Micieta K., Nersesyan A., Kundi M., Knasmueller S. The Tradescantia micronucleus assay is a highly sensitive tool for the detection of low levels of radioactivity in environmental samples. *Environmental Pollution*, 2016, vol. 219, pp. 1044-1048. <http://dx.doi.org/10.1016/j.envpol.2016.09.004>
14. Mushtaq W., Ain Q., Siddiqui M.B., Hakeem K.R. Cytotoxic allelochemicals induce ultrastructural modifications in *Cassia tora* L. and mitotic changes in *Allium cepa* L.: a weed versus weed allelopathy approach. *Protoplasma*, 2019, vol. 256, pp. 857-871. <https://doi.org/10.1007/s00709-018-01343-1>
15. Palmieri M.J., Andrade-Vieira L.F., Cardoso T.M. V., De Faria E.M.W., Luber J., Davide L.C., Marcussi S. Cytogenotoxic effects of spent pot liner (spl) and its main components on human leukocytes and meristematic cells of *Allium cepa*. 2016, *Water Air Soil Pollut*, vol. 227, no. 156, pp. 1-10. <https://doi.org/10.1007/s11270-016-2809-z>
16. Richardson D.B., Cardis E., Daniels R.D., Gillies M., O'Hagan J.A., Hamra G.B., Haylock R., Laurier D., Leuraud K., Moissonnier M., Schubauer-Berigan M. K., Thierry-Chef I., Kesminiene A. Risk of cancer from occupational exposure to ionising radiation: retrospective cohort study of workers in France, the United Kingdom, and the United States (INWORKS). *BMJ*, 2015, vol. 351, P. h5359. <https://doi.org/10.1136/bmj.h5359>
17. Sartaj A. B., Guangyu C., Fusheng L., Adarsh P. V. Biomonitoring of genotoxicity of industrial wastes using plant bioassays. *Bioresource Technology Reports*, 2012, vol. 6, pp. 207-216. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2018.01.003>
18. Spycher B.D., Lupatsch J.E., Zwahlen M., Roosli M., Niggli F., Grotzer M.A., Rischewski J., Egger M., Kuehni C.E. Background ionizing radiation and the risk of childhood cancer: a census-based nationwide cohort study. *Environ. Health Perspect*, 2015, vol. 123, 622e628. <https://doi.org/10.1289/ehp.1408548>

19. Sudhakar R., Ninge Gowda K.N., Venu G. Mitotic abnormalities induced by silk dyeing industry effluents in the cells of *Allium cepa*. *Cytologia*, 2001, vol. 66, no. 3, pp. 235-239. <https://doi.org/10.1508/cytologia.66.235>
20. WHO. World Health Organization monographs on selected medicinal plants. World Health Organization, Geneva, 1999, vol. 1, 193 p.

ДАННЫЕ ОБ АВТОРАХ

Смирнова Мария Васильевна, научный сотрудник, лаборатория медицинских и биологических технологий
*Федеральный исследовательский центр «Кольский научный центр»
ул. Ферсмана, 14, г. Апатиты, 184209, Российская Федерация
zbe3do4et@mail.ru*

Смирнов Андрей Анатольевич, ведущий инженер, региональная лаборатория радиационного контроля
*Институт химии и технологии редких элементов и минерального сырья им. И. В. Тананаева
Академгородок, 26а, г. Апатиты, 184209, Российская Федерация
adstud@mail.ru*

DATA ABOUT THE AUTHORS

Maria V. Smirnova, Researcher Assistant, Laboratory of Medical and Biological Technologies
*Federal Research Centre Kola Science Centre
14a, Fersman Str., Apatity, 184209, Russian Federation
zbe3do4et@mail.ru
SPIN-code: 3923-0204
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9920-1114>
ResearcherID: A-7268-2019*

Andrey A. Smirnov, Leading Engineer, Regional Radiation Control Laboratory
*Tananaev Institute of Chemistry and Technology of Rare Elements and Mineral Raw Materials
26a, Akademgorodok, Apatity, 184209, Russian Federation
adstud@mail.ru
ORCID: <https://orcid.org/0009-0002-1029-6530>*

Поступила 31.07.2023

После рецензирования 10.09.2023

Принята 20.09.2023

Received 31.07.2023

Revised 10.09.2023

Accepted 20.09.2023

DOI: 10.12731/2658-6649-2024-16-2-907

УДК 631.6.02



Научная статья

ИССЛЕДОВАНИЯ ВЛИЯНИЯ ОРГАНИЧЕСКИХ ОТХОДОВ НА УРОЖАЙНОСТЬ РЕДЬКИ МАСЛИЧНОЙ НА МАЛОПРОДУКТИВНЫХ И ДЕГРАДИРОВАННЫХ ЗЕМЛЯХ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ИНФОРМАЦИОННО-ЛОГИЧЕСКОГО АНАЛИЗА

А.В. Тиньгаев, А.С. Давыдов, Ю.В. Чепрунова

Обоснование. В настоящее время деградации подвержены почти 2 миллиарда гектаров земли. Повысить плодородие малопродуктивных и деградированных земель, увеличить урожайность сельскохозяйственных культур возможно внесением органических отходов, объемы которых ежегодно в мире увеличиваются. Доля влияния вариантов опыта на урожайность редьки масличной составило 31,8 %, согласно информационно-логического анализу.

Цель. Целью исследования являлась оценка степени влияния норм внесения органических отходов на урожайность редьки масличной с использованием информационно-логической модели.

Материалы и методы. В исследовании применялись системный подход, информационно-логический анализ. Статистическая обработка данных проводилась в Excel. Полевой опыт был заложен и проведен по методике, изложенной в работе Б. А. Доспехова. Исследования по использованию птичьего помета в Алтайском крае в качестве удобрения нами проводились с 2014 г, а осадка сточных вод с 2019 г.

Исследования по повышению плодородия малопродуктивных и деградированных почв с использованием органических удобрений проводились в Калманском районе Алтайского края. Ранее на опытном участке органические удобрения не применялись. Полевой опыт включал 5 вариантов в 3-х-кратной повторности. Площадь каждой повторности составляла 500 м².

Варианты полевого опыта: внесение помета 10 т/га, внесение осадка сточных вод 15 т/га, внесение осадка сточных вод 45 т/га, внесение смеси помета 5 т/га и осадка сточных вод 15 т/га, контроль (без внесения птичьего помета и ОСВ).

Полевой опыт был заложен с редькой масличной на зеленую массу.

Результаты. В полевом опыте применялись осадки сточных вод со сроком хранения на иловых площадках более 5 лет, которые были взяты с очистных сооружений канализации г. Барнаула, а также перепревший в бурте в течение 12 месяцев смешанный птичий помет от разновозрастных кур несушек с клеточным содержанием АО «Птицефабрика «Молодежная».

На основании проведенных исследований, была определена урожайность редьки масличной. За время исследований максимальная урожайность редьки масличной сформировалась на варианте с использованием птичьего помета нормой 10 т/га, она составила 84,2 т/га. Немного этому значению уступала урожайность редьки масличной с вариантом ОСВ – 45 т/га, она составила 79,6 т/га. Самая низкая урожайность сформировалась на контроле – 49,4 т/га.

Была проведена оценка разности средних по t-критерию Стьюдента при доверительной вероятности 0,95. Разность между контролем и внесением птичьего помета составила 34,78. Разность между контролем и внесением 15 т/га осадка сточных вод составила 12,99. Разность между контролем и внесением 45 т/га осадка сточных вод составила 30,16. Разность между контролем и внесением смеси птичьего 5 т/га помета и 15 т/га осадка сточных вод составила 24,46.

В результате изучения влияния вариантов опыта на урожайность редьки масличной с использованием информационно-логического анализа получили коэффициент эффективности передачи информации K (редьки) = 0,3186.

Заключение. Таким образом, информационно-логический анализ выявил 31,8% влияния на урожайность редьки масличной внесения органических отходов. Информационно-логический анализ также выявил влияние органических отходов 18,89% на массовую долю сырой золы и 19,70% массовую долю сырого протеина зеленой массы редьки масличной по вариантам опыта.

Ключевые слова: птичий помет; осадки сточных вод; органические отходы; деградированные земли; урожайность; информационно-логический анализ

Для цитирования. Тиньгаев А.В., Давыдов А.С., Чепрунова Ю.В. Исследования влияния органических отходов на урожайность редьки масличной на малопродуктивных и деградированных землях с использованием информационно-логического анализа // *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*. 2024. Т. 16, №2. С. 126-141. DOI: 10.12731/2658-6649-2024-16-2-907

Original article

RESEARCH ON THE IMPACT OF ORGANIC WASTE ON OILSEED RADISH YIELD ON LOW-PRODUCTIVE AND DEGRADED LANDS USING INFORMATION-LOGIC ANALYSIS

A.V. Tingaev, A.S. Davydov, Y.V. Cheprunova

Background. Currently, almost 2 billion hectares of land are subject to degradation. To increase the fertility of low-productive and degraded lands, to increase the yield of agricultural crops is possible by applying organic waste, the volume of which increases annually in the world. The share of influence of the experiment variants on the yield of oilseed radish was 31,8 %, according to the information-logical analysis.

Objective. The purpose of the study was to assess the degree of influence of organic waste application rates on the yield of oilseed radish using information-logical model.

Materials and Methods. A systematic approach, information-logical analysis were used in the study. Statistical processing of data was carried out in Excel. The field experiment was laid and conducted according to the methodology outlined in the work of B. A. Dospekhov. We conducted research on the use of poultry manure in Altai Krai as a fertilizer since 2014, and sewage sludge since 2019.

Studies on improving the fertility of low-productive and degraded soils using organic fertilizers were conducted in Kalmansky district of Altai Krai. Previously, organic fertilizers were not used on the experimental plot. The field experiment included 5 variants in 3-fold repetition. The area of each repetition was 500 m².

Field experiment variants: application of manure 10 t/ha, application of sewage sludge 15 t/ha, application of sewage sludge 45 t/ha, application of a mixture of manure 5 t/ha and sewage sludge 15 t/ha, control (without application of poultry manure and WWS).

The field experiment was established with oilseed radish on green mass.

Results. In the field experiment we used sewage sludge with storage period on sludge pads for more than 5 years, which were taken from sewage treatment facilities of Barnaul, as well as mixed poultry manure from different-aged laying hens with cage housing of JSC "Poultry farm "Molodezhnaya", which had been digested in a pile for 12 months.

Based on the conducted research, the yield of oilseed radish was determined. During the studies, the maximum yield of oilseed radish was formed on the variant with the use of poultry manure rate of 10 t/ha, it amounted to 84.2 t/ha. A little

inferior to this value was the yield of oilseed radish with OSV variant - 45 t/ha, it amounted to 79.6 t/ha. The lowest yield was formed on the control - 49.4 t/ha.

The difference in mean was evaluated by Student's t-test at a confidence level of 0.95. The difference between control and poultry manure application was 34.78. The difference between control and application of 15 t/ha sewage sludge was 12.99. The difference between control and application of 45 t/ha sewage sludge was 30.16. The difference between control and application of a mixture of poultry 5 t/ha litter and 15 t/ha sewage sludge was 24.46.

As a result of studying the effect of experiment variants on the yield of oilseed radish using information-logic analysis, the coefficient of efficiency of information transfer K (radish) = 0.3186 was obtained.

Conclusion. *Thus, the information-logic analysis revealed 31.8% effect of organic waste application on yield of oilseed radish. The information-logic analysis also revealed 18.89% effect of organic wastes on mass fraction of crude ash and 19.70% mass fraction of crude protein of green mass of oilseed radish in the experiment variants.*

Keywords: *poultry litter; sewage sludge; organic waste; degraded land; crop yield; information-logical analysis*

For citation. *Tingaev A.V., Davydov A.S., Cheprunova Y.V. Studies of the Influence of Organic Waste on the Yield of Oilseed Radish on Low-Productive and Degraded Lands using Information-Logical Analysis. Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture, 2024, vol. 16, no. 2, pp. 126-141. DOI: 10.12731/2658-6649-2024-16-2-907*

Введение

В мире ежегодно увеличиваются объемы отходов из-за экономического роста, увеличения численности населения мира и деятельности человека [16]. В России образуется около 1 млрд. м³ осадков сточных вод и 286 млн. т навоза и помета в год, из них 17 млн. т/год составляет помет птицы, утилизация которых является сложной экологической и технологической проблемой (по данным Минприроды РФ, 2021).

С другой стороны, во всем мире деградации подвержены почти 2 миллиарда гектаров земли, в России доля деградированных земель составляет более 12,3% (по данным ФАО, Минприроды РФ, 2021). Ежегодно из-за эрозии в мире теряется 24 миллиарда тонн плодородных почв. Мониторинг пахотных угодий на площади 11,1 млн га по содержанию органического вещества в России, показал 1,1 млн. га почв с очень низким содержанием гумуса [6, 17].

По мнению российских и зарубежных исследователей, улучшить плодородие малопродуктивных и деградированных земель и увеличить урожайность сельскохозяйственных культур возможно внесением органических отходов [1-5,11-15]. Различные органические отходы и нормы их внесения в качестве удобрений оказывают различное влияние на урожайность и качество сельскохозяйственной продукции.

Впервые нами были проведены исследования для юга Западной Сибири по использованию смеси органических отходов на деградированных почвах для повышения урожайности редьки масличной. Для выявления количественной оценки влияния птичьего помета, осадков сточных вод и их смеси в разных нормах внесения был использован информационно-логический анализ, основанный на теории информации.

Цель исследования – оценка степени влияния норм внесения органических отходов на урожайность редьки масличной с использованием информационно-логической модели.

Задачи исследования: 1) обосновать возможность использования органических отходов в качестве удобрений; 2) выявить методами математической статистики и информационно-логическим анализом влияние внесения органических отходов в качестве удобрений на урожайность редьки масличной.

Материалы и методы

Исследования по повышению плодородия малопродуктивных и деградированных почв с использованием органических удобрений проводились в Калманском районе Алтайского края. Опытный участок находится в лесостепной зоне, в пределах северо-восточной части Приобского плато на юго-востоке от села Новороманово на землях крестьянско-фермерского хозяйства (КФХ) “Березовая роща”. Площадь опытного поля более 20 га.

Почва опытного поля – чернозем обыкновенный маломощный среднегумусный среднесуглинистый ($Ч^2_{1с}$). Почва подвержена дефляционным процессам, в связи с этим мощность гумусового горизонта составляет всего 40 см. и характеризуется нейтральной реакцией среды (рН 6,1), высоким содержанием подвижного фосфора (178 мг/кг) и обменного калия (125 мг/кг) (таблица 1).

В полевом опыте применялись осадки сточных вод со сроком хранения на иловых площадках более 5 лет, которые были взяты с очистных сооружений канализации г. Барнаула, а также перепревший в бурте в течение 12 месяцев смешанный птичий помет от разновозрастных кур несушек с кле-

точным содержанием АО «Птицефабрика «Молодежная». Исследования по использованию птичьего помета в Алтайском крае в качестве удобрения нами проводились с 2014 г, а осадка сточных вод с 2019 г.

Таблица 1.

Агрохимический анализ почвы опытного поля

Показатель	Почвенный горизонт		
	A _{пах}	A	AB
pH _{сол}	6,1	6,0	6,2
pH _{водн}	6,9	7,0	7,2
Гумус, %	4,4	3,7	1,6
Азот общий, %	0,25	0,19	0,11
Фосфор общий, %	0,4	0,34	0,35
Калий общий, %	2,8	2,6	2,6
Азот легкогидролизуемый (Нл.г.), мг/кг	20,0	11,4	8,2
Фосфор подвижный (P ₂ O ₅), мг/кг	178	145	132
Калий обменный (K ₂ O), мг/кг	125	19,8	6,8
Мышьяк, мг/кг	0,9	0,94	1,02
Железо, мг/кг	1244,2	1198,3	1250,6
Никель, мг/кг	28,8	29,7	31,9
Ртуть, мг/кг	0,011	0,011	0,009
Цинк, мг/кг	50,0	47,6	51,3
Медь, мг/кг	27,9	26,1	29,1
Кадмий, мг/кг	0,12	0,10	0,08
Свинец, мг/кг	11,4	10,9	11,37

Птичий помет и ОСВ к месту расположения делянок доставляли на грузовых машинах. Органические отходы на делянки вносились сплошным методом разбрасывателем органических удобрений ПТР-7. Заделка птичьего помета и ОСВ в почву проводилась механизированным способом дисковыми боронами Amazone Catros-4001. Посев осуществлялся механизированным способом сеялкой MD 19-40.

Осадки сточных вод и птичий помет характеризовались высоким содержанием органического вещества и биогенных элементов. В агрохимической характеристике осадка сточных вод и птичьего помета были проанализированы следующие показатели: влажность (%), pH, азот общий (N), %, фосфор общий (P₂O₅), % калий общий (K₂O), %, органическое вещество, %. В осадках сточных вод влажность составила 18,2%, pH – 5,7, азот общий – 3,3%, фосфор общий – 2%, калий общий – 1,2 %, органи-

ческое вещество – 6,9%. Птичий помёт содержит органическое вещество 33,4%, влажность – 38,6%, pH – 8.9%, азот общий – 1,8%, фосфор общий – 1,8%, калий общий – 0,3%.

Влажность птичьего помёта превышает влажность осадка сточных вод на 20,4%. В осадке сточных вод по сравнению с птичьим помётом содержится больше биогенных элементов азота, фосфора и калия, соответственно в 1,83, 1,11, 4 раза. В птичьём помёте выше, чем в ОСВ, содержание органического вещества в 4,8 раза, что в дальнейшем увеличит содержание азота в почве.

При использовании органических отходов в сельскохозяйственном производстве необходим строгий контроль наличия тяжёлых металлов в их составе (таблица 2).

Таблица 2.

**Содержание тяжёлых металлов и мышьяка в осадках сточных вод
и птичьём помёте**

Показатель	Органические отходы		Предельно-допустимые концентрации (ГОСТ Р 54534-2011)
	Осадки сточных вод	Птичий помёт	
Цинк, мг/кг	67,2	65,8	3500
Медь, мг/кг	95,4	42,1	750
Кадмий, мг/кг	0,69	0,09	30
Свинец, мг/кг	40,8	0,2	500
Ртуть, мг/кг	0,018	0,011	15
Мышьяк, мг/кг	0,15	0,11	20

Содержание тяжёлых металлов и мышьяка в осадках сточных вод оказалось выше, чем в птичьём помёте, но ни по одному элементу нет превышения значений предельно-допустимых концентраций (ПДК).

Патогенных микроорганизмов, личинок и яиц гельминтов (жизнеспособных), личинок и куколок синантропных мух в изученных образцах осадка сточных вод и птичьего помёта не обнаружено. По санитарно-паразитологическим показателям осадки сточных вод и помёт могут использоваться без ограничения.

Ранее на опытном участке органические удобрения не применялись. Полевой опыт включал 5 вариантов в 3-х-кратной повторности. Площадь каждой повторности составляла 500 м².

Варианты полевого опыта:

1 вариант: внесение помёта 10 т/га;

2 вариант: внесение осадка сточных вод 15 т/га;

3 вариант: внесение осадка сточных вод 45 т/га;

4 вариант: внесение смеси помета 5 т/га и осадка сточных вод 15 т /га;

5 вариант: контроль (без внесения птичьего помета и ОСВ).

Полевой опыт был заложен с редькой масличной на зеленую массу. В исследовании применялись системный подход, информационно-логический анализ. Статистическая обработка данных проводилась в Excel. Полевой опыт был заложен и проведен по методике, изложенной в работе Б. А. Доспехова.

Результаты и обсуждение

Климат Калманского района Алтайского края резко континентальный. Наиболее высокая среднемесячная температура зафиксирована в июне – 22,3°С с абсолютным максимумом 38,5°С. Годовое значение гидро-термического коэффициента по Селянинову составило 1,15, что характеризует территорию опытного поля как зону обеспеченной увлажненности (Т. В. Терещенко., 2023).

На основании проведенных исследований, была определена урожайность редьки масличной (табл.3). В полевом опыте выявлены существенные различия вариантов.

За время исследований максимальная урожайность редьки масличной сформировалась на варианте с использованием птичьего помета нормой 10 т/га, она составила 84,2 т/га. Немного этому значению уступала урожайность редьки масличной с вариантом ОСВ – 45 т/га, она составила 79,6 т/га. Самая низкая урожайность сформировалась на контроле – 49,4 т/га.

Таблица 3.

Урожайность зеленой массы редьки масличной

Вариант	Урожай- ность, т/га	Изменение урожайности относительно контроля	
		т/га	%
Смесь помета 5 т/га и осадка сточных вод 15 т /га	73,9	+24,5	+49,4739
ОСВ 45 т/га	79,6	+30,2	+61,0279
ОСВ 15 т/га	62,4	+13,0	+26,2849
Помет 10 т/га	84,2	+34,8	+70,3764
Контроль	49,4		
НСР 05		14,9	
Точность опыта,%		7,55	

Была проведена оценка разности средних по t-критерию Стьюдента при доверительной вероятности 0,95. Разность между контролем и внесением птичьего помета составила 34,78. Разность между контролем и внесением 15 т/га осадка сточных вод составила 12,99. Разность между контролем и внесением 45 т/га осадка сточных вод составила 30,16. Разность между контролем и внесением смеси птичьего 5 т/га помета и 15 т/га осадка сточных вод составила 24,46.

Важным показателем, определяющим возможность использования выращенной продукции на корм скоту, является ее питательная ценность [9-10].

Питательную ценность зеленой массы редьки масличной на всех вариантах опыта исследовали по двум показателям: массовая доля сырого протеина (%) и массовая доля сырой золы (%).

Максимальное значение по показателю массовая доля протеина сформировалось на варианте – помет 10 т/га и составило 13,87%. Немного этому значению уступил вариант – ОСВ 15 т/га, она составила 13,01%. Массовая доля сырого протеина на варианте – смесь помета 5 т/га и осадка сточных вод 15 т/га составила 12,79%, а на варианте – ОСВ 45 т/га она составила 11,95%. Самый низкий показатель массовой доли сырого протеина на контроле, она составила 11,57%.

Максимальное значение по показателю массовая доля сырой золы сформировалось на варианте – смесь помета 5 т/га и осадка сточных вод 15 т/га и составила 9,4%. Немного этому значению уступил вариант – контроль, где показатель 9,1%. На вариантах ОСВ 45 т/га и ОСВ 15 т/га, массовая доля сырой золы составила 8,8%. Самый низкий показатель массовой доли сырой золы на варианте – помет 10 т/га, она составила 8,6%.

По содержанию сырого протеина и сырой золы (%) представленные образцы соответствуют пищевой ценности и могут использоваться на корм скоту.

Сельскохозяйственные культуры, выращенные для использования их в качестве корма для животных, не должны содержать тяжелых металлов и токсичных элементов в количествах, превышающих предельно-допустимые концентрации (ПДК).

Содержание всех тяжелых металлов и мышьяка в зеленой массе редьки масличной со всех вариантов опыта не превышает ПДК.

Результаты лабораторных исследований зеленой массы редьки масличной представлены в таблице 4.

Таблица 4.

Содержание тяжелых металлов и мышьяка в зеленой массе редьки масличной

Вариант	Цинк, мг/кг	Медь, мг/кг	Кадмий, мг/кг	Свинец, мг/кг	Ртуть, мг/кг	Мышьяк, мг/кг
Смесь помета 5 т/га и осадка сточных вод 15 т /га	43,72	6,54	0,21	4,12	0,013	0,03
ОСВ 45 т/га	39,9	4,31	0,15	4,45	0,022	0,03
ОСВ 15 т/га	32,92	4,24	0,14	4,47	0,020	0,04
Помет 10 т/га	38,98	5,44	0,2	3,92	0,021	0,04
Контроль	32,42	4,79	0,18	4,21	0,024	0,03
Допустимые уровни	50	30	0,3	5	0,05	0,5

Для определения влияния вариантов полевого опыта на урожайность зеленой массы редьки масличной был проведен информационно-логический анализ. Информационно-логический анализ позволяет собрать модель локализации явления от факторов, а также с помощью него можно установить степень зависимости и оценить влияние факторов. В отличие от корреляционного анализа он не требует линейности, метричности и позволяет делать логические высказывания.

Коэффициент эффективности передачи информации (К), попадающей от влияющих факторов (Т) к явлению (урожайности), и отметка показателей устанавливаются по числу информации [3].

Проведенный информационно-логический анализ показал наличие прямой тесной связи между урожайностью редьки масличной и вариантами полевого опыта. Количество поступающей информации от фактора (Т) - 0,74 бит; коэффициент эффективности передачи информации (К) равен 0,3186; доля участия фактора (Д) составляет 31,8%. Максимальное варьирование урожайности наблюдается в варианте с внесением помета ($H(a/b) = 2,0463$), минимальное варьирование - в варианте без внесения органических отходов в качестве удобрений ($H(a/b) = 0,7218$).

Форму логической зависимости урожайности устанавливали с помощью функции m-значной логики.

Мы можем построить информационно-логическую модель урожайности сельскохозяйственных культур на основе ранжирования значений коэффициента эффективности переноса (К):

$$Y = \Phi \times K \times T,$$

где Y – урожайность сельскохозяйственных культур; Φ – обозначение логической функции нелинейного произведения; Φ – фактор (влияние внесения органических отходов по вариантам опыта); K – коэффициент

эффективности передачи информации; T – число поступающей информации от фактора.

В результате изучения влияния вариантов опыта на урожайность редьки масличной с использованием информационно-логического анализа получили коэффициент эффективности передачи информации K (редьки) = 0,3186, показывающий степень влияния органических отходов на урожайность.

Для определения влияния вариантов полевого опыта на питательную ценность редьки масличной был проведен информационно-логический анализ.

Проведенный информационно-логический анализ показал наличие прямой тесной связи между показателями массовой доли сырой золы редьки масличной и вариантами полевого опыта. Количество поступающей информации от фактора (T) – 0,5066 бит; коэффициент эффективности передачи информации (K) равен 0,2182; доля участия фактора (D) составляет 18,89%.

Максимальное варьирование показателей массовой доли сырой золы наблюдается в варианте с внесением ОСВ 15 и на смеси ОСВ с птичьим пометом ($H(a/b)$) = 2,2463, минимальное варьирование – в варианте без внесения органических отходов в качестве удобрений ($H(a/b)$) = 1,6855.

Проведенный информационно-логический анализ показал наличие прямой тесной связи между показателями массовой доли сырого протеина редьки масличной и вариантами полевого опыта. Количество поступающей информации от фактора (T) – 0,4975 бит; коэффициент эффективности передачи информации (K) равен 0,2143; доля участия фактора (D) составляет 19,70%.

Максимальное варьирование показателей массовой доли сырого протеина наблюдается в варианте с внесением помета ($H(a/b)$) = 2,4463, минимальное варьирование – в варианте без внесения органических отходов в качестве удобрений ($H(a/b)$) = 1,6855.

Таким образом, информационно-логический анализ показал, существенное положительное влияние на питательную ценность редьки масличной при внесении птичьего помета, осадков сточных вод и их смеси.

Выводы

В полевом опыте выявлены существенные различия влияния органических отходов на урожайность с НСР 14,9 т/га. Наибольшая урожайность зеленой массы редьки масличной была получена на вариантах с внесением помета 10 т/га (84,2 т/га) и осадка сточных вод нормой 45 т/га (79,6 т/га). Информационно-логический анализ выявил, что степень влияния внесения органических отходов внесённых в качестве удобрений на урожайность редьки масличной составляет 31,8%. Также выявлено влияние

органических отходов внесенных в качестве удобрений на питательную ценность редьки масличной по вариантам опыта.

Информация о спонсорстве. Работа выполнена по госзаданию МСХ РФ в 2023 г. Рег. № НИОКТР 123032900014-7.

Sponsorship information. The work was carried out under the state order of the Ministry of Agriculture of the Russian Federation in 2023. Reg. No. NIOCTR 123032900014-7.

Список литературы

1. Варданян М.А. Технология утилизации органических отходов // Нефтегазовые технологии и экологическая безопасность. 2023. № 3. С. 15-19.
2. Добкович Й. Переработка органических отходов для восполнения кормового дефицита // Твердые бытовые отходы. 2022. № 6 (192). С. 30-33.
3. Изотов А.М., Тарасенко Б.А., Дударев Д.П. Информационно-логическая модель зависимости синтезирующей деятельности корней озимой пшеницы от агротехнических и метеорологических факторов // Известия сельскохозяйственной науки Тавриды. 2022. № 30 (193). С. 79-88.
4. Кирейчева Л.В., Яшин В.М. Технология восстановления плодородия деградированных почв выработанных торфяников на основе применения удобрительно-мелиорирующей смеси // Плодородие. 2018. № 5 (104). С. 2-5.
5. Кокунова И.В., Кулакова Н.Н., Истомин С.В. Эффективность органических удобрений в зависимости от способа их производства // Известия Великолукской государственной сельскохозяйственной академии. 2022. № 3 (40). С. 48-54.
6. Лобковский В.А., Андреева О.В., Куст Г.С. Интеграция международной и национальной систем мониторинга и оценки деградации земель в России // Известия Российской академии наук. Серия географическая. 2022. Т. 86. № 1. С. 9-27. doi: 10.31857/S2587556622010095
7. Малютина Л.А., Тиньгаев А.В., Давыдов А.С. Влияние птичьего помета на агрофизическое состояние и плодородие почв Бие-Чумышской возвышенности // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. 2023. № 10 (228). С. 51-55.
8. Маринченко Т.Е. Перспективные разработки в области переработки помета // Эффективное животноводство. 2021. № 7 (173). С. 80-83.
9. Мерзлая Г.Е. Агроэкологическая эффективность традиционных и новых органических удобрений // Российская сельскохозяйственная наука. 2022. № 5. С. 49-53.

10. Мерзлая Г.Е. Оценка качества продукции в органическом и традиционном земледелии //Контроль качества продукции. 2019. № 12. С. 32-34.
11. Никифорова Ю.Ю. Влияние компостов на основе производственных отходов на плодородие почвы и продуктивность сельскохозяйственных культур // АгроЭкоИнженерия. 2022. № 3 (112). С. 70-82.
12. Радченко Е.П., Вдовина А.Н. Утилизация остатков сточных вод в качестве удобрений как одно из направлений в решении экологических проблем // Аграрное и земельное право. 2022. № 8 (212). С. 95-98.
13. Разборская С.К., Полянский П.С., Виссарионова Е.А., Попов В.Г. Технологические направления утилизации и обезвреживания органических отходов различного происхождения // Вода: химия и экология. 2023. № 6. С. 22-29.
14. Сариева Г.К., Айтбаева Ж.Т., Ибраева Н.И. Влияние местных минеральных и органических стимуляторов на рост пшеницы // Вестник Исык-Кульского университета. 2022. № 51. С. 50-57.
15. Титова В.И., Бойцун Д.И., Мартынова О.С. Влияние птичьего помета на обеспеченность почв основными макро- и микроэлементами//Плодородие. 2023. № 1 (130). С. 49-53.
16. Dharmendra. Organic Waste: Generation, Composition and Valorisation. In Advanced Organic Waste Management; Hussain, C., Hait, S., Eds.; Elsevier: Amsterdam, The Netherlands, 2022; pp. 3–15. doi: 10.1016/B978-0-323-85792-5.00024-1 .
17. Kraamwinkel, C.T., Beaulieu, A., Dias, T. et al. Planetary limits to soil degradation. Commun Earth Environ 2, 249 (2021). doi: 10.1038/s43247-021-00323-3.
18. Tingayev A.V., Cheprunova Yu.V. Impact of pollutants in the soil of the agrolandscape of the recultivated landfill on crops //Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture. 2022. T. 14. № 2. С. 373-386. doi: 10.12731/2658-6649-2022-14-2-373-386
19. Shan, Y., Lv, M., Zuo, W. et al. Sewage sludge application enhances soil properties and rice growth in a salt-affected mudflat soil. Sci Rep 11, 1402 (2021). doi: 10.1038/s41598-020-80358-2
20. Vokosov Z. Production of organic fertilizers using local raw materials // Universitas: технические науки. 2023. № 4-8 (109). С. 12-14.

Referenses

1. Vardanyan M.A. Technology of organic waste utilization // Oil and gas technologies and environmental safety. 2023. № 3. С. 15-19.
2. Dobkovic J. Recycling of organic waste to fill the feed deficit // Municipal Solid Waste. 2022. № 6 (192). С. 30-33.

3. Izotov A.M., Tarasenko B.A., Dudarev D.P. Information-logical model of dependence of synthesizing activity of winter wheat roots on agrotechnical and meteorological factors // *Izvestia agricultural science Tavrida*. 2022. № 30 (193). C. 79-88.
4. Kireicheva L.V., Yashin V.M. Technology of restoration of fertility of degraded soils of depleted peatlands based on the use of fertilizer-meliorating mixture// *Fertility*. 2018. № 5 (104). C. 2-5.
5. Kokunova I.V., Kulakova N.N., Istomin S.V. Efficiency of organic fertilizers depending on the method of their production // *Izvestiya Velikolukskoy State Agricultural Academy*. 2022. № 3 (40). C. 48-54.
6. Lobkovskiy V.A., Andreeva O.V., Kust G.S. Integration of international and national systems of monitoring and assessment of land degradation in Russia// *Izvestia of the Russian Academy of Sciences. Series geographical*. 2022. T. 86. № 1. C. 9-27. doi: 10.31857/S2587556622010095
7. Malyutina L.A., Tingaev A.V., Davydov A.S. Influence of poultry manure on agrophysical condition and soil fertility of Bie-Chumyshskaya upland // *Bulletin of Altai State Agrarian University*. 2023. № 10 (228). C. 51-55.
8. Marinchenko T.E. Perspective developments in the field of manure processing// *Effective livestock breeding*. 2021. № 7 (173). C. 80-83.
9. Merzlaya G.E. Agroecological efficiency of traditional and new organic fertilizers // *Russian Agricultural Science*. 2022. № 5. C. 49-53.
10. Merzlaya G.E. Evaluation of product quality in organic and conventional farming // *Product Quality Control*. 2019. № 12. C. 32-34.
11. Nikiforenko Yu.Yu. Influence of composts based on industrial waste on soil fertility and productivity of agricultural crops // *AgroEcoEngineering*. 2022. № 3 (112). C. 70-82.
12. Radchenko, E.P.; Vdovina, A.N. Utilization of sewage residues as fertilizers as one of the directions in solving environmental problems // *Agrarnoe i zemstvennoe pravo*. 2022. № 8 (212). C. 95-98.
13. Razborskaya S.K., Polyanskiy P.S., Vissarionova E.A., Popov V.G. Technological directions of utilization and neutralization of organic wastes of different origin // *Water: chemistry and ecology*. 2023. № 6. C. 22-29.
14. Sarieva G.K., Aitbaeva J.T., Ibraeva N.I. Influence of local mineral and organic stimulants on wheat growth // *Bulletin of Issyk-Kul University*. 2022. № 51. C. 50-57.
15. Titova V.I., Boitsun D.I., Martyanova O.S. Influence of poultry manure on soil availability of basic macro- and microelements // *Fertility*. 2023. № 1 (130). C. 49-53.
16. Dharmendra. Organic Waste: Generation, Composition and Valorisation. In *Advanced Organic Waste Management*; Hussain, C., Hait, S., Eds.; Elsevier:

- Amsterdam, The Netherlands, 2022; pp. 3–15. doi: 10.1016/B978-0-323-85792-5.00024-1 .
17. Kraamwinkel, C.T., Beaulieu, A., Dias, T. et al. Planetary limits to soil degradation. *Commun Earth Environ* 2, 249 (2021). doi: 10.1038/s43247-021-00323-3.
18. Tingayev A.V., Cheprunova Yu.V. Impact of pollutants in the soil of the agrolandscape of the recultivated landfill on crops // *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*. 2022. T. 14. № 2. С. 373-386. doi: 10.12731/2658-6649-2022-14-2-373-386
19. Shan, Y., Lv, M., Zuo, W. et al. Sewage sludge application enhances soil properties and rice growth in a salt-affected mudflat soil. *Sci Rep* 11, 1402 (2021). doi: 10.1038/s41598-020-80358-2
20. Vokosov Z. Production of organic fertilizers using local raw materials // *Universum: технические науки*. 2023. № 4-8 (109). С. 12-14.

ДАННЫЕ ОБ АВТОРАХ

Тингаев Анатолий Владимирович, д.т.н., доцент

ФГБОУ ВО Алтайский ГАУ

пр-т Красноармейский, 98, г. Барнаул, 656049, Российская Федерация
avtin@mail.ru

Давыдов Александр Степанович, д.с.-х.н., профессор

ФГБОУ ВО Алтайский ГАУ

пр-т Красноармейский, 98, г. Барнаул, 656049, Российская Федерация
adav55@yandex.ru

Чепрунова Юлия Владимировна, кандидат сельскохозяйственных наук, старший преподаватель кафедры информационных технологий
ФГБОУ ВО «Алтайский государственный педагогический университет»

ул. Молодежная, 55, г. Барнаул, 656031, Российская Федерация
zubkova.ula@mail.ru

DATA ABOUT THE AUTHORS

Anatoly V. Tingaev, Doctor of Technical Sciences, Associate Professor

Altai State Agrarian University

98, Krasnoarmeysky Ave., Barnaul, 656049, Russian Federation
avtin@mail.ru

Alexander S. Davydov, Doctor of Agricultural Sciences, Professor
Altai State Agrarian University
98, Krasnoarmeysky Ave., Barnaul, 656049, Russian Federation
adav55@yandex.ru

Yulia V. Cheprunova, Candidate of Agricultural Sciences, Senior Lecturer at
the Department of Information Technologies
Altai State Pedagogical University
55, Molodezhnaya Str., Barnaul, 656031, Russian Federation
zubkova.ula@mail.ru

Поступила 11.01.2024

После рецензирования 01.03.2024

Принята 13.03.2024

Received 11.01.2024

Revised 01.03.2024

Accepted 13.03.2024

DOI: 10.12731/2658-6649-2024-16-2-827

УДК 574.4



Научный обзор

БИОИНДИКАЦИОННЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ ФОНОВЫХ ВИДОВ РАСТЕНИЙ ПРИРОДНИКОВЫХ УРОЧИЩ КАК ОСНОВА ПРОСПЕКТИВНОГО БИОМОНИТОРИНГА

О.А. Соболева, Е.В. Ноздрачева, Л.Н. Анищенко

В Нечерноземье РФ более 14 лет создаётся база долговременных наблюдений за состоянием родников как наиболее ценного элемента уникальных ландшафтов экотонных зон. Выполненные многолетние исследования по биохимическим особенностям фоновых видов растений родниковых урочищ создали основу биоиндикации общего состояния ручьёв ключей по активности антиоксидантной системы у семи биоиндикаторов. Цель работы – представить биохимические особенности фоновых видов урочищ родников и ручьёв для биоиндикации в системе перспективного биомониторинга родников. В результате применения маршрутных, биохимических методов исследования доказано, что для биомониторинговых исследований целесообразно применять показатели активности оксидоредуктаз фоновых видов родниковых урочищ ввиду индивидуальной видовой резистентности. Ряд чувствительности фоновых видов травянистых растений к значительной антропогенной нагрузке, в том числе и химическому загрязнению вод родников, основанной на степени уменьшения активности полифенолоксидазы: *Agrostis stolonifera* < *Scirpus sylvaticus* < *Rorippa amphibia* < *Alisma plantago-aquatica* < *Lycopus europaeus* < *Leptodictyum riparium* < *Marchantia polymorpha*. Ряд чувствительности растений к стрессовым факторам по степени увеличения каталазы (активности каталазы): *Agrostis stolonifera* > *Scirpus sylvaticus* > *Rorippa amphibia* > *Alisma plantago-aquatica* > *Lycopus europaeus* > *Leptodictyum riparium* > *Marchantia polymorpha*. Ряд чувствительности к общей антропогенной нагрузке, в том числе и по химическому загрязнению вод по степени уменьшения пероксидазы: *Agrostis stolonifera* < *Scirpus sylvaticus* < *Rorippa amphibia* < *Alisma plantago-aquatica* < *Lycopus europaeus* < *Leptodictyum riparium* < *Marchantia polymorpha*.

Ключевые слова: биохимические показатели; биомасса растений; природниковые урочища; биоиндикация; Нечерноземье; Российская Федерация

Для цитирования. Соболева О.А., Ноздрачева Е.В., Анищенко Л.Н. Биоиндикационные показатели фоновых видов растений природниковых урочищ как основа перспективного биомониторинга // *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*. 2024. Т. 16, №2. С. 142-165. DOI: 10.12731/2658-6649-2024-16-2-827

Scientific Review

TO THE BIOINDICATION INDICATORS OF BACKGROUND PLANT SPECIES IN NATURAL STOCKS AS THE BASIS OF PROSPECTIVE BIOMONITORING

O.A. Soboleva, E.V. Nozdracheva, L.N. Anishchenko

*In the Non-Black Earth Region of the Russian Federation, for more than 14 years, a database of long-term observations of the state of springs has been created as the most valuable element of the unique landscapes of ecotone zones. Long-term studies carried out on the biochemical characteristics of background plant species in spring tracts created the basis for bioindication of the general condition of spring streams based on the activity of the antioxidant system in seven bioindicators. The purpose of the work is to present the biochemical features of the background species of springs and streams for bioindication in the system of prospective biomonitoring of springs. As a result of the use of route, biochemical research methods, it has been proven that for biomonitoring studies it is advisable to use indicators of the activity of oxidoreductases of background species of spring tracts due to individual species resistance. A series of sensitivity of background species of herbaceous plants to significant anthropogenic load, including chemical pollution of spring waters, based on the degree of decrease in polyphenoloxidase activity: *Agrostis stolonifera* < *Scirpus sylvaticus* < *Rorippa amphibia* < *Alisma plantago-aquatica* < *Lycopus europaeus* < *Leptodictyum riparium* < *Marchantia polymorpha*. A series of plant sensitivity to stress factors according to the degree of increase in catalase (catalase activity): *Agrostis stolonifera* > *Scirpus sylvaticus* > *Rorippa amphibia* > *Alisma plantago-aquatica* > *Lycopus europaeus* > *Leptodictyum riparium* > *Marchantia polymorpha*. A series of sensitivity to the general anthropogenic load, including chemical water pollution according to the degree of peroxidase reduction: *Agrostis**

stolonifera < *Scirpus sylvaticus* < *Rorippa amphibia* < *Alisma plantago-aquatica* < *Lycopus europaeus* < *Leptodictyum riparium* < *Marchantia polymorpha*.

Keywords: biochemical indicators; plant biomass; natural tracts; bioindication; Non-Black Earth Region; Russian Federation

For citation. Soboleva O.A., Nozdracheva E.V., Anishchenko L.N. To the Bioindication Indicators of Background Plant Species in Natural Stocks as the Basis of Prospective Biomonitoring. *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*, 2024, vol. 16, no. 2, pp. 142-165. DOI: 10.12731/2658-6649-2024-16-2-827

Введение

Биоиндикация процессов и явлений зарекомендовала себя в огромном числе работ, связанных с проведением проспективных наблюдений и диагностикой состояния наземно-воздушной, почвенной и водной среды обитания. Особое направление изысканий представлено установление особенностей биохимических адаптаций организмов, в частности, по ферментам антиоксидантной системы (АСм), которые регулируют метаболизм для достижения гомеостаза при стрессовом воздействии [22, 23]. Компоненты АСм понижают активность цепных реакций окисления, нейтрализуя супероксидный радикал и перекисные продукты, тем самым поддерживая различные функции организма. Наиболее показательным диагностическим признаком у растений различных жизненных форм, экологических групп, систематических категорий определяют ферменты группы оксидоредуктаз – каталаза, пероксидаза, полифенолоксидаза, которые повышают системы детоксификации, и опосредованно – формируют адаптационный комплекс [2-4, 12, 15]. Каталаза имеет высокую специфичность к H_2O_2 , открыта ранее других ферментов и определение стрессового воздействия по активности этого фермента показано в более чем 50 работах за последнее десятилетие: присутствие в фотосинтетических, проводящих тканях, семенах и молодых побегах защищает растения от необратимых реакций.

Пероксидаза нейтрализует H_2O_2 и окисляет фенольные соединения – отмечены факты как российскими, так и зарубежными исследователями по динамике активности фермента в онтогенезе растительных форм. Полифенолоксидаза – группа биологически активных веществ АСм, содержащих медь, вовлечена в образование пигментов, защиты от патогенов, задерживая их проникновение в клеточную систему. Однако до настоящего времени нет прямого механизма, объясняющего связь между этим ферментом и абиотическим стрессом [8-11, 16, 19-21]. Для древесных и

кустарниковых растений, некоторых травянистых растений отмечена повышенная концентрация компонентов АСм при значительном и среднем загрязнении среды, в местах формирования структурных аномалий, в период камбиального роста [3, 7, 13, 14, 17, 18].

В староосвоенном регионе Нечерноземья РФ – Брянской области – биохимические данные по ферментам АСм в растительной биомассе неизвестны. Также диагностика состояний местообитаний уникальных экосистем ручьёв и ключей должна проводиться комплексно, в том числе и по биохимическим показателям у биоиндикаторов – водных и прибрежно-водных травянистых растений. Для дополнения комплексного мониторинга была поставлена цель работы – представить биохимические особенности фоновых видов урочищ родников и ручьёв для биоиндикации в системе перспективного биомониторинга родников.

В связи с реализацией обширной программы долговременных наблюдений за состоянием родников – ручьёв и ключей – местообитаний разной степени антропогенной нагрузки, целесообразно начать строить биомониторинговую базу именно с биохимических показателей фоновых видов растений. Определённые показатели состояния АСм для цветковых растений и мохообразных в местообитаниях ручьёв и ключей для биоиндикации – дополнение к созданной системе мониторинга родников Нечерноземья.

Методы, методики и материалы работы

В ходе многолетних исследований выявлялись биохимические особенности биомассы фоновых видов растений различных семейств: определялась активность пероксидазы, каталазы, полифенолоксидазы в биомассе с использованием спектрофотометрического метода [1, 5].

В исследованиях использовано 7 фоновых видов растений, произрастающих в первой и второй зоне санитарной охраны родников в соответствующих местообитаниях: 1. *Agrostis stolonifera* L., 2. *Scirpus sylvaticus* L. 3. *Rorippa amphibia* (L.) Bess., 4. *Alisma plantago-aquatica* L., 5. *Lycopus europaeus* L., 6. *Leptodictyum riparium* (Schimp.) Warnst., 7. *Marchantia polymorpha* L.

Для сбора биоматериала определили родниковые урочища, выделенные по ландшафтному признаку и степени антропогенной нагрузки; учитывали и рекомендации о классификациях и критериях деления зарубежных и российских авторов [6]. Группы родниковых урочищ (РУ) по степени антропогенной нагрузки [6]:

1 РУ, испытывающие интенсивную антропогенную нагрузку. 1.1 «придорожные» родники, расположенные вблизи автострад, каптированы. Хи-

мические показатели вод отличаются от нормативных: родник г. Брянск, памятник Болгарским патриотам; родник на трассе с. Нов.Халеевичи Стародубский район; Мякишевский Родник, Выгоничский район; родник у д. Тельча, Клетнянский район; родник у д. Новые Ивайтёнки. 1.2 РУ, на которых соорудили запруды для создания искусственных водных объектов; родники староосвоенных сельскохозяйственных земель: испытывают пасторальную, рекреационную нагрузку, часто каптированы; к этим родникам относят родники, расположенные в сельских населённых пунктах, на территориях с интенсивным земледелием. Исследования на родниках: родник в пос. Коммуна Пчела, Брасовский район, родник дер. Рясники, Карачевский район; родник с. Голубея, Дубровский район; родник д. Игрушино, Почепский район; родник д. Никольская Слобода, Жуковский район; родник с. Супонево, ул. Тимоновская, Брянский район.

2 РУ, в значительной степени испытывающие антропогенную нагрузку, расположены в населённом пункте (крупном или среднем) или в радиусе 1,5-2 км от него, часто каптированы, имеют рекреационное значение, историческое, культурное. Исследования осуществлялись: родник в лесопарке Роща Соловьи, г. Брянск; родник Подарь, родник Белая гора, г. Брянск, родник пос. Чайковичи, г. Брянск; родник пгт Выгоничи, Выгоничский район; родник в парке Звёздный, г. Брянск

3 РУ, испытывающие слабое влияние антропогенной нагрузки, к которым относятся родники в лесу, в балках, пластовые выходы подземных вод, родниковые урочища обладают высокой эстетической ценностью: родник д. Ольгино, Комаричский район; родник Серебряный ключ, д. Ст. Кисловка, Суражский район; родники у д. Радутино, Трубчевский район.

4 РУ, испытывающие среднюю антропогенную нагрузку, к группе отнесли родники культовых мест – удалённых монастырей, церковных комплексов, родники всегда каптированы: родник мучеников Фрола и Лавра, с. Рёвны, Навлинский район; родник Знамение, ур. Рясник, Рогнединский район.

Результаты работы и обсуждение

Биохимический анализ фоновых видов растений природниковых урочищ в целях биоиндикации осуществлён по показателям пероксидазы, каталазы и полифенолоксидазы в фитомассе фоновых представителей природниковых сообществ.

В таблице 1 приведены результаты исследований на содержание в пробе пероксидазы в биомассе модельных растений, которые могут служить биоиндикаторами качества вод (и грунта) в условиях Брянской области.

Результаты обобщены за период исследований 2021-2023 гг. Для исследований подбирались родниковые урочища, в сообществах которых присутствовали фоновые виды травянистых растений – из отдела цветковых, мохообразных: Учитывая фоновую встречаемость видов в природниковых сообществах, реакция их на стрессовые условия может быть использована для биотестирования при установлении антропогенной нагрузки.

Таблица 1.

Средние значения содержания пероксидазы в фитомассе травянистых растений природниковых урочищ в условиях Брянской области

№ п/п	Растения	Содержание (M± m) пероксида- зы, мкмоль/г мин на сыр. массу		Коэффици- ент устой- чивости (КУ)
		Родник д. Ольгино (Комаричский район)	опыт	
1 Родниковые урочища, испытывающие интенсивную антропогенную нагрузку				
1	<i>Agrostis stolonifera</i>	2,29±0,07	5,50±2,5	2,40
2	<i>Scirpus sylvaticus</i>	2,08±0,06	4,90±2,5	2,36
3	<i>Rorippa amphibia</i>	1,80±0,05	4,20±2,3	2,33
4	<i>Alisma plantago-aquatica</i>	1,62±0,08	3,68±3,1	2,27
5	<i>Lycopus europaeus</i>	1,40±0,07	1,80±1,2	1,29
6	<i>Leptodictyum riparium</i> .	1,30±0,08	1,60±2,3	1,23
7	<i>Marchantia polymorpha</i>	1,10±0,10	1,30±3,0	1,18
2 Родниковые урочища, в значительной степени испытывающие антропоген- ную нагрузку				
1	<i>Agrostis stolonifera</i>	2,29±0,07	4,58±0,02	2,00
2	<i>Scirpus sylvaticus</i>	2,08±0,06	3,95±0,02	1,89
3	<i>Rorippa amphibia</i>	1,80±0,05	3,06±0,04	1,70
4	<i>Alisma plantago-aquatica</i>	1,62±0,08	2,50±0,05	1,54
5	<i>Lycopus europaeus</i>	1,40±0,07	1,71±0,05	1,22
6	<i>Leptodictyum riparium</i> .	1,30±0,08	1,51±0,06	1,16
7	<i>Marchantia polymorpha</i>	1,10±0,10	1,24±0,08	1,13
1.2 Родниковые урочища староосвоенных сельскохозяйственных земель				
1	<i>Agrostis stolonifera</i>	2,29±0,07	4,31±0,02	1,88
2	<i>Scirpus sylvaticus</i>	2,08±0,06	3,64±0,02	1,75
3	<i>Rorippa amphibia</i>	1,80±0,05	2,98±0,04	1,66
4	<i>Alisma plantago-aquatica</i>	1,62±0,08	2,35±0,05	1,45
5	<i>Lycopus europaeus</i>	1,40±0,07	1,63±0,05	1,16
6	<i>Leptodictyum riparium</i> .	1,30±0,08	1,48±0,06	1,14
7	<i>Marchantia polymorpha</i>	1,10±0,10	1,21±0,08	1,10

На рисунке 1 отражены обобщённые средние значения активности пероксидазы в фитомассе прибрежно-водных растений разных систематических групп на примере местообитаний родниковых урочищ (РУ), испытывающих интенсивную антропогенную нагрузку и контроля. Выявляется ряд по степени увеличения активности аминокислоты в биомассе побегов модельных растений, а, следовательно, и возрастание устойчивости к стрессам.

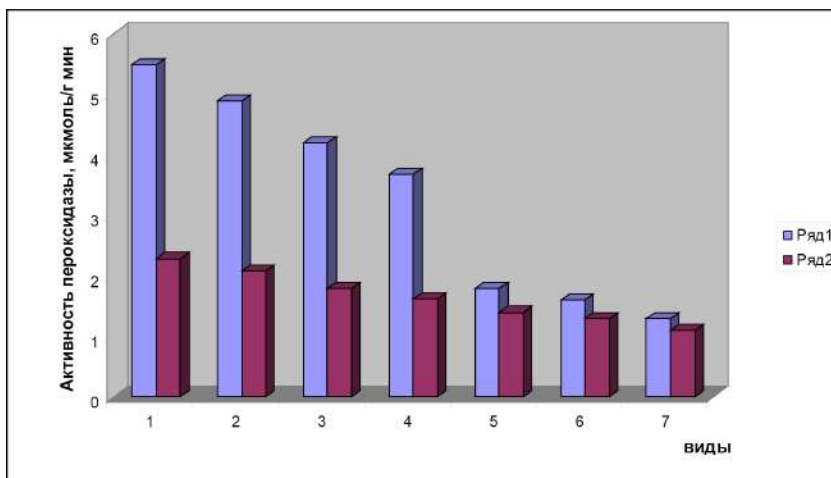


Рис. 1. Активность пероксидазы (мкмоль/г мин на сырую массу) в фитомассе растений в различных по антропогенной нагрузке родниковых урочищ

Примечание: **Ряд 1 (местообитание: родники, испытывающие интенсивную антропогенную нагрузку):** 1. *Agrostis stolonifera* L., 2. *Scirpus sylvaticus* L. 3. *Rorippa amphibia* (L.) Bess., 4. *Alisma plantago-aquatica* L., 5. *Lycopus europaeus* L., 6. *Leptodictyum riparium* (Schimp.) Warnst., 7. *Marchantia polymorpha* L.

Ряд 2 (контроль- родник у д. Ольгино): 1. *Agrostis stolonifera* L., 2. *Scirpus sylvaticus* L. 3. *Rorippa amphibia* (L.) Bess., 4. *Alisma plantago-aquatica* L., 5. *Lycopus europaeus* L., 6. *Leptodictyum riparium* (Schimp.) Warnst., 7. *Marchantia polymorpha* L.

Для местообитаний РУ прибрежно-водные цветковые растения и мохообразные распределены по ряду чувствительности к общей антропогенной нагрузке, в том числе и по химическому загрязнению вод по степени уменьшения пероксидазы: *Agrostis stolonifera* < *Scirpus sylvaticus* < *Rorippa amphibia* < *Alisma plantago-aquatica* < *Lycopus europaeus* < *Leptodictyum riparium* < *Marchantia polymorpha*. Аналогичные тенденции отмечены для растений из других местообитаний в РУ.

Анализ результатов исследований показал, что активность пероксидазы в фитомассе растений семейства Злаковые (*Agrostis stolonifera*, *Scirpus sylvaticus*) во всех местообитаниях РУ, различных по степени антропогенной нагрузки, в том числе и по химическому состоянию вод, достоверно выше контроля в 1,10-2,40 раза ($t_{\text{факт}} > t_{\text{табл}}$, $P=99\%$). На рисунке 2 показано, что максимальная средняя активность пероксидазы отмечена в местообитаниях родников испытывающих интенсивную антропогенную нагрузку («придорожные» родники, расположенные вблизи автострад, в том числе и родники городов) (3,28 мкмоль/г мин).

На рисунке 2 показана средняя активность пероксидазы в побеговой биомассе растений различных систематических групп, произрастающих в местообитаниях трёх основных типов.

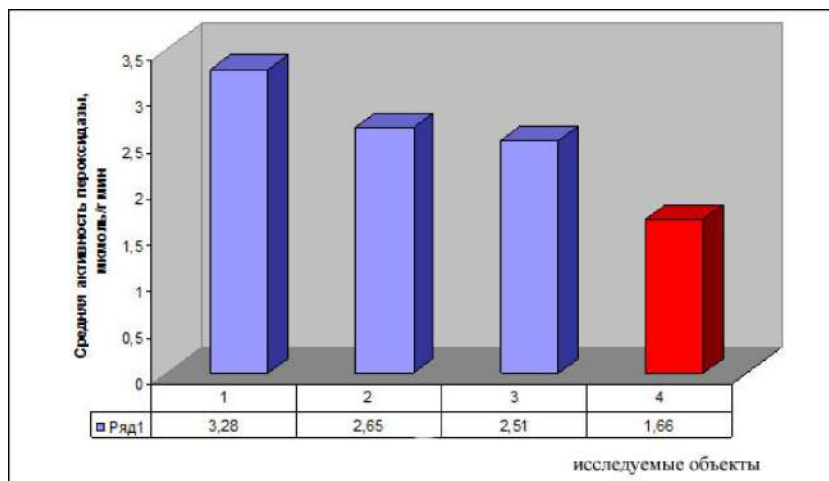


Рис. 2. Средняя активность пероксидазы фоновых видов растений в местообитаниях 3-х групп родниковых урочищ

Примечание: 1 – 1 Родниковые урочища (РУ), испытывающие интенсивную антропогенную нагрузку, 2 - 2 РУ, в значительной степени испытывающие антропогенную нагрузку, 3- 1.2 РУ староосвоенных сельскохозяйственных земель, 4 – контроль

Составлен ряд районов по степени уменьшения КУ по активности аминокислоты в биомассе травянистых растений в местообитаниях 3-х групп родниковых урочищ: РУ, испытывающие интенсивную антропогенную нагрузку > РУ, в значительной степени испытывающие антропогенную нагрузку > РУ староосвоенных сельскохозяйственных земель (рисунок 3).

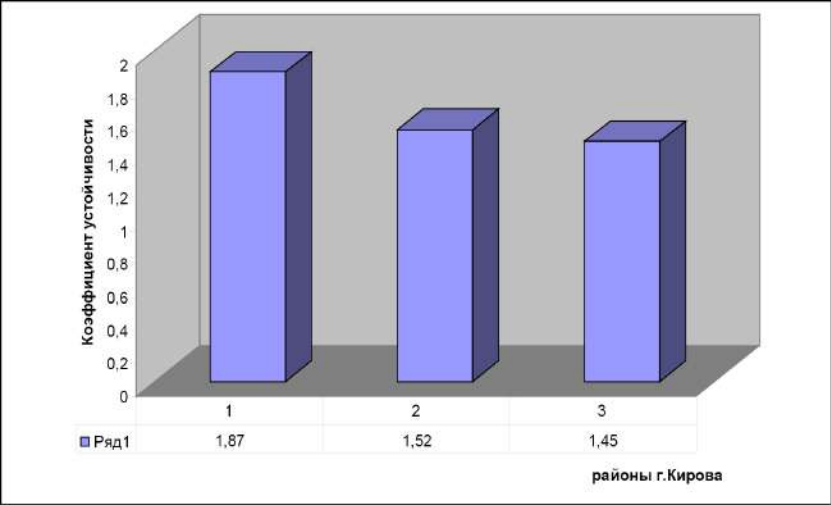


Рис. 3. Коеффициент устойчивости (КУ) (по активности пероксидазы) травянистых растений в местообитаниях 3-х групп родниковых урочищ
Примечание: 1 – 1 РУ, испытывающие интенсивную антропогенную нагрузку, 2 - 2 РУ, в значительной степени испытывающие антропогенную нагрузку, 3- 1.2 РУ староосвоенных сельскохозяйственных земель

Анализ активности каталазы в фитомассе фоновых видов растений в природниковых урочищах показал значительную динамику показателей. В таблице 2 приведены результаты исследований на содержание в пробах биомассы травянистых растений каталазы в местообитаниях 3-х групп РУ (рисунок 4).

Таблица 2.
Средние значения содержания в пробе каталазы в фитомассе травянистых растений природниковых урочищ в условиях Брянской области

№ п/п	Растения	Активность каталазы ((M± m), мкмоль O ² / г мин на сыр. массу		Коэффициент устойчивости (КУ)
		Родник д. Ольгино (Комаричский район), контроль	опыт	
1 Родниковые урочища, испытывающие интенсивную антропогенную нагрузку				
1	<i>Agrostis stolonifera</i>	7,2±0,07	4,8±2,5	1,50
2	<i>Scirpus sylvaticus</i>	8,1±0,06	6,18±2,5	1,31
3	<i>Rorippa amphibia</i>	17,4±0,05	13,49±2,3	1,29

4	<i>Alisma plantago-aquatica</i>	19,8±0,08	15,97±3,1	1,24
5	<i>Lycopus europaeus</i>	21,6±0,07	18,15±1,2	1,19
6	<i>Leptodictyum riparium</i>	26,7±0,08	23,84±2,3	1,12
7	<i>Marchantia polymorpha</i>	23,5±0,10	20,08±3,0	1,17
2 Родниковые урочища, в значительной степени испытывающие антропогенную нагрузку				
1	<i>Agrostis stolonifera</i>	7,2±0,07	5,07	1,45
2	<i>Scirpus sylvaticus</i>	8,1±0,06	6,28	1,29
3	<i>Rorippa amphibia</i>	17,4±0,05	14,15	1,23
4	<i>Alisma plantago-aquatica</i>	19,8±0,08	16,78	1,18
5	<i>Lycopus europaeus</i>	21,6±0,07	18,78	1,15
6	<i>Leptodictyum riparium</i>	26,7±0,08	24,42	1,04
7	<i>Marchantia polymorpha</i>	23,5±0,10	21,17	1,11
1.2 Родниковые урочища староосвоенных сельскохозяйственных земель				
1	<i>Agrostis stolonifera</i>	7,2±0,07	5,26	1,37
2	<i>Scirpus sylvaticus</i>	8,1±0,06	6,53	1,24
3	<i>Rorippa amphibia</i>	17,4±0,05	14,50	1,20
4	<i>Alisma plantago-aquatica</i>	19,8±0,08	17,06	1,16
5	<i>Lycopus europaeus</i>	21,6±0,07	19,12	1,13
6	<i>Leptodictyum riparium</i>	26,7±0,08	25,19	1,05
7	<i>Marchantia polymorpha</i>	23,5±0,10	21,96	1,07

На рисунке 4 показана активность каталазы в фитомассе растений на примере РУ, испытывающих интенсивную антропогенную нагрузку и контроля. Выявляется ряд по степени уменьшения активности аминокислоты в побеговой биомассе растений (обратная зависимость), а, следовательно, и возрастание устойчивости к стрессам.

Для изучаемых местообитаний составлен ряд чувствительности растений к изменению состояний местообитаний по степени увеличения каталазы (активности каталазы): *Agrostis stolonifera* > *Scirpus sylvaticus* > *Rorippa amphibia* > *Alisma plantago-aquatica* > *Lycopus europaeus* > *Leptodictyum riparium* > *Marchantia polymorpha*. Аналогичные тенденции отмечены для растений во всех изученных местообитаниях природниковых урочищ.

На рисунке 5 отражены коэффициенты устойчивости (КУ, по активности каталазы) видов травянистых растений, произрастающей в 3-х местообитаниях природниковых урочищ.

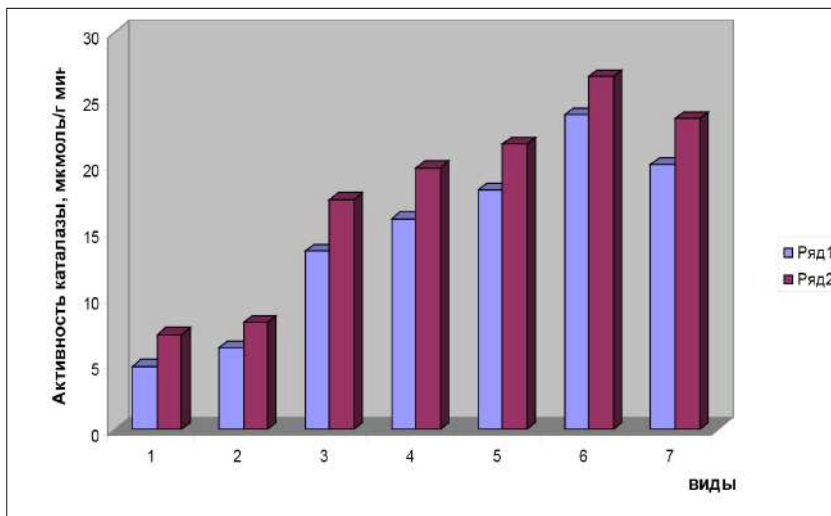


Рис. 4. Активность каталазы (мкмоль O_2 /г мин на сыр. массу) в фитомассе растений в различных по антропогенной нагрузке родниковых урочищах

Примечание: **Ряд 1** (Родниковые урочища, испытывающие интенсивную антропогенную нагрузку): 1. *Agrostis stolonifera* L., 2. *Scirpus sylvaticus* L. 3. *Rorippa amphibia* (L.) Bess., 4. *Alisma plantago-aquatica* L., 5. *Lycopus europaeus* L., 6. *Leptodictyum riparium* (Schimp.) Warnst., 7. *Marchantia polymorpha* L. **Ряд 2 (контроль, родник д. Ольгино):** 1. *Agrostis stolonifera* L., 2. *Scirpus sylvaticus* L. 3. *Rorippa amphibia* (L.) Bess., 4. *Alisma plantago-aquatica* L., 5. *Lycopus europaeus* L., 6. *Leptodictyum riparium* (Schimp.) Warnst., 7. *Marchantia polymorpha* L.

По степени уменьшения КУ активности аминокислоты в биомассе травянистых растений для 3-х групп родниковых урочищ составлен следующий ряд: РУ, испытывающие интенсивную антропогенную нагрузку > РУ, в значительной степени испытывающие антропогенную нагрузку > РУ староосвоенных сельскохозяйственных земель (рисунок 5).

Анализ результатов (рисунок 6) исследований показал, что содержание каталазы в побеговой массе фоновых видов растений во всех 3-х групп местообитаний ручьев и родников достоверно ниже контроля в 1,07-1,50 раза ($t_{\text{факт}} > t_{\text{табл}}$, $P=99,9\%$). Максимальная концентрация отмечена в местообитаниях РУ староосвоенных сельскохозяйственных земель (15,66%), минимальная в местообитаниях РУ, испытывающие интенсивную антропогенную нагрузку (14,64%).

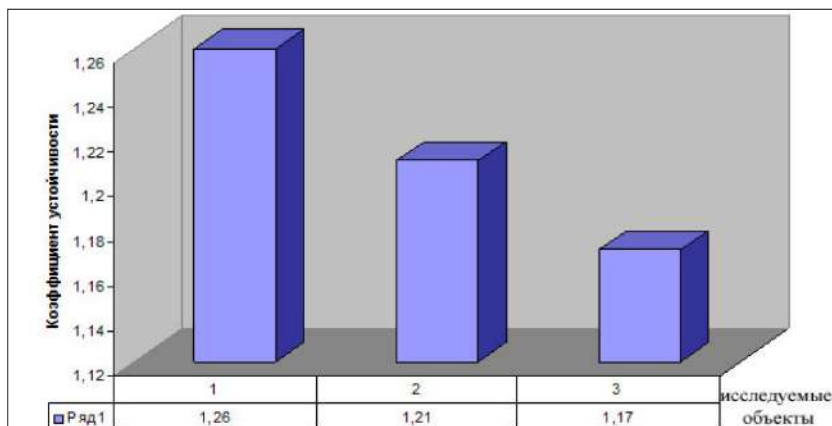


Рис. 5. Коэффициент устойчивости (по активности каталазы, мкмоль O^2 / г мин на сыр. массу) травянистых растений в местообитаниях 3-х групп родниковых урочищ

Примечание: 1 – 1 РУ, испытывающие интенсивную антропогенную нагрузку, 2 - 2 РУ, в значительной степени испытывающие антропогенную нагрузку, 3 - 1.2 РУ староосвоенных сельскохозяйственных земель

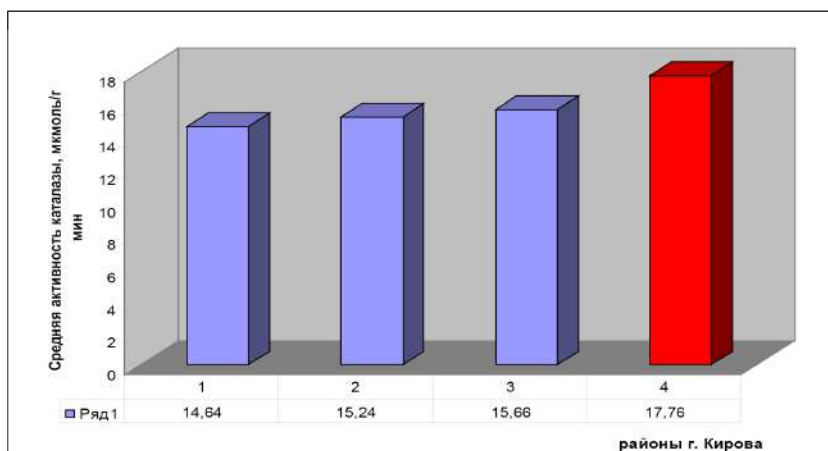


Рис. 6. Средняя активность каталазы, мкмоль O^2 / г мин на сыр. массу) травянистых растений в местообитаниях 3-х групп родниковых урочищ

Примечание: 1 – 1 РУ, испытывающие интенсивную антропогенную нагрузку, 2 - 2 РУ, в значительной степени испытывающие антропогенную нагрузку, 3- 1.2 РУ староосвоенных сельскохозяйственных земель, 4 - контроль

Составлен ряд районов по степени увеличения средней активности аминокислоты в биомассе фоновых растений в местообитаниях 3-х групп родниковых урочищ: РУ, испытывающие интенсивную антропогенную нагрузку > РУ, в значительной степени испытывающие антропогенную нагрузку > РУ староосвоенных сельскохозяйственных земель.

Анализ активности полифенолоксидазы фоновых травянистых растений природниковых урочищ с различной антропогенной нагрузкой показал результаты, которые согласуются с рядом исследований отечественных авторов. В таблице 3 приведены результаты исследований на содержание полифенолоксидазы в пробах побеговой биомассы в условиях местообитаний, различающихся по антропогенной нагрузке (рисунок 7).

Таблица 3.

Средние значения содержания в пробе полифенолоксидазы в биомассе травянистых растений в местообитаниях 3-х групп родниковых урочищ

№ п/п	Растения	Содержание (М± m) полифенолоксидазы, мкмоль/ г мин на сыр. массу		Коэффициент устойчивости (КУ)
		Родник д. Ольгино (Комаричский район) контроль	опыт	
1 Родниковые урочища, испытывающие интенсивную антропогенную нагрузку				
1	<i>Agrostis stolonifera</i>	0,5±0,07	0,7±2,5	1,40
2	<i>Scirpus sylvaticus</i>	0,71±0,06	0,98±2,5	1,38
3	<i>Rorippa amphibia</i>	1,2±0,02	1,55±2,3	1,29
4	<i>Alisma plantago-aquatica</i>	1,1±0,1,108	1,45±3,1	1,32
5	<i>Lycopus europaeus</i>	0,94±0,07	1,25±1,2	1,33
6	<i>Leptodictyum riparium</i> .	1,5±0,08	1,80±2,3	1,20
7	<i>Marchantia polymorpha</i>	1,3±0,10	1,63±3,0	1,25
2 Родниковые урочища, в значительной степени испытывающие антропогенную нагрузку				
1	<i>Agrostis stolonifera</i>	0,5±0,07	0,68±0,02	1,36
2	<i>Scirpus sylvaticus</i>	0,71±0,06	0,94±0,02	1,30
3	<i>Rorippa amphibia</i>	1,2±0,02	1,50±0,04	1,25
4	<i>Alisma plantago-aquatica</i>	1,1±0,1,108	1,41±0,05	1,28
5	<i>Lycopus europaeus</i>	0,94±0,07	1,22±0,05	1,30
6	<i>Leptodictyum riparium</i> .	1,5±0,08	1,78±0,06	1,19
7	<i>Marchantia polymorpha</i>	1,3±0,10	1,56±0,08	1,20
1.2 Родниковые урочища староосвоенных сельскохозяйственных земель				
1	<i>Agrostis stolonifera</i>	0,5±0,07	0,65±0,02	1,30
2	<i>Scirpus sylvaticus</i>	0,71±0,06	0,90±0,02	1,27
3	<i>Rorippa amphibia</i>	1,2±0,02	1,43±0,04	1,19
4	<i>Alisma plantago-aquatica</i>	1,1±0,1,108	1,33±0,05	1,21
5	<i>Lycopus europaeus</i>	0,94±0,07	1,18±0,05	1,25
6	<i>Leptodictyum riparium</i> .	1,5±0,08	1,52±0,06	1,14
7	<i>Marchantia polymorpha</i>	1,3±0,10	1,71±0,08	1,17

На рисунке 7 показана активность полифенолоксидазы в фитомассе травянистых растений в местообитаниях 3-х групп родниковых урочищ на примере местообитаний ручьёв и ключей, испытывающих интенсивную антропогенную нагрузку и контроля. Выявляется ряд по степени увеличения содержания аминокислоты в побеговой биомассе растений, а, следовательно, и возрастание устойчивости к стрессам.

Для местообитаний родников с интенсивной антропогенной нагрузкой зафиксирован следующий ряд чувствительности фоновых видов травянистых растений к значительной антропогенной нагрузке, в том числе и химическому загрязнению вод, основанной на степени уменьшения активности полифенолоксидазы: *Agrostis stolonifera* < *Scirpus sylvaticus* < *Rorippa amphibia* < *Alisma plantago-aquatica* < *Lycopus europaeus* < *Leptodictyum riparium* < *Marchantia polymorpha*. В других местообитаниях наблюдалась подобная ситуация.

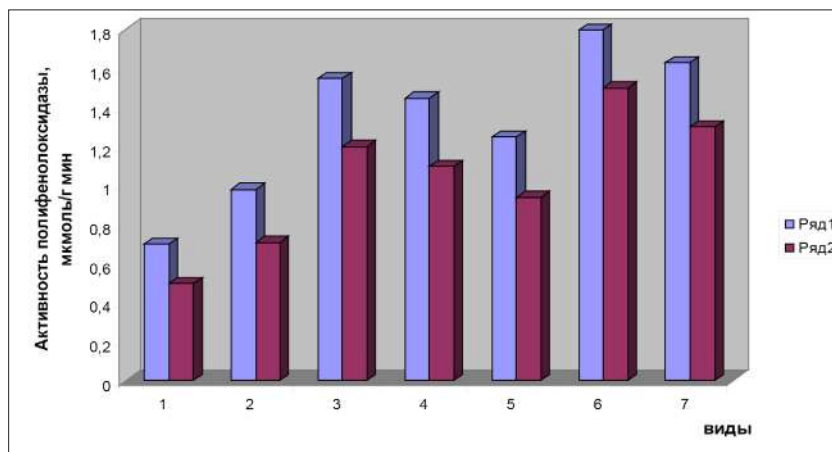


Рис. 7. Активность полифенолоксидазы (мкмоль/г мин на сырую массу) в фитомассе травянистых растений в местообитаниях 3-х групп родниковых урочищ

Примечание: Ряд 1(1 Родниковые урочища, испытывающие интенсивную антропогенную нагрузку): 1. *Agrostis stolonifera* L., 2. *Scirpus sylvaticus* L. 3. *Rorippa amphibia* (L.) Bess., 4. *Alisma plantago-aquatica* L., 5. *Lycopus europaeus* L., 6. *Leptodictyum riparium* (Schimp.) Warnst., 7. *Marchantia polymorpha* L.

Ряд 2 (контроль – родник д. Ольгино, Комаричский район): 1. *Agrostis stolonifera* L., 2. *Scirpus sylvaticus* L. 3. *Rorippa amphibia* (L.) Bess., 4. *Alisma plantago-aquatica* L., 5. *Lycopus europaeus* L., 6. *Leptodictyum riparium* (Schimp.) Warnst., 7. *Marchantia polymorpha* L.

На рисунке 8 показаны коэффициенты устойчивости (по активности полифенолоксидазы) видов травянистых растений в местообитаниях 3-х групп родниковых урочищ.

Максимальный КУ характерен для района родниковых урочищ, испытывающих интенсивную антропогенную нагрузку и составил 1,31, а минимальный КУ отмечен для местообитаний родниковых урочищ староосвоенных сельскохозяйственных земель – 1,22. Таким образом КУ увеличивается с усилением антропогенного воздействия (сочетанного), в том числе и загрязнения вод ручьёв и ключей.

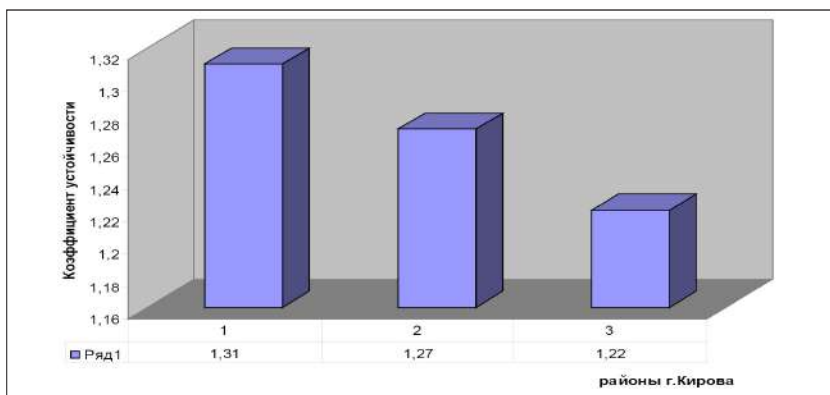


Рис. 8. Коэффициент устойчивости

(по активности полифенолоксидазы, мкмоль/г мин на сырую массу) травянистых растений в местообитаниях 3-х групп родниковых урочищ

Примечание: 1 – 1 РУ, испытывающие интенсивную антропогенную нагрузку, 2 - 2 РУ, в значительной степени испытывающие антропогенную нагрузку, 3- 1.2 РУ староосвоенных сельскохозяйственных земель

Составлен ряд по степени уменьшения средней активности аминокислоты в биомассе фоновых видов травянистых растений характерных 3-х групп родниковых урочищ: 1 РУ, испытывающие интенсивную антропогенную нагрузку > 2 РУ, в значительной степени испытывающие антропогенную нагрузку > 1.2 РУ староосвоенных сельскохозяйственных земель (рисунок 9).

Важно отметить, что активность полифенолоксидазы в побеговой биомассе фоновых видов растений в местообитаниях 3-х групп родниковых урочищ достоверно выше контроля в 1,14-1,40 раза ($t_{\text{факт}} > t_{\text{табл}}$, $P=99,9\%$). Максимальная активность отмечена в местообитаниях РУ, испытывающих

интенсивную антропогенную нагрузку (1,34), минимальная для местообитаний родниковых урочищ староосвоенных сельскохозяйственных земель (1,25). Однако самая минимальная активность аминокислоты встречалась в контроле (1,04).

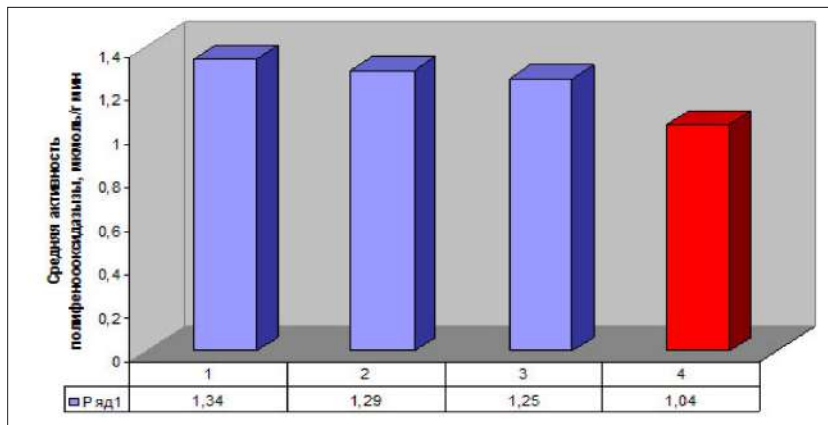


Рис. 9. Средняя активность полифенолоксидазы, мкмоль/г мин на сырую массу) травянистых растений в местообитаниях 3-х групп родниковых урочищ

Примечание: 1 – 1 Родниковые урочища, испытывающие интенсивную антропогенную нагрузку, 2 - 2 Родниковые урочища, в значительной степени испытывающие антропогенную нагрузку, 3 - 1.2 Родниковые урочища староосвоенных сельскохозяйственных земель, 4- контроль

Полученные результаты исследования показали, что фоновые виды прибрежно-водных растений природниковых урочищ испытывают существенное влияние сочетанной антропогенной нагрузки, в том числе и загрязнения вод из различных источников. В данных условиях у фоновых видов растений наблюдается увеличение активности пероксидазы и полифенолоксидазы и уменьшение активности каталазы. Во всех местообитаниях 3-х групп РУ с повышенным давлением антропогенного фактора, загрязнением вод активность ферментов достоверно выше контроля. Зафиксирована видовая резистентность растений на химическое загрязнение.

Полученные результаты согласуются для ряда видов макрофитов, полученных зарубежными исследователями, которые показали большее накопление АСм в побеговой биомассе растений по сравнению с корневой частью [11, 21]. Для настоящей работы по биохимическим особенностям прибрежно-водных и водных видов ручьев и родников в Нечерноземье РФ

можно считать выявленные показатели общей реакцией на антропогенный стресс и преобразование местообитаний, тогда как в большинстве работ показатели активности оксидоредуктаз выявлялись в связи с ответной реакцией на воздействие тяжёлых металлов [12, 21-23]. Для водно-болотных угодий также как и для местообитаний ручьёв и родников авторы выявили наибольшую активность пероксидазы у представителей семейства Злаковые [15]. Таким образом биохимические особенности (по биохимической антиоксидантной системе) прибрежно-водных и водных растений РУ можно использовать для проспективного биомониторинга состояния родников, в связи с соответствием численных значений активности оксидоредуктаз для модельных растений, в том числе и наземно-воздушной среды обитания, в разных географических условиях.

Выводы

1. Установлено, что антропогенное загрязнение оказывает существенное влияние на изменение содержание биологически активных веществ – индикаторов стресса. В побеговой массе фоновых видов растений родниковых урочищ по сравнению с контролем увеличено содержание (активность) полифенолоксидазы, пероксидазы, уменьшение концентрации (активности) каталазы ($t_{\text{факт}} > t_{\text{табл}}$, $P=99\%$). Вероятно, увеличение содержания биологически активных веществ в клетках растений увеличивает адаптацию растений к стрессам, но указывает на снижение устойчивости к загрязнению.

2. Установлены ряды чувствительности видов модельных растений к сочетанной антропогенной нагрузке. Ряд чувствительности фоновых видов травянистых растений к значительной антропогенной нагрузке, в том числе и химическому загрязнению вод, основанной на степени уменьшения активности полифенолоксидазы: *Agrostis stolonifera* < *Scirpus sylvaticus* < *Rorippa amphibia* < *Alisma plantago-aquatica* < *Lycopus europaeus* < *Leptodictyum riparium* < *Marchantia polymorpha*. Ряд чувствительности растений к стрессовым факторам по степени увеличения каталазы (активности каталазы): *Agrostis stolonifera* > *Scirpus sylvaticus* > *Rorippa amphibia* > *Alisma plantago-aquatica* > *Lycopus europaeus* > *Leptodictyum riparium* > *Marchantia polymorpha*. Ряд чувствительности к общей антропогенной нагрузке, в том числе и по химическому загрязнению вод по степени уменьшения пероксидазы: *Agrostis stolonifera* < *Scirpus sylvaticus* < *Rorippa amphibia* < *Alisma plantago-aquatica* < *Lycopus europaeus* < *Leptodictyum riparium* < *Marchantia polymorpha*.

3. Доказана видовая резистентность растений на химическое загрязнение.

4. Полученные результаты исследования показали, что фоновые виды прибрежно-водных растений природниковых урочищ испытывают существенное влияние сочетанной антропогенной нагрузки, в том числе и загрязнения вод из различных источников. Используя фоновые виды растений, можно установить на биохимическом уровне биообъектов, состояние биоты природниковых урочищ.

Список литературы

1. Воскресенская О.Л. Большой практикум по биоэкологии. Часть I. Йошкар-Ола, 2006. 107 с.
2. Колупаев Ю.Е., Рябчун Н.И., Вайнер А.А. и др. Активность антиоксидантных ферментов и содержание осмолитов в проростках озимых злаков при закаливании и криострессе // Физиология растений. 2015. Т. 62. № 4. С. 533-541.
3. Никерова К.М., Галибина Н.А. Влияние нитратного азота на пероксидазную активность в тканях *Betula pendula* var. *carelica* (Mercklin) // Сибирский лесной журнал. 2017. № 1. С. 15-24.
4. Рогожин В.В. Пероксидаза как компонент антиоксидантной системы живых организмов. СПб.: ГИОРД, 2004. 240 с.
5. Рогожин В.В., Рогожина Т.В. Практикум по физиологии и биохимии растений. СПб.: ГИОРД, 2013. 352 с.
6. Соболева О.А., Анищенко Л.Н. Комплексная оценка родниковых вод Брянской области в системе государственного мониторинга // Вестник РУДН. Серия Экология и безопасность жизнедеятельности. 2022. Т. 30. № 2. С. 127-142.
7. Anishchenko L.N, Borzdyko E.V., Dolganova M.V., Moskalenko I.V., Avramenko M.V. Biochemical indicators of woody plants in the diagnosis of air condition // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2022. Vol. 962, 012005. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/962/1/012005>
8. Anu Geetham Pkm, Malarvizhi A. Efficacy of the solvents on the phytochemical load and polyphenol content of the aquatic plant *azollamicrophylla* // Asian Journal of Pharmaceutical and Clinical Research. 2022. Vol. 15(6). <https://doi.org/10.22159/ajpcr.2022.v15i6.43386>
9. Inelova Z., Zayadan B., Zapparina Y., Aitzhan M., BOROS E. Perspectives for the application of aquatic and semi-aquatic plants in biomonitoring of freshwater, saline and soda aquatic ecosystems // Pak. J. Bot. 2023. Vol. 55(3). P. 1099-1115. [https://doi.org/10.30848/PJB2023-3\(33\)](https://doi.org/10.30848/PJB2023-3(33))

10. Fahad S., Saud S., Chen Y., Wu C., Wang D. Abiotic Stress in Plants. BoD-Books on Demand. Nordstedt, Germany, 2021. 494 p.
11. Goncharuk E. A., Zagorskina N. V. Heavy Metals, Their Phytotoxicity, and the Role of Phenolic Antioxidants in Plant Stress Responses with Focus on Cadmium: Review // *Molecules*. 2023. Vol. 28(9), 3921. <https://doi.org/10.3390/molecules28093921>
12. Kapoor D., Singh S., Kumar V., Romero R., Prasad R., Singh J. Antioxidant enzymes regulation in plants in reference to reactive oxygen species (ROS) and reactive nitrogen species (RNS) // *Plant Gene*. 2019. Vol. 19, 100182. <https://doi.org/10.1016/j.plgene.2019.100182>
13. Kaur M., Nagpal A.K., Evaluation of air pollution tolerance index and anticipated performance index of plants and their application in development of green space along the urban areas // *Environmental Science and Pollution Research*. 2017. Vol. 24(23). P. 18881-18895. <https://doi.org/10.1007/s11356-017-9500-9>
14. Kwak M. J., Lee J.K., Park S., Lim Y.J., Kim H., Nam Kim K.N., Je S.M., Park C.R. and Woo S.Y. Evaluation of the Importance of Some East Asian Tree Species for Refinement of Air Quality by Estimating Air Pollution Tolerance Index, Anticipated Performance Index, and Air Pollutant Uptake // *Sustainability*. 2020. Vol. 12, 3067. <https://doi.org/10.3390/su12073067>
15. Maksimović T., Hasanagić D., Samelak I., Kukavica B. Class III peroxidase and polyphenol oxidase activities in aquatic macrophytes during vegetative period in Bardača a wetland // *International Journal of Limnology*. 2022. **Vol.** 58. <https://doi.org/10.1051/limn/2022009>
16. Manquían-Cerda K., Cruces E., Escudey M., Zúñiga G., Calderón R. Interactive effects of aluminum and cadmium on phenolic compounds, antioxidant enzyme activity and oxidative stress in blueberry (*Vaccinium corymbosum* L.) plantlets cultivated in vitro // *Ecotoxicol. Environ. Saf.* 2018. Vol. 150. P. 320-326. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2017.12.050>
17. Molnár V.E., Tóthmérész B., Szabó S., Simon E. Pollution assessment in urban areas using air pollution tolerance index of tree species // *Air Pollution XXVI. WIT Transactions on Ecology and the Environment*. 2018. Vol 230. P. 367-374. <https://doi.org/10.2495/AIR180341>
18. Nowak D.J., Hirabayashi S., Doyle M., McGovern M., Pasher J. Air pollution removal by urban forests in Canada and its effect on air quality and human health // *Urban Forestry & Urban Greening*. 2018. Vol. 29. P. 40-48. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2017.10.019>
19. Hasanuzzaman M., Bhuyan M.H.M.B., Zulfiqar F., Raza A., Mohsin S.M., Mahmud J.A., Fujita M., Fotopoulos V. Reactive oxygen species and antioxidant defense in

- plants under abiotic stress: Revisiting the crucial role of a universal defense regulator // *Antioxidants*. 2020. Vol. 9. P. 681. <https://doi.org/10.3390/antiox9080681>
20. Han D. Shen H., Duan W., Chen L. A review on particulate matter removal capacity by urban forests at different scales // *Urban Forestry & Urban Greening*. 2019. Vol. 48, 126565. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2019.126565>
21. Oyareme V., Osaji E.I.O. The Effects and Level of Catalase Enzyme Activity in Different Species of Aquatic Macrophytes and Their Families in Two Different Locations in Niger Delta, (Ikpoba River in Benin-City and Ethiopie River in Abraka), Nigeria // *Open Access Library Journal*. 2021. Vol. 8. P. 1-11. <https://doi.org/10.4236/oalib.1107368>
22. Zaghoul A., Saber M., Gadow S., Fikry A. Biological Indicators for Pollution Detection in Terrestrial and Aquatic Ecosystems // *Bulletin of the National Research Centre*. 2020. Vol. 44. Article number: 127. <https://doi.org/10.1186/s42269-020-00385-x>
23. Zhang P., Liu Y., Chen X., Yang Z., Zhu M. & Li Y. Pollution resistance assessment of existing landscape plants on Beijing streets based on air pollution tolerance index method // *Ecotoxicology and Environmental Safety*. 2016. Vol. 132. P. 212-223.

References

1. Voskresenskaya O.L. *Bol'shoy praktikum po bioekologii* [Large workshop on bioecology]. Part I. Yoshkar-Ola, 2006, 107 p.
2. Kolupaev Yu.E., Ryabchun N.I., Vayner A.A. et al. Aktivnost' antioksidantnykh fermentov i sodержanie osmolitov v prorostkakh ozimyykh zlakov pri zakalivanii i kriostresse [Activity of antioxidant enzymes and osmolyte content in winter cereal seedlings during hardening and cryostr]. *Fiziologiya rasteniy*, 2015, vol. 62, no. 4, pp. 533-541.
3. Nikerova K.M., Galibina N.A. Vliyanie nitratnogo azota na peroksidaznuyu aktivnost' v tkanyakh Betula pendula var.carelica (Mercklin) [Effect of nitrate nitrogen on peroxidase activity in tissues of Betula pendula var.carelica (Mercklin)]. *Sibirskiy lesnoy zhurnal*, 2017, no. 1, pp. 15-24.
4. Rogozhin V.V. *Peroksidaza kak komponent antioksidantnoy sistemy zhivyykh organizmov* [Peroxidase as a component of the antioxidant system of living organisms]. SPb.: GIORД, 2004, 240 p.
5. Rogozhin V.V., Rogozhina T.V. *Praktikum po fiziologii i biokhimii rasteniy* [Workshop on plant physiology and biochemistry]. SPb.: GIORД, 2013, 352 p.
6. Soboleva O.A., Anishchenko L.N. Kompleksnaya otsenka rodnikovyykh vod Bryanskoy oblasti v sisteme gosudarstvennogo monitoringa [Comprehensive

- assessment of spring waters of the Bryansk region in the state monitoring system]. *Vestnik RUDN. Seriya Ekologiya i bezopasnost' zhiznedeyatel'nosti*, 2022, vol. 30, no. 2, pp. 127-142.
7. Anishchenko L.N, Borzdyko E.V., Dolganova M.V., Moskalenko I.V., Avramenko M.V. Biochemical indicators of woody plants in the diagnosis of air condition. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 2022, vol. 962, 012005. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/962/1/012005>
 8. Anu Geetham Pkm, Malarvizhi A. Efficacy of the solvents on the phytochemical load and polyphenol content of the aquatic plant azollamicrophylla. *Asian Journal of Pharmaceutical and Clinical Research*, 2022, vol. 15(6). <https://doi.org/10.22159/ajpcr.2022.v15i6.43386>
 9. Inelova Z., Zayadan B., Zaparina Y., Aitzhan M., BOROS E. Perspectives for the application of aquatic and semi-aquatic plants in biomonitoring of freshwater, saline and soda aquatic ecosystems. *Pak. J. Bot.*, 2023, vol. 55(3), pp. 1099-1115. [https://doi.org/10.30848/PJB2023-3\(33\)](https://doi.org/10.30848/PJB2023-3(33))
 10. Fahad S., Saud S., Chen Y., Wu C., Wang D. Abiotic Stress in Plants. BoD-Books on Demand. Nordstedt, Germany, 2021, 494 p.
 11. Goncharuk E. A., Zagorskina N. V. Heavy Metals, Their Phytotoxicity, and the Role of Phenolic Antioxidants in Plant Stress Responses with Focus on Cadmium: Review. *Molecules*, 2023, vol. 28(9), 3921. <https://doi.org/10.3390/molecules28093921>
 12. Kapoor D., Singh S., Kumar V., Romero R., Prasad R., Singh J. Antioxidant enzymes regulation in plants in reference to reactive oxygen species (ROS) and reactive nitrogen species (RNS). *Plant Gene*, 2019, vol. 19, 100182. <https://doi.org/10.1016/j.plgene.2019.100182>
 13. Kaur M., Nagpal A.K., Evaluation of air pollution tolerance index and anticipated performance index of plants and their application in development of green space along the urban areas. *Environmental Science and Pollution Research*, 2017, vol. 24(23), pp. 18881-18895. <https://doi.org/10.1007/s11356-017-9500-9>
 14. Kwak M. J., Lee J.K., Park S., Lim Y.J., Kim H., Nam Kim K.N., Je S.M., Park C.R. and Woo S.Y. Evaluation of the Importance of Some East Asian Tree Species for Refinement of Air Quality by Estimating Air Pollution Tolerance Index, Anticipated Performance Index, and Air Pollutant Uptake. *Sustainability*, 2020, vol. 12, 3067. <https://doi.org/10.3390/su12073067>
 15. Maksimović T., Hasanagić D., Samelak I., Kukavica B. Class III peroxidase and polyphenol oxidase activities in aquatic macrophytes during vegetative period in Bardača a wetland. *International Journal of Limnology*, 2022, vol. 58. <https://doi.org/10.1051/limn/2022009>

16. Manquían-Cerda K., Cruces E., Escudey M., Zúñiga G., Calderón R. Interactive effects of aluminum and cadmium on phenolic compounds, antioxidant enzyme activity and oxidative stress in blueberry (*Vaccinium corymbosum* L.) plantlets cultivated in vitro. *Ecotoxicol. Environ. Saf.*, 2018, vol. 150, pp. 320-326. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2017.12.050>
17. Molnár V.E., Tóthmérész B., Szabó S., Simon E. Pollution assessment in urban areas using air pollution tolerance index of tree species. *Air Pollution XXVI. WIT Transactions on Ecology and the Environment*, 2018, vol. 230, pp. 367-374. <https://doi.org/10.2495/AIR180341>
18. Nowak D.J., Hirabayashi S., Doyle M., McGovern M., Pasher J. Air pollution removal by urban forests in Canada and its effect on air quality and human health. *Urban Forestry & Urban Greening*, 2018, vol. 29, pp. 40-48. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2017.10.019>
19. Hasanuzzaman M., Bhuyan M.H.M.B., Zulfikar F., Raza A., Mohsin S.M., Mahmud J.A., Fujita M., Fotopoulos V. Reactive oxygen species and antioxidant defense in plants under abiotic stress: Revisiting the crucial role of a universal defense regulator. *Antioxidants*, 2020, vol. 9, p. 681. <https://doi.org/10.3390/antiox9080681>
20. Han D. Shen H., Duan W., Chen L. A review on particulate matter removal capacity by urban forests at different scales. *Urban Forestry & Urban Greening*, 2019, vol. 48, 126565. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2019.126565>
21. Oyareme V., Osaji E.I.O. The Effects and Level of Catalase Enzyme Activity in Different Species of Aquatic Macrophytes and Their Families in Two Different Locations in Niger Delta, (Ikpoba River in Benin-City and Ethiope River in Abraka), Nigeria. *Open Access Library Journal*, 2021, vol. 8, pp. 1-11. <https://doi.org/10.4236/oalib.1107368>
22. Zaghloul A., Saber M., Gadow S., Fikry A. Biological Indicators for Pollution Detection in Terrestrial and Aquatic Ecosystems. *Bulletin of the National Research Centre*, 2020, vol. 44, article number: 127. <https://doi.org/10.1186/s42269-020-00385-x>
23. Zhang P., Liu Y., Chen X., Yang Z., Zhu M. & Li Y. Pollution resistance assessment of existing landscape plants on Beijing streets based on air pollution tolerance index method. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 2016, vol. 132, pp. 212-223.

ВКЛАД АВТОРОВ

Соболева О.А.: лабораторные исследования, интерпретация результатов, подготовка текста статьи.

Ноздрачева Е.В.: лабораторные исследования, морфометрические измерения, подготовка текста статьи.

Анищенко Л.Н.: общее руководство направлением исследования, интерпретация результатов, подготовка текста статьи.

AUTHOR CONTRIBUTIONS

Olga A. Soboleva: laboratory studies, interpretation of results, preparation of the text of the article.

Elena V. Nozdracheva: laboratory studies, morphometric measurements, preparation of the article text.

Lidiya N. Anishchenko: general direction of the research, interpretation of the results, preparation of the text of the article.

ДАННЫЕ ОБ АВТОРАХ

Соболева Ольга Александровна, аспирант кафедры географии, экологии и землеустройства

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

*ул. Бежицкая, 14, г. Брянск, 241036, Российская Федерация
janne1991@yandex.ru*

Ноздрачева Елена Владимировна, кандидат биологических наук

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

ул. Бежицкая, 14, г. Брянск, 241036, Российская Федерация

Анищенко Лидия Николаевна, доктор сельскохозяйственных наук, профессор

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

ул. Бежицкая, 14, г. Брянск, 241036, Российская Федерация

DATA ABOUT THE AUTHORS

Olga A. Soboleva, Graduate Student of the Department of Geography, Ecology and Land Management

*Bryansk State University named after Academician I.G. Petrovsky
14, Bezhitskaya Str., Bryansk, 241036, Russian Federation
janne1991@yandex.ru*

Elena V. Nozdracheva, Candidate of Biological Sciences

*Bryansk State University named after Academician I.G. Petrovsky
14, Bezhitskaya Str., Bryansk, 241036, Russian Federation*

Lidiya N. Anishchenko, Doctor of Agricultural Sciences, Professor

*Bryansk State University named after Academician I.G. Petrovsky
14, Bezhitskaya Str., Bryansk, 241036, Russian Federation*

Поступила 12.09.2023

После рецензирования 30.09.2023

Принята 10.10.2023

Received 12.09.2023

Revised 30.09.2023

Accepted 10.10.2023

БИОХИМИЯ, ГЕНЕТИКА И МОЛЕКУЛЯРНАЯ БИОЛОГИЯ

BIOCHEMISTRY, GENETICS AND MOLECULAR BIOLOGY

DOI: 10.12731/2658-6649-2024-16-2-708

UDC 616.34



Original article

STUDY OF ALBUMIN, C-REACTIVE PROTEIN AND CALPROTECTIN AS NON-INVASIVE INDICATORS FOR THE DIAGNOSIS AND DIFFERENTIATION OF INFLAMMATORY BOWEL DISEASE

*Aamer M. Ali, Hayder H. Abed, Eman Mobder Nayif,
Hamzah Abdulrahman Salman*

Background. Inflammatory bowel disease (IBD) is defined as an “inflammatory conditions of the colon and small intestine”. The main forms of IBD are ulcerative colitis and Crohn’s disease. The study aims to evaluate fecal calprotectin with albumin and C-reactive protein as non-invasive indicators of (IBD), mainly in patients with digestive symptoms, who are offered for endoscopic-assessment.

Methods. The study includes 104 participants, who are divided into the control, Crohn’s disease, and ulcerative colitis groups. Gender, age, BMI, albumin, C-reactive protein (CRP), as well as fecal calprotectin are measured.

Results. The results show a significant increase in C-reactive protein and calprotectin (26.77 ± 1.485 mg/l and 419.8 ± 16.99 μ g/mg, respectively) in patients with ulcerative colitis, compared to the control group, which shows a mean value of 6.567 ± 1.802 mg/l and 92.98 ± 10.94 μ g/mg for C-reactive protein and fecal calprotectin, respectively. The highest value of the CRP result in patients with Crohn’s disease is 40.82 ± 2.191 mg/l and the highest significant difference in calprotectin value is 296.2 ± 17.87 μ g/mg, related to the control.

Conclusion. The results show high and significant differences in serum C-reactive protein and fecal calprotectin in the patients with ulcerative colitis and Crohn’s

disease compared to the healthy people in the control group. In addition, the results show a significant difference in serum C-reactive protein and fecal calprotectin between the ulcerative colitis and Crohn's disease groups. The results of the study suggest the use of these tests as non-invasive indicators to assess the diagnosis and its differentiation.

Keywords: calprotectin; Crohn's disease; ulcerative colitis; inflammatory bowel disease

For citation. Aamer M. Ali, Hayder H. Abed, Eman Mobder Nayif, Hamzah Abdulrahman Salman. Study of Albumin, C-Reactive Protein and Calprotectin as Non-Invasive Indicators for the Diagnosis and Differentiation of Inflammatory Bowel Disease. Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture, 2024, vol. 16, no. 2, pp. 166-181. DOI: 10.12731/2658-6649-2024-16-2-708

Научная статья

ИССЛЕДОВАНИЕ АЛЬБУМИНА, С-РЕАКТИВНОГО БЕЛКА И КАЛЬПРОТЕКТИНА КАК НЕИНВАЗИВНЫХ ИНДИКАТОРОВ ДЛЯ ДИАГНОСТИКИ И ДИФФЕРЕНЦИРОВКИ ВОСПАЛИТЕЛЬНЫХ ЗАБОЛЕВАНИЙ КИШЕЧНИКА

*Aamer M. Ali, Hayder H. Abed, Eman Mobder Nayif,
Hamzah Abdulrahman Salman*

Обоснование. Воспалительное заболевание кишечника (ВЗК) определяется как «воспалительное заболевание толстой и тонкой кишки». Основными формами ВЗК являются язвенный колит и болезнь Крона. Целью исследования является оценка фекального кальпротектина с альбумином и С-реактивным белком в качестве неинвазивных индикаторов ВЗК, главным образом у пациентов с симптомами пищеварения, которым предписано эндоскопическое исследование.

Методы. В исследовании приняли участие 104 участника, которые были разделены на контрольную группу, группу с болезнью Крона и группу больных с язвенным колитом. Измерялись пол, возраст, ИМТ, альбумин, С-реактивный белок (СРБ) и фекальный кальпротектин.

Результаты. Результаты показывают достоверное увеличение С-реактивного белка и кальпротектина ($26,77 \pm 1,485$ мг/л и $419,8 \pm 16,99$ мкг/мг соответственно) у пациентов с язвенным колитом по сравнению с кон-

трольной группой ($6,567 \pm 1,802$ мг/л и $92,98 \pm 10,94$ мкг/мг для С-реактивного белка и фекального кальпротектина соответственно). Наибольшее значение результата СРБ у больных болезнью Крона составляет $40,82 \pm 2,191$ мг/л, а наибольшее значимое различие кальпротектина составляет $296,2 \pm 17,87$ мкг/мг по отношению к контрольной группе.

Заключение. Результаты показывают высокие и достоверные различия уровня сывороточного С-реактивного белка и фекального кальпротектина у больных язвенным колитом и болезнью Крона по сравнению со здоровыми людьми контрольной группы. Кроме того, результаты показывают значительные различия уровня сывороточного С-реактивного белка и фекального кальпротектина между группами больных язвенным колитом и болезнью Крона, что позволило использовать эти тесты в качестве неинвазивных индикаторов для оценки правильности постановки и дифференциации диагноза.

Ключевые слова: кальпротектин; болезнь Крона; язвенный колит; воспалительные заболевания кишечника

Для цитирования. Aamer M. Ali, Hayder H. Abed, Eman Mobder Nayif, Hamzah Abdulrahman Salman. Исследование альбумина, С-реактивного белка и кальпротектина как неинвазивных индикаторов для диагностики и дифференцировки воспалительных заболеваний кишечника // *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*. 2024. Т. 16, №2. С. 166-181. DOI: 10.12731/2658-6649-2024-16-2-708

Introduction

Inflammatory bowel disease (IBD) is known as a disorder of the small intestine and colon. The main forms of IBD are ulcerative colitis and Crohn's disease [1]. IBD are reflected to be autoimmune diseases, wherein, the body defense mechanisms target elements of the intestinal tract [2]. IBD is a term involving longstanding (chronic) inflammation of tissues in the digestive tract, generally used to define two conditions, i.e., ulcerative colitis and Crohn's disease [3].

Ulcerative colitis disease is an inflammation that causes sores (ulcer) in the digestive tract. Ulcerative colitis affects the large intestine lining, rectum and the colon [4]. In most people, ulcerative colitis begins in the rectum and may extend to the colon. Its signs may be stable or may come and go. They include weight loss, diarrhea, anemia, abdominal-cramping, and pus or blood in the intestines. There is no treatment or drug for ulcerative colitis disease [5]. Drugs can help decrease symptoms of the inflammation [6]. Surgery is a first and last option for more difficult cases. Crohn's disease is known as inflammatory bowel disease (IBD). It leads to inflammation of the tissues (swelling) in the digestive system, which can cause severe diarrhea, abdominal pain, weight loss, malnutrition, and fatigue

[7]. There are no defined causes of Crohn's disease. Different reasons may be rising threat of developing of symptoms and disease, including smoking cigarettes and autoimmune genes. There is neither drug nor treatment for Crohn's disease, and medication can be usually used to control or decrease the symptoms [8]. The IBD diagnosis using standard test is endoscopy (colonoscopy) [9], which is considered as invasive and expensive. Besides, blood indicators of inflammation are believed to be inadequate markers to diagnose and discriminate between the types of IBD [10]. Calprotectin is a protein biomarker that is present in the feces when intestinal inflammation occurs [11]. Calprotectin acts as a competitive inhibitor (zinc-dependent enzymes) in biostatic action against microorganism, by zinc chelation, inflammation regulation, and apoptosis initiation in cancerous cells (malignant cells) [12]. Fecal calprotectin test is a biochemical test of the calprotectin protein amount in the patients' stool. Increasing fecal calprotectin directs the passage of neutrophils cells to the intestinal mucosa, which happens during inflammation of intestine, as well as inflammation caused by IBD [13]. In a particular clinical situation, the test may replace the requirement for radiolabeled white cell scanning or an invasive colonoscopy [14]. This study aims to evaluate fecal calprotectin with albumin and C-reactive protein as non-invasive indicators of IBD, particularly in patients with digestive disorder symptoms, who are prescribed an endoscopic diagnostic test.

Material and Methods

This cross-sectional study was carried out in the teaching Al-Hussein Hospital, Al-Muthanna, Iraq, from June 2021 to April 2022. This study included 104 participants (48 females and 56 males), who were classified into three groups. The first group consisted of 21 volunteers (10 males and 11 females) as the control group with no inflammatory bowel disease, whereas, the second group comprised 58 patients (29 males and 29 females) with ulcerative colitis disease. The third group comprised 25 patients (9 males and 16 females) with Crohn's disease. All patients were diagnosed with inflammatory signs diseases (ulcerative colitis or Crohn's disease), who had their diagnoses made by using the endoscopic technique. Data including age, BMI, gender, and family history were collected. All the volunteers signed consent forms.

Informed Consent Statement

Informed consent was obtained from all subjects involved in the study. Ethical approved reference No. (UAM /EC/5/2021) and all procedures performed in studies involving participants were in accordance with the ethical

standards of the institutional and/or national research committee and with the 1964 Declaration of Helsinki and its later amendments or comparable ethical standards.

Specimen Collection

About five milliliters of venous blood samples were collected from patients attending the Al-Hussein Teaching Hospital in Samawah, Iraq. Venous blood samples of up to 5 ml were taken from the vein by using a 5 ml syringe. The samples were kept for 30 minutes at room temperature and then the tubes were transported to centrifugation at 1800 rpm for twenty minutes at room temperature [15]. Serum was kept in separate tubes under frozen conditions until the samples were used for albumin and C-reactive protein tests. Feces (50 mg) was collected in a clean plastic container, using the Quantitative Fecal Calprotectin ELISA Kit.

Albumin Assay Kit

Serum albumin was assayed by using the ALB2 assay kit / Roche and Cobas c311 analyzers (Hitachi, Japan). In the colorimetric test, at 4.1 pH value, albumin showed an adequately cationic-character, which is able to bind with bromocresol green (BCG), an anionic dye, formation of a green blue complex. photometrically concentration for the blue green was directly relative to the sample albumin amount and was measured photometrically [16].

C-reactive protein test

Determination of the C-reactive protein (CRP) quantitatively was done using the C-reactive protein (Gen.3 assay kit / Roche and Cobas C311 analyzers) (Hitachi, Japan). Human-CRP (agglutinates with latex particles) were covered with monoclonal anti-CRP antibodies. The aggregates particles were measured using turbidimetric-testing [17; 18].

Calprotectin Elisa Test

Quantitative determination of fecal calprotectin was done with an assay using the Calprotectin Elisa kit (Epitope Diagnostics, Inc., USA). This Calprotectin ELISA Assay Kit was created, developed, and manufactured to test human calprotectin in stool samples quantitatively. The ELISA Assay Kit of Calprotectin proteins uses the two site sandwich technique with two selected antibodies that bind changed epitopes of the human calprotectin [19].

Statistical Analysis

All the figures, tables, and results were obtained using the GraphPad prism software program (Version 6) and the Excel 22016 software program. The results were analyzed using one-way ANOVA test and the unpaired T-test.

Results

The samples of the control group were obtained from 10 males and 11 females, whereas samples of the ulcerative colitis group comprised were obtained from 29 females and 29 males, and from 9 males and 16 females of the last group of patients with Crohn's disease comprised, as shown in Figure 1.

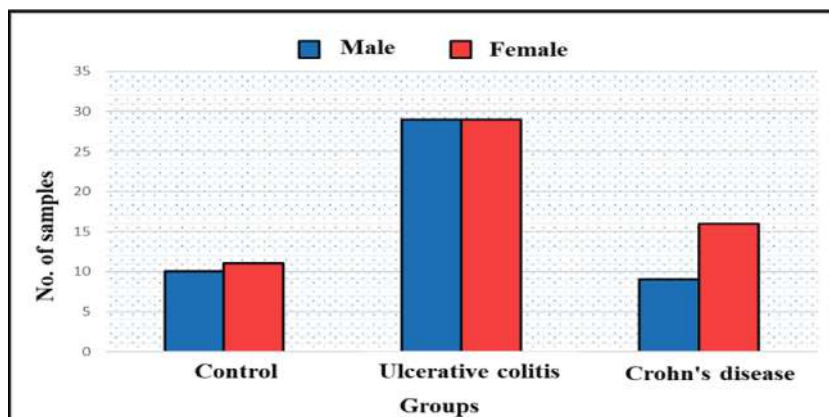


Fig. 1. Gender distribution of the groups members

The mean ages of the members of the three groups in years were 33.43 ± 1.705 , 29.83 ± 1.180 , and 37.04 ± 1.581 for the control, Crohn's disease, and ulcerative colitis respectively, and there were no significant differences between them and a p -value of $\leq (0.05)$ as shown in Figure 2 and Table 1.

Table 1.

Age mean value of the groups members

Age in years	N	Mean $\pm$ SEM	p -value	Range	95% confidence interval	R square
Control	21	33.43 ± 1.705	-	19- 43	-	-
Ulcerative colitis	58	29.83 ± 1.180	0.1080 NS	16- 44	-8.010 to 0.8084	0.03320
Crohn's disease	25	37.04 ± 1.581	0.1279 NS	19- 54	-1.079 to 8.302	0.05188

NS – non-significant, S – significant

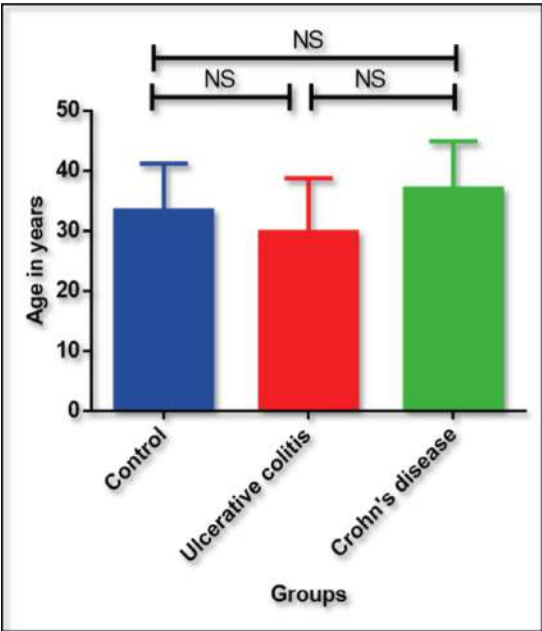


Fig. 2. Age distribution of the groups members, p -value ≤ 0.05

The mean BMIs of the three the groups members were 26.29 ± 0.7240 , 25.18 ± 0.5390 , and 24.89 ± 0.7809 of the control, Crohn’s disease and ulcerative colitis groups, respectively, there were no significant differences between them and a p -value of (≤ 0.05), as shown in Figure 3 and Table 2.

Table 2.

BMI value of the groups members						
BMI	N	Mean $\pm$ SEM	p-value	Range	95% confidence interval	R square
Control	21	26.29 ± 0.7240	-	20.2- 31.3	-	-
Ulcerative colitis	58	25.18 ± 0.5390	0.2721 NS	17.6- 33	-3.089 to 0.8826	0.01564
Crohn’s disease	25	24.89 ± 0.7809	0.2037 NS	17.2- 34.3	-3.571 to 0.7833	0.03645

NS – non-significant, S – significant

The mean values of albumin in g/l were 44.74 ± 1.210 , 42.63 ± 1.261 , and 41.36 ± 2.278 in the Control, the Crohn’s disease and the ulcerative colitis

groups, respectively. There were no significant differences between them and a p -value ≤ 0.05 , as shown in (Figure 4 and Table 3).

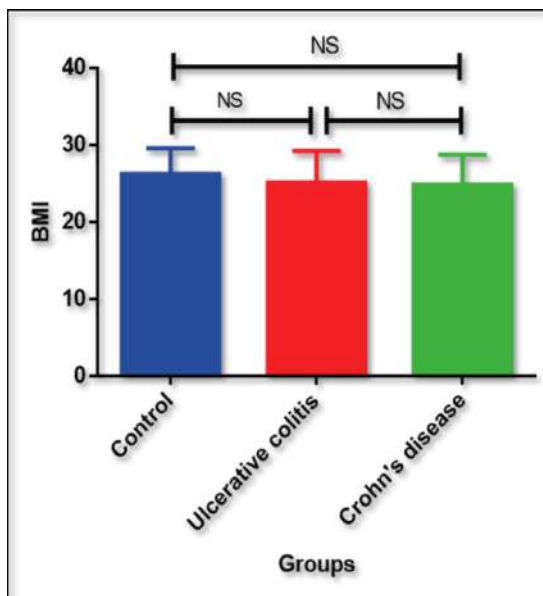


Fig. 3. BMI distribution in the groups members, p -value ≤ 0.05

Table 3.

Albumin value in the groups members

Albumin	N	Mean $\pm$ SEM	p -value	Range	95% confidence interval	R square
Control	21	44.74 $\pm$ 1.210	-	22.4- 64.3	-	-
Ulcerative colitis	58	42.63 $\pm$ 1.261	0.6044 NS	21.2- 73.2	-3.574 to 6.105	0.003330
Crohn's disease	25	41.36 $\pm$ 2.278	0.2215 NS	33.1- 54.3	-2.112 to 8.870	0.03377

NS – non-significant, S – significant

C-reactive protein values were 6.567 ± 1.802 , 26.77 ± 1.485 , and 40.82 ± 2.191 for the Control, the Crohn's disease and Ulcerative-colitis groups, respectively. The result of ulcerative colitis and Crohn's disease groups showed a significant difference in both groups (p -value < 0.0001) compared to the control as shown in Table 4 and Figure 5.

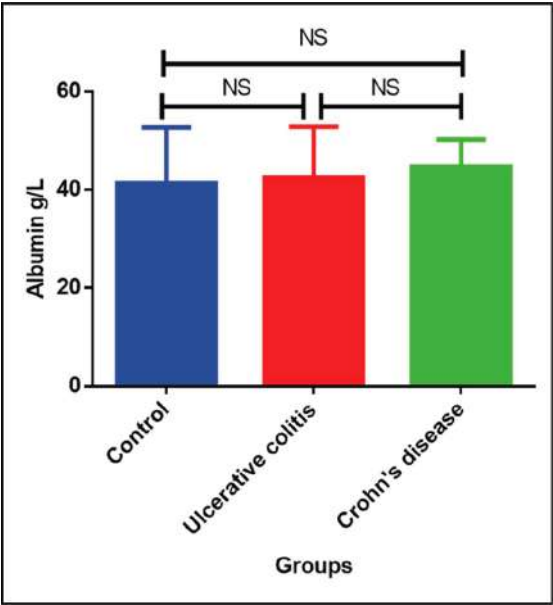


Fig. 4. Albumin value in the groups, *p*-value of ≤ 0.05

Table 4.

C-reactive protein value in mg/l of group samples

Groups	n	Mean $\pm$ SEM	<i>p</i> -value	Range	95% confidence interval	R square
Control	21	6.567 $\pm$ 1.802	-	0-33	-	-
Ulcerative colitis	58	26.77 $\pm$ 1.485	< 0.0001 S****	10.20- 61.30	14.82 to 25.58	0.4208
Crohn's disease	25	40.82 $\pm$ 2.191	< 0.0001 S****	22.30-65.30	28.40 to 40.12	0.7593

NS – non-significant, S – significant, S**** – High significant *p*-value < 0.0001

The mean values of fecal calprotectin $\mu\text{g}/\text{mg}$ were 92.98 ± 10.94 , 419.8 ± 16.99 , and 296.2 ± 17.87 , of the control, Crohn's disease and ulcerative colitis groups, respectively.

The result of the ulcerative colitis and Crohn's disease groups showed high significant difference in both groups (*p*-value < 0.0001) compared to the control as in Table 5 and Figure 6.

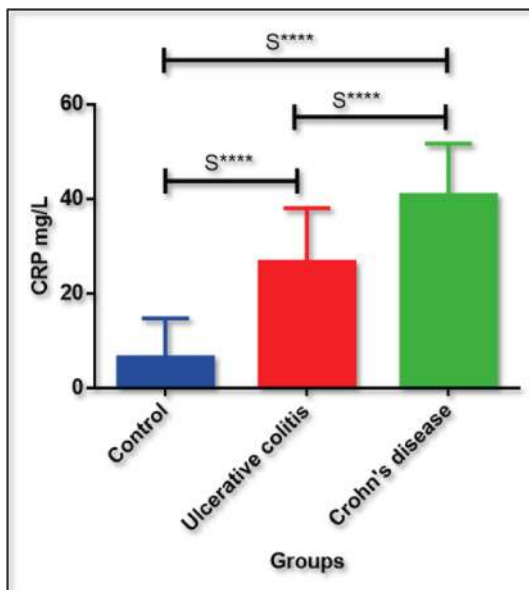


Fig. 5. CRP value in mg/l of group samples with p -value < 0.0001

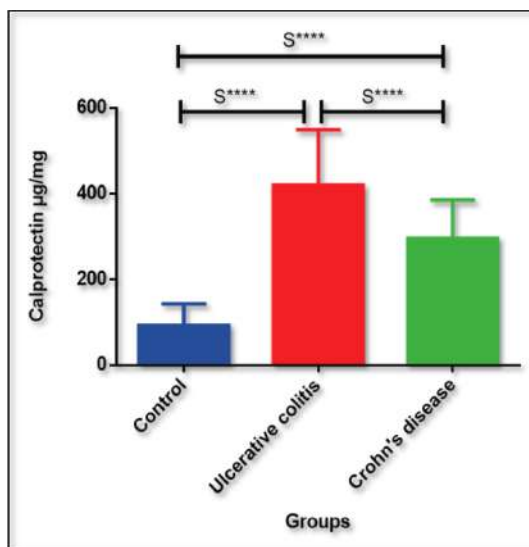


Fig. 6. Fecal calprotectin in µg/mg for group samples with p -value of < 0.0001

Table 5.

Fecal Calprotectin in µg/mg of group samples

Calprotectin µg/mg	n	Mean ± SEM	p-value	Range	95% confidence interval	R square
Control	21	92.98 ± 10.94	-	24.12- 168.3	-	-
Ulcerative colitis	58	419.8 ± 16.99	< 0.0001 S****	141.6- 745.3	268.9 to 384.8	0.6212
Crohn's disease	25	296.2 ± 17.87	< 0.0001 S****	142.5- 432.4	158.9 to 247.4	0.6608

NS – non-significant, S – significant, S**** – High significant p value < 0.0001

Discussion

Calprotectin is a protein produced from activated leukocytes and usually can be utilized as an indicator for leukocyte activation [20]. Feces calprotectin can be utilized to identify active leukocyte in various body fluids in addition to using as indicator for inflammation of bowel disease [21]. In addition, according to another research, there are no significant differences according to gender (males and females), to commend a reference interval, based on males and females (0.3 to 2.6 mg/L) [22]. Besides, there are no significant differences in this study between groups according to gender and BMI. CRP (the acute phase reactant) rises with the increase in age and plasma concentrations as biological indicators of frailty, crucial increasing vulnerability for mortality and diseases, as well as with aging [23]. Serum albumin levels decrease with age in both men and women [24], although there are no significant differences between groups according to age or albumin value of samples, as shown in Figure 4 and Table 3.

C-reactive protein is the most common biomarker used as indicator of inflammation in IBD. Elevated value of CRP service to distinguish mucosal active disease from “quiescent of IBD” [25]. Many situations are connected with a CRP response including inflammatory diseases, infectious stimuli (fungal, bacterial, or viral), stress, tissue-necrosis, neoplasia, and childbirth [26]. There is a high correlation between inflammation and some disorder disease and strong C-reactive protein response including Crohn’s disease and rheumatoid arthritis [27; 28]. Results in Table 4 show high significant differences in the CRP values of patients with Crohn’s disease and ulcerative- colitis, and the highest value in CD patients. A recent study has concluded that in CD, level of CRP high relate with activity of diseases: CRP value is higher in severe CD compared to moderate CD, which is on its turn higher than mild Crohn’s disease [29]. For UC, the similar tendency can be detected, even though CRP is generally much

less than in Crohn's disease [30] and agrees with the results of this study as in Figure 5.

Calprotectin protein is produced in neutrophils and the presence of fecal calprotectin is a biomarker for gastrointestinal inflammation, higher levels of fecal calprotectin representing severe inflammation [31]. According to the results of this study, there is an increase in the fecal calprotectin level in Crohn's disease patients and an upper level in the ulcerative colitis group, with high significant differences, as compared to the control group, as shown in Table 5 and Figure 6.

To achieve these objectives, i.e., a cheap screening and non-invasive tests, calprotectin will be used to provide a preliminary diagnosis of inflammatory bowel disease. Calprotectin is a main protein present in the cell cytosol in the inflammatory diseases [32]. The protein test is constant in fecal samples for up to 7 days at normal conditions, i.e., room temperature and usually less than 5 g per sample is enough for a reliable test [33]. Due to these characteristics, stool samples may be collected at home and transported to the lab room with possible delays. Fecal calprotectin is considered a good indicator for IBD-diagnosis, specifically when screening patients with digestive disorder symptoms, who are offered an endoscopic test. Anyway, only a few studies, depending on a quite small number of patients, have assessed fecal calprotectin level in patients with other forms of bowel inflammations less public than CD and UC, such as, nonspecific colitis, eosinophilic, and lymphocytic, any way calprotectin levels have been established in symptomatic patients to accurately differentiate between IBD and non organic disease and, when elevated, urge early endoscopic evaluation to rule out IBD and other organic disorders [34]. Calprotectin (a neutrophil protein) is present in both blood and stool serum. Its concentration significantly elevates through inflammatory in (IBD) and infections conditions. Increasing level of fecal calprotectin (FC) appears to be a screening test to determine patients needing further invasive diagnostics [35].

Conclusion

The conclusion of this study shows high significant differences in serum C-reactive protein and fecal-calprotectin in patients with Crohn's disease or ulcerative colitis linked to healthy people in the control group. In addition, the results show a significant difference in serum C-reactive protein and fecal calprotectin between Crohn's disease and ulcerative colitis, which allows the use of these tests as non-invasive indicators for the diagnosis and differentiation between them.

Conflict of Interest. The authors of this study declare that they have no conflict of interest.

Funding. The authors did not receive support from any organization for the submitted work.

References

1. Deshmukh R, Kumari S, Harwansh RK. Inflammatory bowel disease: A snapshot of current knowledge. *Res J Pharm Technol.*, 2020, vol. 13(2), pp. 956-962. <https://doi.org/10.5958/0974-360X.2020.00180.8>
2. Honda M, Kubes P. Neutrophils and neutrophil extracellular traps in the liver and gastrointestinal system. *Nat Rev Gastroenterol Hepatol.*, 2018, vol. 15(4), pp. 206-221. <https://doi.org/10.1038/nrgastro.2017.183>
3. Lang-Schwarz C, Agaimy A, Atreya R, Becker C, Danese S, Fléjou J-F, et al. Maximizing the diagnostic information from biopsies in chronic inflammatory bowel diseases: recommendations from the Erlangen International Consensus Conference on Inflammatory Bowel Diseases and presentation of the IBD-DCA score as a proposal for a new index for histologic activity assessment in ulcerative colitis and Crohn's disease. *Virchows Arch.*, 2021, vol. 478(3), pp. 581-594. <https://doi.org/10.1007/s00428-020-02982-7>
4. Kaur A, Goggolidou P. Ulcerative colitis: understanding its cellular pathology could provide insights into novel therapies. *J Inflamm.*, 2020, vol. 17(1), pp. 1–8. <https://doi.org/10.1186/s12950-020-00246-4>
5. Ooi CJ, Hilmi I, Banerjee R, Chuah SW, Ng SC, Wei SC, et al. Best practices on immunomodulators and biologic agents for ulcerative colitis and Crohn's disease in Asia. *Intestinal Research*, 2019, vol. 17(3), pp. 285-310. <https://doi.org/10.5217/ir.2019.00026>
6. Feuerstein JD, Cheifetz AS. Ulcerative colitis: epidemiology, diagnosis, and management. *Mayo Clin Proc.* Elsevier; 2014, vol. 89(11), pp. 1553-1563. <https://doi.org/10.1016/j.mayocp.2014.07.002>
7. Villa OLA, Cruz DER, Vaca PJL, Cardenas AM, Acosta DJV, Fernández RÁ, et al. Crohn's Disease in Adults for the Primary Care Physician. *Int J Med Sci Clin Res Stud.*, 2022, vol. 2(11), pp. 1216-1221. <https://doi.org/10.47191/ijm-scrcs/v2-i11-05>
8. Gajendran M, Loganathan P, Catinella AP, Hashash JG. A comprehensive review and update on Crohn's disease. *Disease-a-month*, 2018, vol. 64(2), pp. 20-57. <https://doi.org/10.1016/j.disamonth.2017.07.001>
9. Spiceland CM, Lodhia N. Endoscopy in inflammatory bowel disease: Role in diagnosis, management, and treatment. *World J Gastroenterol.*, 2018, vol. 24(35),

- pp. 4014-4020. <https://doi.org/10.3748%2Fwjg.v24.i35.4014>
10. van de Logt F, Day AS. S100A12: A noninvasive marker of inflammation in inflammatory bowel disease. *J Dig Dis.*, 2013, vol. 14(2), pp. 62-67. <https://doi.org/10.1111/1751-2980.12012>
 11. Burri E, Beglinger C. The use of fecal calprotectin as a biomarker in gastrointestinal disease. *Expert Rev Gastroenterol Hepatol.*, 2014, vol. 8(2), pp. 197-210. <https://doi.org/10.1586/17474124.2014.869476>
 12. Baldassarre ME, Altomare MA, Fanelli M, Carbone D, Di Bitonto G, Mautone A, et al. Does calprotectin represent a regulatory factor in host defense or a drug target in inflammatory disease? *Endocrine, Metabolic & Immune Disorders - Drug Targets*, 2007, vol. 7(1), pp. 1-5. <https://doi.org/10.2174/187153007780059441>
 13. Kesharwani RK, Rao TJM, Keservani RK. Prebiotics and Probiotics in Disease Regulation and Management. John Wiley & Sons; 2022.
 14. Ranade M. Classification and Prediction of severity of Inflammatory Bowel Disease using Machine Learning. *2021 6th Int Conf Convergen Technol. IEEE*, 2021, pp. 1-4. <https://doi.org/10.1109/I2CT51068.2021.9418093>
 15. Abed HH, Al-Ziaydi AG, Taher IA, Al Dulaimi AK. Comparison of some hematological parameters between male and female patients infected with COVID-19. *Hum Antibodies*, 2022, vol. 30(3), pp. 151-155. <https://doi.org/10.3233/hab-220006>
 16. Abed HH, Ali AM, Mahdi ZS. Effect of Vitamin D3 Supplement on the Semen Quality in Human Patients with Vitamin D Deficiency. *HAYATI Journal of Biosciences*, 2022, vol. 29(5), pp. 562-569. <https://doi.org/10.4308/hjb.29.5.562-569>
 17. Ali AM, Abed HH, Al-Ziaydi AG, Nayif EM. Evaluation of Plasma Protein Alpha 2 and Beta in the Patients of Hepatitis B and C Virus by Radial Immunodiffusion Technique (RID). *Indian J Public Health*, 2020, vol. 11(8), pp. 277-282. <https://doi.org/10.37506/ijphrd.v11i8.10935>
 18. Qu J, Zhang Y, Chenier M, Xu C, Chen L, Wan Y. A Transit Time-Resolved Microflow Cytometry-Based Agglutination Immunoassay for On-Site C-Reactive Protein Detection. *Micromachines*, 2021, vol. 12(2), 109. <https://doi.org/10.3390/mi12020109>
 19. Abozied A, Ahmed YA, Saleh MFM, Galal H, Abbas WA. Assessment of Von Willebrand factor antigen and activity levels in inflammatory bowel diseases. *Egypt J Haematol.*, 2021, vol. 46(4), pp. 227-233. https://doi.org/10.4103/ejh.ejh_68_21
 20. Arosa L, Camba-Gómez M, Conde-Aranda J. Neutrophils in Intestinal Inflammation: What We Know and What We Could Expect for the Near Future. *Gastrointest Disord.*, 2022, vol. 4(4), pp. 263-276. <https://doi.org/10.3390/gidisord4040025>

21. Sutherland AD, Gearry RB, Frizelle FA. Review of fecal biomarkers in inflammatory bowel disease. *Dis colon rectum.*, 2008, vol. 51, pp. 1283-1291. <https://doi.org/10.1007/s10350-008-9310-8>
22. Park SY. Age-related fecal calprotectin concentrations in healthy adults. *Korean J Clin Lab Sci.*, 2020, vol. 52(3), pp. 181-187. <https://doi.org/10.15324/kjcls.2020.52.3.181>
23. Tracy RP. Emerging relationships of inflammation, cardiovascular disease and chronic diseases of aging. *Int J Obes.*, 2003, vol. 27(3), pp. S29-34. <https://doi.org/10.1038/sj.ijo.0802497>
24. Uemura K, Doi T, Lee S, Shimada H. Sarcopenia and low serum albumin level synergistically increase the risk of incident disability in older adults. *J Am Med Dir Assoc.*, 2019, vol. 20(1), pp. 90-93. <https://doi.org/10.1016/j.jamda.2018.06.011>
25. Tontini GE, Mudter J, Vieth M, Günther C, Milani V, Atreya R, et al. Prediction of clinical outcomes in Crohn's disease by using confocal laser endomicroscopy: results from a prospective multicenter study. *Gastrointest Endosc.*, 2018, vol. 87(6), pp. 1505-1514. <https://doi.org/10.1016/j.gie.2017.10.033>
26. Vermeire S, Van Assche G, Rutgeerts P. C-reactive protein as a marker for inflammatory bowel disease. *Inflamm Bowel Dis.*, 2004, vol. 10(5), pp. 661-665. <https://doi.org/10.1097/00054725-200409000-00026>
27. Vermeire S, Van Assche G, Rutgeerts P. The role of C-reactive protein as an inflammatory marker in gastrointestinal diseases. *Nat Clin Pract Gastroenterol Hepatol.*, 2005, vol. 2(12), pp. 580-586. <https://doi.org/10.1038/ncpgasthep0359>
28. Prins BP, Abbasi A, Wong A, Vaez A, Nolte I, Franceschini N, et al. Investigating the causal relationship of C-reactive protein with 32 complex somatic and psychiatric outcomes: a large-scale cross-consortium Mendelian randomization study. *PLoS Med.*, 2016, vol. 13(6), pp. e1001976. <https://doi.org/10.1371/journal.pmed.1001976>
29. Akutko K, Iwańczak B. Evaluation of Fecal Calprotectin, Serum C-Reactive Protein, Erythrocyte Sedimentation Rate, Seromuicoid and Procalcitonin in the Diagnostics and Monitoring of Crohn's Disease in Children. *J Clin Med.*, 2022, vol. 11(20), pp. 6086. <https://doi.org/10.3390/jcm11206086>
30. Le Berre C, Ananthakrishnan AN, Danese S, Singh S, Peyrin-Biroulet L. Ulcerative colitis and Crohn's disease have similar burden and goals for treatment. *Clin Gastroenterol Hepatol.*, 2020, vol. 18(1), pp. 14-23. <https://doi.org/10.1016/j.cgh.2019.07.005>
31. Khudhur NE, Iqbal MN, Abd Alhussein SS. Investigation of lipocalin2 and calprotectin in Ulcerative colitis patients. *J Pharm Sci Res.*, 2019, vol. 11(2), pp. 440-443.
32. Bjarnason I. The use of fecal calprotectin in inflammatory bowel disease. *Gastroenterol Hepatol (N Y)*, 2017, vol. 13(1), pp. 53-56.

33. Walsham NE, Sherwood RA. Fecal calprotectin in inflammatory bowel disease. *Clin Exp Gastroenterol.*, 2016, vol. 9, pp. 21-29. <https://doi.org/10.2147/ceg.s51902>
34. Koninckx CR, Donat E, Benninga MA, Broekaert IJ, Gottrand F, Kolho K-L, et al. The use of fecal calprotectin testing in paediatric disorders: a position paper of the European Society for Paediatric Gastroenterology and Nutrition Gastroenterology Committee. *J Pediatr Gastroenterol Nutr.*, 2021, vol. 72(4), pp. 617-640. <https://doi.org/10.1097/mpg.0000000000003046>
35. Heida FH, Hulscher JBF, Schurink M, van Vliet MJ, Kooi EMW, Kasper DC, et al. Bloodstream infections during the onset of necrotizing enterocolitis and their relation with the pro-inflammatory response, gut wall integrity and severity of disease in NEC. *J Pediatr Surg.*, 2015, vol. 50(11), pp. 1837-1841. <https://doi.org/10.1016/j.jpedsurg.2015.07.009>

DATA ABOUT THE AUTHORS

Aamer M. Ali

*Department of Pharmaceutical Chemistry, College of Pharmacy
University of Babylon
Babylon, 51001, Iraq*

Hayder H. Abed

*Department of Chemistry and Biochemistry, Faculty of Medicine
Al Muthanna University
Samawah, 66001, Iraq
Hayderhussein862@mu.edu.iq*

Eman Mobder Nayif

*Department of Biology, College of Science
University of Babylon
Babylon, 51001, Iraq*

Hamzah Abdulrahman Salman

*Department of Medical Laboratory Techniques, Technical Institute of
Balad
Middle Technical University
Baghdad, 10066, Iraq*

Поступила 14.06.2023

После рецензирования 28.09.2023

Принята 31.10.2023

Received 14.06.2023

Revised 28.09.2023

Accepted 31.10.2023

DOI: 10.12731/2658-6649-2024-16-2-723

UDC 616.24:616-002:614.715



Original article

IMPACT OF TECHNOGENIC AIR POLLUTION FACTORS ON THE IMMUNE SYSTEM IN RESPIRATORY DISEASES

L.V. Veremchuk, T.I. Vitkina, E.V. Kondratyeva

Background. Suspended solid particles (SSPs) of atmospheric air contribute to the development and progression of respiratory diseases. One of the adaptive mechanisms, allowing for adjustment under the impact of pathogenic factors of the environment is the immune system.

Purpose. The objective of the present research is to reveal triggering micro-toxins of the surface layer of the atmospheric air in Vladivostok city on the immune system of population with bronchopulmonary pathology.

Materials and methods. Overall 360 patients (105 healthy humans, 130 patients with bronchial asthma (BA), and 125 patients with chronic obstructive pulmonary disease (COPD) were included in the study. Percentage content of SSP fractions and absorbed heavy metals (Pb, Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn) were assessed in the surface layer of atmospheric air. Integral immune system response indices (Dp%, Din%, $\sum Np$) were determined using the Multiple Correlation module.

Results. The maximum integral response (Din%=1.74) was observed in the group of patients with COPD at minimal total immune responses ($\sum Np=28$), in the group with AD, Din% was 1.54 ($\sum Np=31$). The lowest immune response was revealed in healthy individuals (Din%=1.22) at the maximum total activity of immune responses ($\sum Np=32$).

Conclusion. The microtoxins of the surface layer of the atmospheric air in Vladivostok city have a negative effect on the immune system of all the studied population cohorts. A more pronounced immune response was observed in individuals with bronchopulmonary pathology. The analysis highlighted the trigger factors (fractions of 0-1 and 50-100 microns, as well as presence of Fe, Mn, Cr, Cu, Co) of the atmospheric air of Vladivostok city, as well as the ranges of their impacts on the immune system of healthy population and individuals with bronchopulmonary pathology, which allows predicting the severity of environmental bronchopulmonary pathology and initiate preventive measures.

Keywords: *suspended solid particles; heavy metals of atmospheric air; bronchopulmonary pathology; immune system*

For citation. *Veremchuk L.V., Vitkina T.I., Kondratyeva E.V. Impact of Technogenic Air Pollution Factors on the Immune System in Respiratory Diseases. Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture, 2024, vol. 16, no. 2, pp. 182-197. DOI: 10.12731/2658-6649-2024-16-2-723*

Научная статья

ВОЗДЕЙСТВИЕ ФАКТОРОВ ТЕХНОГЕННОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ ВОЗДУШНОЙ СРЕДЫ НА ИММУННУЮ СИСТЕМУ ПРИ ЗАБОЛЕВАНИЯХ ОРГАНОВ ДЫХАНИЯ

Л.В. Веремчук, Т.И. Виткина, Е.В. Кондратьева

Обоснование. Твердые взвешенные частицы (ТВЧ) атмосферного воздуха способствуют развитию и прогрессированию заболеваний органов дыхания. Одним из приспособительных механизмов, осуществляющих адаптацию при воздействии патогенных факторов окружающей среды, является иммунная система.

Цель. Выявление триггерных микротоксикантов приземного слоя атмосферного воздуха г. Владивостока на иммунную систему населения при бронхолегочной патологии.

Материалы и методы. В исследование включено 360 человек (105 практически здоровые, 130 с бронхиальной астмой (БА), 125 с хронической обструктивной болезнью легких (ХОБЛ)). В приземном слое атмосферного воздуха оценивали процентное содержание фракций ТВЧ и содержание абсорбированных тяжелых металлов (Pb, Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn). Интегральные показатели отклика иммунной системы ($Dn\%$, $Din\%$, $\sum Nr$) определяли с использованием модуля «Множественная корреляция».

Результаты. Максимальный интегральный отклик ($Din\%=1,74$) отмечается в группе лиц с ХОБЛ при минимальной суммарной активности иммунных реакций ($\sum Nr=28$), в группе с БА $Din\%$ составляет 1,54 ($\sum Nr=31$). Наименьший иммунный ответ выявлен у здоровых лиц ($Din\%=1,22$) при максимальной суммарной активности иммунных реакций ($\sum Nr=32$).

Заключение. Микротоксиканты приземного слоя атмосферного воздуха г. Владивостока негативно влияют на состояние иммунной системы всех

исследованных когорт населения. У лиц с бронхолегочной патологией наблюдается более выраженный иммунный ответ. В результате анализа выделены триггерные факторы (фракции 0-1 мкм, 50-100 мкм, Fe, Mn, Cr, Cu, Co) атмосферного воздуха г. Владивостока и диапазоны их воздействия на иммунную систему здорового населения и лиц с бронхолегочной патологией, что позволяет прогнозировать утяжеление экологозависимой бронхолегочной патологии и задействовать профилактические мероприятия.

Ключевые слова: твердые взвешенные частицы; тяжёлые металлы атмосферного воздуха; бронхолегочная патология; иммунная система

Для цитирования. Веремчук Л.В., Виткина Т.И., Кондратьева Е.В. Воздействие факторов техногенного загрязнения воздушной среды на иммунную систему при заболеваниях органов дыхания // *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*. 2024. Т. 16, №2. С. 182-197. DOI: 10.12731/2658-6649-2024-16-2-723

Introduction

According to the World Health Organization (WHO), 99% of the world's population breathes air that exceeds the air pollution limits, recommended by WHO [23]. Air pollution is an important cause of non-communicable diseases worldwide, with suspended solid particles (SSPs) being one of the main air pollutants. SSPs represent a complex mixture of organic and inorganic components [6, 9, 12, 16]. The effect of SSPs depends on their nature, chemical composition, as well as particle size and physical characteristics [7]. Technogenic contamination of the air environment with SSP fractions and heavy metals, absorbed on them, poses a significant health risk [16, 19]. It is known that SSPs contribute to the development and progression of cardiovascular, central nervous, and other human systems diseases; however, airborne microtoxins have the greatest pathogenic effect in respiratory diseases [5, 7, 13, 16]. Contact with the surface layer of atmospheric air is the most important in respiratory diseases; however, studies in this segment are extremely limited.

Impact of SSPs of atmospheric air activates the formation of reactive oxygen species (ROS), which leads to the development of oxidative stress and, subsequently, inflammation [7, 13]. Intensification of inflammatory and oxidative processes also underlies chronic bronchopulmonary diseases. Inflammation further enhances the production of ROS, causing changes in transcriptional factors that mediate the pathways of cellular response to stress [7, 25]. The immune system is one of the body's adaptive mechanisms provides its adjustment to the impact of pathogenic factors, both external and internal. However, its sensitivity to

anthropogenic air pollution components is different [3, 8]. Therefore, isolating trigger factors and determining exposure ranges of airborne technogenic pollutants on immune system will allow providing timely therapeutic and preventive measures to reduce the risk of bronchopulmonary diseases exacerbations.

Purpose

The objective of the present research is to identify trigger microtoxics of the surface layer of atmospheric air in Vladivostok city and their impact on the immune system of the patients with bronchopulmonary pathology.

Materials and methods

The study objects were the fractional composition of suspended solid particles and heavy metals, contained in the surface layer of Vladivostok urban air, as well as the immune system of healthy urban residents and individuals with bronchopulmonary pathology (bronchial asthma, chronic obstructive pulmonary disease, COPD).

Atmospheric pollution was assessed by aerosol suspensions of solid particles, collected in the surface layer of atmospheric air, using PU-4E electric aspirator (CJSC KHIMKO, Russia) into a liquid absorbent medium using a high-speed Richter's absorber. The study was conducted in residential areas of the city, where the polluting objects were located (high-traffic freeways, energy and industrial facilities located within 200-800 m by the prevailing wind rose).

Suspended solids were assessed by the percentage of fractions (within the ranges of 0-1, 1-10, 10-50, 50-100, 100-400, 400-700, and >700 μm) relative to the total weight of suspended solids in the sample. The content of absorbed heavy metals in air (Pb, Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn) was measured in $\mu\text{g/l}$.

The study included 360 people living in the areas, where air samples were taken, including 105 practically healthy individuals, 130 people with controlled and partially controlled bronchial asthma (BA) of mild severity, 125 people with chronic obstructive pulmonary disease (COPD) of a stable course of mild severity. The mean age of the subjects was 48.5 ± 4.9 years. BA and COPD were diagnosed according to the Global Strategy for Asthma Management and Prevention, Global Strategy for Prevention, Diagnosis and Management of COPD, and the International Classification of Diseases (the 10th revision). The study was conducted taking into account the requirements of the World Medical Association Declaration of Helsinki (2013) and approved by the local ethical committee. Voluntary informed consent was obtained from each patient for being

involved in the study. Individuals, residing for at least 5 years in the study area, within a radius of 1 km from the air sampling point, were included in the study. Exclusion criteria for subjects from the study were the presence of acute infectious diseases, chronic diseases of internal organs in the acute phase, chronic heart failure in decompensation, and contact with harmful and hazardous occupational factors.

Venous blood was used as biological material. Cellular immunity parameters ($CD3^+$, $CD4^+$, $CD8^+$, $CD4^+/CD8^+$, $CD19^+$, $CD16^+56^+$) were estimated by flow cytometry using BD FACS Canto II cytometer (USA). Serum cytokine levels (tumor necrosis factor α (TNF- α), interferon γ (IFN- γ), and interleukin 4 (IL-4), IL-6, IL-10, IL-17A) were assessed by Cytometric Bead Array test system (BD, USA). The level of total IgE in blood serum was assessed by enzyme immunoassay using Chema Medica kit. Phagocytic activity of neutrophils was determined using Phagotest kit (BD, USA). Oxygen-dependent bactericidal mechanisms of peripheral blood neutrophils were assessed using Burstest (Phagoburst) reagents (BD, USA).

The effect of suspended solid particle fractions on the immune system of the subjects was determined using the Multiple Correlation module of the STATISTICA 10 software. Inter-system matrices (environmental factors – immune status indicators) were formed, to which statistically significant ($p < 0.05$) correlation relations (r), characterizing the most significant impact factors on the immune system, were included. The immune response activity index (N_p), represented by the number of statistically significant r ($p < 0.05$) in the formed matrix was determined.

To determine the ranges of air pollution indicators ($M \pm m$), the table of results of the Paired and Partial Correlations module was used.

To separate air pollution trigger fractions, a component-wise response index $D_p\%$ ($D_p\% = \sum \text{of absolute values of } r / \sum R \times 100$) was determined, which characterized the ratio of the sum of statistically significant connections to the total sum of hypothetically possible values in the rectangular connection matrix (at $R=1.0$). The integral index $D_m\%$ was calculated similarly to $D_p\%$, which allowed identifying the immune response to the combined impact of air pollution fractions in different groups of testees (BA, COPD, and control group).

Results

The calculations, carried out in the patient groups with bronchial asthma, chronic obstructive pulmonary disease, and in the control group are presented in the Table below.

Table.

**Factors of technogenic impact of airborne microscale pollutants
in Vladivostok city on the immune system of healthy individuals and patients
with bronchopulmonary pathology**

BA			COPD			Control		
Ranges of air pollution indicators M±m (%)	N _p	D _n %	Ranges of air pollution indicators M±m (%)	N _p	D _n %	Ranges of air pollution indicators M±m (%)	N _p	D _n %
0-1 1.20-2.19	4	0.17	0-1 1.24-6.24	3	0.17			
1-10 12.25-16.95	1	0.05	1-10 4.33-20.98	2	0.14	1-10 7.97-21.13	2	0.11
10-50 36.20-40.32	2	0.1	10-50 32.63-67.16	2	0.13	10-50 15.8-72.47	2	0.07
50-100 1.58-4.02	5	0.25	50-100 3.02-4.67	3	0.20	50-100 1.79-5.12	3	0.14
			100-400 0.44-0.58	1	0.05	100-400 4.96-14.02	2	0.09
			400-700 0.43-0.64	1	0.06	400-700 0.48-26.22	5	0.10
>700 0.45-0.52	1	0.04	>700 7.79-8.96	1	0.07	>700 0.56-9.66	2	0.08
Fe 16.95-26.47	3	0.2	Fe 11.98-13.53	1	0.06	Fe 12.71-33.58	2	0.09
Ni 0.3-0.45	3	0.16	Ni 0.26-0.52	1	0.05			
Mn 4.66-6.31	5	0.24	Mn 5.14-6.22	1	0.06	Mn 4.77-9.05	2	0.09
			Cu 0.51-3.13	4	0.25	Cu 1.09-4.01	4	0.16
Cr 0.42-0.51	5	0.23	Cr 0.45-1.03	2	0.12	Cr 0.62-0.74	1	0.04
			Co 0.02-0.1	3	0.2	Co 0.05-0.09	2	0.09
Pb 1.0-1.3	2	0.1	Pb 0.97-1.56	2	0.12	Pb 0.83-1.11	1	0.04
			Zn 1.3-14.64	1	0.06	Zn 23.84-45-85	4	0.12
Number of affecting factors 10	ΣN _p 31	D _n % 1.54	Number of affecting factors 15	ΣN _p 28	D _n % 1.74	Number of affecting factors 13	ΣN _p 32	D _n % 1.22

The conducted analysis allowed revealing the peculiarities of immune response in the studied groups. The maximum number of responses to the impact of various external factors was noted in the group of COPD patients (15 factors), while the minimum response was noted in individuals with BA (10 factors).

The activity of the immune response also differed between the study groups. Individuals with BA have shown the greatest response to nanofractions of 0-1 μm (4 responses), 50-100 μm (5 responses), as well as exposure to Mn (5 responses) and Cr (5 responses). In individuals with COPD, maximum immune activity was also noted for the fraction of 0-100 μm (10 responses), as well as exposure to Cu (4 responses) and Co (3 responses). In addition, responses to large fractions >100 μm and exposure to Zn were detected. In the control group, an increased response activity to larger fractions (400-700 μm), as well as exposure to Cu (4 responses) and Zn (4 responses) was revealed.

The component-wise indicator $D_p\%$ was used to identify trigger factors. In a group of BA patients, the maximum $D_p\%$ was observed when exposed to fractions of 50-100 μm ($D_p\%=0.25$), as well as to Fe ($D_p\%=0.2$), Mn ($D_p\%=0.24$) and Cr ($D_p\%=0.23$). In a group of COPD patients, the highest $D_p\%$ was revealed for 0-1 and 50-100 μm fractions ($D_p\%=0.17$ and $D_p\%=0.20$, respectively), as well as for Cu ($D_p\%=0.25$) and Co ($D_p\%=0.2$). In healthy individuals, the maximum component-wise indicator $D_p\%=0.21$ was detected when exposed to fractions of 400-700 μm .

Analysis of the integral indicator $D_{in}\%$ allowed identifying contingent, the most vulnerable to the impacts of external factors. The maximum $D_{in}\%$ was noted in the group of patients with COPD ($D_{in}\%=1.74$) at the minimum total activity of immune responses ($\sum N_p=28$). In the group of patients with BA, $D_{in}\%$ was 1.54 ($\sum N_p=31$). The lowest immune response was detected in healthy individuals ($D_{in}\%=1.22$) at the maximum total activity of immune responses ($\sum N_p=32$).

Discussion

Determining the nature, intensity, and factors of the impact of technogenic air pollutants on the immune system was carried out based on the assessment of the combined response of the parameters to a component-wise effect of microtoxics of the surface layer of atmospheric air.

The conducted analysis has revealed that microtoxics of the surface layer of atmospheric air exert the greatest integral pathogenic impact on the individuals with COPD and AD, while the least one, on the individuals of the control group. The obtained data indicate that air pollution with SSPs is unfavorable for all studied population cohorts, including healthy population. Exposure to SSPs activates various cellular mechanisms, and pro-inflammatory intracellular signaling cascades [13]. Individuals with bronchopulmonary pathology are most susceptible to SSP exposure [15, 18]. Exposure to microtoxics can contribute to the development and progression of respiratory diseases [20, 21].

The analysis of the impact of microtoxics of the surface layer of atmospheric air on the immune system has shown their maximum pathogenic effect in the group of individuals with COPD ($n=15$), which indicates the greatest vulnerability of the immune system at chronic obstructive pulmonary disease. This is due to the fact that a chronic systemic inflammatory response is formed in COPD [2]. Atmospheric air pollution plays a major role in the pathogenesis of both COPD and BA. Despite the fact that patients with BA actively respond to cumulative anthropogenic exposure ($D_{in}\%=1.54$), the number of trigger factors is reduced ($n=10$). In BA, stimulation and formation of the atopic component occurs, and the immune response has a selective nature to individual damaging environmental agents. Increased content of metals, associated with microsize fractions, capable of penetrating more deeply into the respiratory tract, creates prerequisites for forming metal allergies [11, 17]. The most adequate response of the immune system to the impact of external factors was noted in the control group, which indicates an increased adaptive capacity of a healthy body [13]. However, the results indicate that the technogenic pollution of Vladivostok city has a pathogenic effect on the healthy population of the city as well.

The activity of the immune response and the component-wise indicator of the response differ in the studied groups depending on the ranges of microtoxicant fractions. The fractions of 50-100 μm have the greatest pathogenic impact on all groups. The fractions in the 0-1 μm range also have an active impact on the immune system of patients with BA and COPD. However, according to the integral immune response level ($D_{in}\%=1.22$), healthy individuals much easier tolerate exposure to atmospheric air microtoxics, indicating a higher level of compensatory-adaptation mechanisms. Literature analysis indicates a multi-directional mechanism of impact of microtoxics on the immune system for the studied nosological entities, which may be due to a different type of formed systemic inflammatory reaction. Exposure of SSPs to the patients with BA promotes the formation of IL-1, IL-8 and maturation of B-lymphocytes, as well as the production of atopic inflammatory mediators (IgE) [14]. Proinflammatory mediators, such as IL-6, IL-1 β , TNF- α and IL-8 increase in patients with stable COPD. Impact of SSPs activates NF- κB , which regulates TNF- α and IL-1 β transcription and, consequently, increases the inflammatory processes [22].

The response of immune system to heavy metals varies significantly: maximum activity in the group of patients with BA was observed when exposed to Fe ($N_p=3$, $D_p\%=0.2$), Mn ($N_p=5$, $D_p\%=0.24$), Cr ($N_p=5$, $D_p\%=0.23$); in patients with COPD, to Cu ($N_p=4$, $D_p\%=0.25$), Co ($N_p=3$, $D_p\%=0.2$); while component-wise response rate in healthy individuals did not exceed $D_p\%=0.16$. The interaction of metallic

elements with functional groups of macromolecules is an important mechanism of their toxicity. The result of exposure to heavy metals depends not only on the nature of the causative agent, physicochemical form, dose, exposure conditions, but also on the individual factors of the body [10]. Heavy metals can have a specific impact on immunity. It has been shown that exposure to some heavy metals leads to an increase in TNF- α , IL-6, IL-8, activates NF- κ B, disrupts immune homeostasis and activates inflammation processes [10, 24]. In individuals with chronic respiratory pathology, air pollution by heavy metals cause a pronounced response, characterized by the intensification of inflammatory processes [1, 4].

Conclusions

In the course of the conducted study, correlation relationships have been revealed, which allowed establishing the intensity of the response of the immune system to the impacts of different SSP fractions and absorbed heavy metals. It was revealed that microtoxics have a negative impact on all the studied population cohorts. Individuals with bronchopulmonary pathology have shown a more pronounced immune response. The analysis allowed identifying the trigger factors of the surface layer of atmospheric air in the city of Vladivostok (fractions of 0-1 and 50-100 microns, as well as occurrence of Fe, Mn, Cr, Cu, Co) and the ranges of their impacts on the immune system of healthy population and individuals with bronchopulmonary pathology, which allows predicting the formation and exacerbation of environmental-dependent bronchopulmonary pathology, and initiating a set of preventive measures.

Conclusion of the Ethics Committee. The study was conducted in accordance with the principles of the Declaration of Helsinki, and approved by the Institutional Review Board and approved by the Ethics Committee of the Vladivostok branch of the Far Eastern Scientific Center of Physiology and Pathology of Respiration – Research Institute of Medical Climatology and Restorative Treatment (protocol no. 9, 24.11.2021).

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

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

Sponsorship information. The study had no sponsorship.

References

1. Veremchuk L.V., Yankova V.I., Vitkina T.I., Golokhvast K.S., Barskova L.S. The atmospheric pollution in urbanized territories as a system process of the interaction of environmental factors. *Zdorove. Meditsinskaia ekologiya. Nauka*, 2015, vol. 61, no. 3, pp. 35-42.
2. Vitkina T.I., Veremchuk L.V., Gvozdenko T.A., Mineeva E.E. Regression analysis to estimate the response of the respiratory organs to exposure of air microtoxics in chronic obstructive pulmonary disease. *Bulletin Physiology and Pathology of Respiration*, 2021, no. 82, pp. 45-52. <https://doi.org/10.36604/1998-5029-2021-82-45-52>
3. Kaitmazova N.K. Dynamics of indicators of cytokines of children with obstructive bronchitis when using immunomodulators in therapy. *Sovremennye voprosy biomeditsiny*, 2022, vol. 6, no. 1, pp. 39-44. <https://doi.org/10.51871/2588-0500202206012>
4. Yankova V.I., Veremchuk L.V., Vitkina T.I., Gvozdenko T.A., Golokhvast K.S. The response of the lipid peroxidation - antioxidant protection system on the complex impact of the environmental factors in respiratory diseases. *Sibirskii nauchnyi meditsinskii zhurnal*, 2016, vol. 36, no. 3, pp. 94-102.
5. Arias-Perez R.D., Taborda N.A., Gomez D.M., Narvaez J.F., Porras J., Hernandez J.C. Inflammatory effects of particulate matter air pollution. *Environ Sci Pollut Res Int*, 2020, vol. 27, no. 34, pp. 42390-42404. <https://doi.org/10.1007/s11356-020-10574-w>
6. Bai L., Wang J., Ma X., Lu H. Air Pollution Forecasts: An Overview. *Int J Environ Res Public Health*, 2018, vol. 15, no. 4, 780. <https://doi.org/10.3390/ijerph15040780>
7. Bala G.P., Rajnoveanu R.M., Tudorache E., Motișan R., Oancea C. Air pollution exposure-the (in)visible risk factor for respiratory diseases. *Environ Sci Pollut Res Int*, 2021, vol. 28, no. 16, pp. 19615-19628. <https://doi.org/10.1007/s11356-021-13208-x>
8. Barskova L.S., Vitkina T.I., Gvozdenko T.A., Kondratyeva E.V., Veremchuk L.V. Mechanism of Response of Alveolar Macrophages in Wistar Rats to the Composition of Atmospheric Suspensions. *Atmosphere*, 2022; vol.13, no. 9, 1500. <https://doi.org/10.3390/atmos13091500>
9. Barskova L.S., Vitkina T.I., Gvozdenko T.A., Veremchuk L.V., Golokhvast K.S. Assessment of air pollution by small-sized suspended particulate matter in urbanized territories with various technogenic load (on the example of Vladivostok, Russia). *Russian Open Medical Journal*, 2019, vol. 8, no. 3, 304. <https://doi.org/10.15275/rusomj.2019.0304>
10. Corradi M., Mutti A. Metal ions affecting the pulmonary and cardiovascular systems. *Met Ions Life Sci*, 2011, no. 8, pp. 81-105.

11. Dunn R.M., Busse P.J., Wechsler M.E. Asthma in the elderly and late-onset adult asthma. *Allergy*, 2018, vol. 73, no. 2, pp. 284-294. <https://doi.org/10.1111/all.13258>
12. Forman H.J., Finch C.E. A critical review of assays for hazardous components of air pollution. *Free Radic Biol Med*, 2018, vol. 117, pp. 202-217. <https://doi.org/10.1016/j.freeradbiomed.2018.01.030>
13. Glencross D.A., Ho T.R., Camina N., Hawrylowicz C.M., Pfeffer P.E. Air pollution and its effects on the immune system. *Free Radic Biol Med*, 2020, no. 151, pp. 56-68. <https://doi.org/10.1016/j.freeradbiomed.2020.01.179>
14. Honda A., Fukushima W., Oishi M., Tsuji K., Sawahara T., Hayashi T., Kudo H., Kashima Y., Takahashi K., Sasaki H., Ueda K., Takano H. Effects of Components of PM_{2.5} Collected in Japan on the Respiratory and Immune Systems. *Int J Toxicol*, 2017, vol. 36, no. 2, pp.153-164. <https://doi.org/10.1177/1091581816682224>
15. Jacquet A. Characterization of Innate Immune Responses to House Dust Mite Allergens: Pitfalls and Limitations. *Front Allergy*, 2021, no. 2, 662378. <https://doi.org/10.3389/falgy.2021.662378>
16. Manisalidis I., Stavropoulou E., Stavropoulos A., Bezirtzoglou E. Environmental and Health Impacts of Air Pollution: A Review. *Front Public Health*, 2020, vol. 8, 14. <https://doi.org/10.3389/fpubh.2020.00014>
17. Nanda A., Baptist A.P., Divekar R., Parikh N., Seggev J.S., Yusin J.S., Nyenhu-is S.M. Asthma in the older adult. *J Asthma*, 2020, vol. 57, no. 3, pp. 241-252. <https://doi.org/10.1080/02770903.2019.1565828>
18. Shaw O.M., Sawyer G.M., Hurst R.D., Dinnan H., Martell S. Different immune and functional effects of urban dust and diesel particulate matter inhalation in a mouse model of acute air pollution exposure. *Immunol Cell Biol*, 2021, vol. 99, no. 4, pp. 419-427. <https://doi.org/10.1111/imcb.12425>
19. Veremchuk L. V., Vitkina T. I., Barskova L. S., Gvozdenko T. A., Mineeva E.E. Estimation of the size distribution of suspended particulate matters in the urban atmospheric surface layer and its influence on bronchopulmonary pathology. *Atmosphere*, 2021, vol. 12, no. 8. <https://doi.org/10.3390/atmos12081010>
20. Veremchuk, L.V.; Mineeva, E.E.; Vitkina, T.I.; Gvozdenko, T.A.; Golokhvast, K.S. Impact of atmospheric microparticles and heavymetals on external respiration function of urbanized territory population. *Russian Open Medical Journal*, 2017, vol. 6, no. 4, 402. <https://doi.org/10.15275/rusomj.2017.0402>
21. Veremchuk, L.V.; Yankova, V.I.; Vitkina, T.I.; Nazarenko, A.V.; Golokhvast, K.S. Urban air pollution, climate and its impact on asthma morbidity. *Asian Pac. J. Trop. Biomed*, 2016, vol. 6, no.1, pp. 76–79. <https://doi.org/10.1016/j.apjtb.2015.10.001>

22. Wang Q., Liu S. The Effects and Pathogenesis of PM2.5 and Its Components on Chronic Obstructive Pulmonary Disease. *Int J Chron Obstruct Pulmon Dis*, 2023, vol. 6, no. 18, pp. 493-506. <https://doi.org/10.2147/COPD.S402122>
23. WHO. Air pollution. 2018. https://www.who.int/health-topics/air-pollution#tab=tab_1
24. Zhang Y. Toxic effects of heavy metals on the immune system: evidence from population and in vitro studies. (2021). University of Groningen. <https://doi.org/10.33612/diss.169979297>
25. Zuo L., Wijegunawardana D. Redox Role of ROS and Inflammation in Pulmonary Diseases. *Adv Exp Med Biol*, 2021, vol. 1304, pp. 187-204. https://doi.org/10.1007/978-3-030-68748-9_11

Список литературы

1. Веремчук Л.В., Янькова В.И., Виткина Т.И., Голохваст К.С., Барскова Л.С. Загрязнение атмосферы урбанизированной территории как системный процесс взаимодействия факторов окружающей среды // Здоровье. Медицинская экология. Наука. 2015. Т. 61, № 3. С. 35-42.
2. Виткина Т.И., Веремчук Л.В., Гвозденко Т.А., Минеева Е.Е. Регрессионный анализ для оценки ответной реакции органов дыхания на воздействие микротоксикантов воздуха при хронической обструктивной болезни легких / // Бюллетень физиологии и патологии дыхания. 2021. №82. С. 45-52. <https://doi.org/10.36604/1998-5029-2021-82-45-52>
3. Кайтмазова Н.К. Динамика показателей иммунитета у детей с обструктивным бронхитом // Современные вопросы биомедицины. 2022. Т. 6, № 1. <https://doi.org/10.51871/2588-0500202206012>
4. Янькова В.И., Веремчук Л.В., Виткина Т.И., Гвозденко Т.А., Голохваст К.С. Ответная реакция системы «перекисное окисление липидов - антиоксидантная защита» на комплексное воздействие природно-экологических факторов при заболеваниях органов дыхания // Сибирский научный медицинский журнал. 2016. Т. 36, № 3. С. 94-102.
5. Arias-Perez R.D., Taborda N.A., Gomez D.M., Narvaez J.F., Porras J., Hernandez J.C. Inflammatory effects of particulate matter air pollution // *Environ Sci Pollut Res Int*, 2020, vol. 27, no. 34, pp. 42390-42404. <https://doi.org/10.1007/s11356-020-10574-w>
6. Bai L., Wang J., Ma X., Lu H. Air Pollution Forecasts: An Overview // *Int J Environ Res Public Health*, 2018, vol. 15, no. 4, 780. <https://doi.org/10.3390/ijerph15040780>
7. Bala G.P., Rajnoveanu R.M., Tudorache E., Motișan R., Oancea C. Air pollution exposure-the (in)visible risk factor for respiratory diseases // *Environ Sci*

- Pollut Res Int, 2021, vol. 28, no. 16, pp. 19615-19628. <https://doi.org/10.1007/s11356-021-13208-x>
8. Barskova L.S., Vitkina T.I., Gvozdenko T.A., Kondratyeva E.V., Veremchuk L.V. Mechanism of Response of Alveolar Macrophages in Wistar Rats to the Composition of Atmospheric Suspensions // Atmosphere, 2022; vol.13, no. 9, 1500. <https://doi.org/10.3390/atmos13091500>
 9. Barskova L.S., Vitkina T.I., Gvozdenko T.A., Veremchuk L.V., Golokhvast K.S. Assessment of air pollution by small-sized suspended particulate matter in urbanized territories with various technogenic load (on the example of Vladivostok, Russia) // Russian Open Medical Journal, 2019, vol. 8, no. 3, 304. <https://doi.org/10.15275/rusomj.2019.0304>
 10. Corradi M., Mutti A. Metal ions affecting the pulmonary and cardiovascular systems // Met Ions Life Sci, 2011, no. 8, pp. 81–105.
 11. Dunn R.M., Busse P.J., Wechsler M.E. Asthma in the elderly and late-onset adult asthma // Allergy, 2018, vol. 73, no. 2, pp. 284-294. <https://doi.org/10.1111/all.13258>
 12. Forman H.J., Finch C.E. A critical review of assays for hazardous components of air pollution // Free Radic Biol Med, 2018, vol. 117, pp. 202-217. <https://doi.org/10.1016/j.freeradbiomed.2018.01.030>
 13. Glencross D.A., Ho T.R., Camina N., Hawrylowicz C.M., Pfeffer P.E. Air pollution and its effects on the immune system // Free Radic Biol Med, 2020, no. 151, pp. 56-68. <https://doi.org/10.1016/j.freeradbiomed.2020.01.179>
 14. Honda A., Fukushima W., Oishi M., Tsuji K., Sawahara T., Hayashi T., Kudo H., Kashima Y., Takahashi K., Sasaki H., Ueda K., Takano H. Effects of Components of PM2.5 Collected in Japan on the Respiratory and Immune Systems // Int J Toxicol, 2017, vol. 36, no. 2, pp.153-164. <https://doi.org/10.1177/1091581816682224>
 15. Jacquet A. Characterization of Innate Immune Responses to House Dust Mite Allergens: Pitfalls and Limitations // Front Allergy, 2021, no. 2, 662378. <https://doi.org/10.3389/falgy.2021.662378>
 16. Manisalidis I., Stavropoulou E., Stavropoulos A., Bezirtzoglou E. Environmental and Health Impacts of Air Pollution: A Review // Front Public Health, 2020, vol. 8, 14. <https://doi.org/10.3389/fpubh.2020.00014>
 17. Nanda A., Baptist A.P., Divekar R., Parikh N., Seggev J.S., Yusin J.S., Nyenhuis S.M. Asthma in the older adult // J Asthma, 2020, vol. 57, no. 3, pp. 241-252. <https://doi.org/10.1080/02770903.2019.1565828>
 18. Shaw O.M., Sawyer G.M., Hurst R.D., Dinnan H., Martell S. Different immune and functional effects of urban dust and diesel particulate matter inhalation in

- a mouse model of acute air pollution exposure // *Immunol Cell Biol*, 2021, vol. 99, no. 4, pp. 419-427. <https://doi.org/10.1111/imcb.12425>
19. Veremchuk L. V., Vitkina T. I., Barskova L. S., Gvozdenko T. A., Mineeva E.E. Estimation of the size distribution of suspended particulate matters in the urban atmospheric surface layer and its influence on bronchopulmonary pathology // *Atmosphere*, 2021, vol. 12, no. 8. <https://doi.org/10.3390/atmos12081010>
20. Veremchuk, L.V.; Mineeva, E.E.; Vitkina, T.I.; Gvozdenko, T.A.; Golokhvast, K.S. Impact of atmospheric microparticles and heavy metals on external respiration function of urbanized territory population // *Russian Open Medical Journal*, 2017, vol. 6, no. 4, 402. <https://doi.org/10.15275/rusomj.2017.0402>
21. Veremchuk, L.V.; Yankova, V.I.; Vitkina, T.I.; Nazarenko, A.V.; Golokhvast, K.S. Urban air pollution, climate and its impact on asthma morbidity // *Asian Pac. J. Trop. Biomed*, 2016, vol. 6, no.1, pp. 76–79. <https://doi.org/10.1016/j.apjtb.2015.10.001>
22. Wang Q., Liu S. The Effects and Pathogenesis of PM2.5 and Its Components on Chronic Obstructive Pulmonary Disease // *Int J Chron Obstruct Pulmon Dis*, 2023, vol. 6, no. 18, pp. 493-506. <https://doi.org/10.2147/COPD.S402122>
23. WHO. Air pollution. 2018. https://www.who.int/health-topics/air-pollution#tab=tab_1
24. Zhang Y. Toxic effects of heavy metals on the immune system: evidence from population and in vitro studies. (2021). University of Groningen. <https://doi.org/10.33612/diss.169979297>
25. Zuo L., Wijegunawardana D. Redox Role of ROS and Inflammation in Pulmonary Diseases // *Adv Exp Med Biol*, 2021, vol. 1304, pp. 187-204. https://doi.org/10.1007/978-3-030-68748-9_11

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

Lyudmila V. Veremchuk, PhD, DSc, Leading Researcher, Laboratory of Medical Ecology and Recreational Resources
Vladivostok Branch of Far Eastern Scientific Center of Physiology and Pathology of Respiration – Institute of Medical Climatology and Rehabilitative Treatment

73g, Russkaya Str., Vladivostok, Russian Federation
veremchuk_lv@mail.ru
SPIN-code: 4008-4364
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6372-6560>
Scopus Author ID: 6507422335

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

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

ДАННЫЕ ОБ АВТОРАХ

Веремчук Людмила Васильевна, д.б.н., вед.н.с. лаборатории медицинской экологии и рекреационных ресурсов
Владивостокский филиал Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Дальневосточный научный центр физиологии и патологии дыхания» – Научно-исследовательский институт медицинской климатологии и восстановительного лечения
ул. Русская, 73г, г. Владивосток, 690105, Российская Федерация
veremchuk_lv@mail.ru

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

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

Поступила 13.07.2023

После рецензирования 02.10.2023

Принята 16.10.2023

Received 13.07.2023

Revised 02.10.2023

Accepted 16.10.2023

ЗЕМЛЕДЕЛИЕ И ЗАЩИТА РАСТЕНИЙ

SOIL FERTILITY AND PLANT PROTECTION

DOI: 10.12731/2658-6649-2024-16-2-820

UDC 332.3



Original article

ASSESSMENT OF LAND RESOURCES EVALUATION BASED ON LAND CAPACITY AND FERTILITY PERSPECTIVES FOR AGRICULTURAL COMMODITIES IN LESTI SUB-WATERSHED

Maroeto, Rossyda Priyadarshini, Wahyu Santoso

Land use that disregards the potential of the land, like is the case in watershed areas, not only increases the danger of disaster, but it can also lead to environmental damage. This study intends to assess the land capacity and soil fertility in the Lesti Sub-watershed in Malang Regency, East Java Province. GIS analysis, descriptive analysis, and laboratory tests were the data analytic techniques employed in this study. Four different land use types Moor, Coffee Plantation, Snakefruit Plantation, and Shrubs can be found in the area surrounding the watershed, according to field observations. The research findings imply that sloping and hilly plains have limiting factors for variable land capacities and limiting factors such as land slope and permeability. The study also provides an overview, namely that overall soil fertility is low and in all land use units, including the limiting factors on base saturation, C-organic, phosphate, and potassium. Overall, the research gives information or instructions for accurately analyzing land resources to measure agricultural commodity output based on the physiography of watershed areas experiencing land degradation.

Keywords: Land Capability; Soil Fertility; Watershed

For citation. Maroeto, Rossyda Priyadarshini, Wahyu Santoso. Assessment of Land Resources Evaluation Based on Land Capacity and Fertility Perspectives for Agricultural Commodities in Lesti Sub-Watershed. Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture, 2024, vol. 16, no. 2, pp. 198-212. DOI: 10.12731/2658-6649-2024-16-2-820

Introduction

The watershed is a dynamic ecosystem that connects upstream and downstream, where a river unit and its tributaries naturally collect, store, and distribute water originating from rainfall to lakes or the sea. Land boundaries separate topography and sea boundaries from water areas that are still affected by land activities. Experts, researchers, policymakers, and natural resource managers have all recognized over the last few decades that the watershed is one of the most important land management units [1]. Watershed management, according to [2], is a type of regional development that uses watersheds as a management unit, and is basically efforts to use natural resources rationally to achieve profitable agricultural production goals [3].

Meanwhile, [4] assert that it is important to be aware of the existence of human and natural variables, which are elements that cause watershed damage. Natural causes are those brought on by nature and can take the shape of disasters like landslides and volcanic eruptions, whereas human factors are those brought on by people and have a significant impact on the watershed ecology. Human use of watershed land frequently goes over the allowed amount. This phenomena may be observed in Indonesia's watersheds, which are dispersed over numerous regions and have suffered significant harm that has led to land degradation. In accordance with the Ministry of Environment and Forestry's statistics data from 2013, Indonesia had 19.57 million hectares of critical land and 4.74 million hectares of very critical land, for a total critical land area of 44.30 million hectares [5]. The Lesti sub-watershed in Malang Regency is one of those with a large enough critical area. This sub-watershed covers the upstream portion of the Brantas watershed, which receives priority treatment. The Lesti sub-watershed encompasses 58,384 hectares and comprises 21,928 hectares of important land that must be repaired urgently. The occurrence of landslides, floods, and other natural disasters linked to land usage within the watershed are additional issues unique to the Lesti sub-watershed. In reality, these three processes typically emerge from land farming in steeply sloping places without any further attempts to conserve soil and water. Even research studies [6] have shown that the condition of the Lesti sub-watershed has been harmed owing to reduced land cover, therefore it has the potential to endure a water shortfall. In 2017, there was a 2,141,057m³ water shortage during the dry season.

Environmental damage can result from land use that ignores the potential of the land in addition to posing a danger of disaster. Therefore, it is necessary to provide input based on conservative measures so that it can evolve into a different approach in an effort to progress agriculture in the Lesti Sub-watershed

area while also giving guidance for the development of superior commodities that can be decided. Analyzing land resources is one way to accomplish this, paying close attention to their fertility and capability already in place. [7] stated that ‘capacity’ is used to refer to the potential of land to be used in a given way or with certain management methods, which essentially means that capability is an assessment of the relative suitability of land for certain uses. [8] stated that in order to restore degraded land, land capability analysis is critical in order to create a database that includes hydrological and soil parameters. Furthermore, knowledge of land capability and suitability allows for the planning of land use and the development of land management capable of enhancing agricultural productivity [9]. Soil fertility is positioned in another context as a reliable method for assessing land resources. According to [10] and [11], soil fertility is the state of a soil that indicates its ability to provide necessary nutrients in adequate amounts for plant growth.

Observing characteristics of land capability and fertility can serve as a guideline for more optimal land usage in accordance with expectations, while not overlooking the importance of nutrient content in supporting plant growth. This is done because the two aspects will offer an accurate assessment in accordance with the dynamics of living, in which food must constantly be fulfilled, as well as efforts to construct functional regional spatial design. The research conducted allows for updating in areas where the scope of the notion of land capability and fertility in the Lesti sub-watershed has never been thoroughly studied. Empirical study focuses on the research issue, such as the analysis of surface runoff dispersion [12]. [6] which focuses on the availability of water resources. [13] who used GIS to conduct a land use analysis in the Lesti watershed. Furthermore, there is study on the analysis of the sedimentation of the Lesti Das with changes in land use [14]. The study is set to become a benchmark for watershed performance by including conservation concepts while also recommending superior agricultural goods. The purpose of this study is to assess land capabilities and soil fertility in the Lesti Sub-watershed in Malang Regency, East Java Province.

Research method

a. Location

The study was carried out in the Lesti sub-watershed, which is part of the larger Brantas watershed upstream. The Lesti sub-watershed is administratively located in Malang Regency and covers an area of 64,740.84 acres. The research area is bounded by Sukodono Village, which is one of the communities in

Dampit District. Sukodono Village was chosen because the area has substantial land degradation, including flood and landslide indicators. Sukodono Village is located at an elevation of 300 meters above sea level and has an average temperature of 20-27 degrees Celsius. Sukodono Village contains four land use units based on field observations: Moorland, Coffee Plantations, Snakefruits Gardens, and Shrubs.

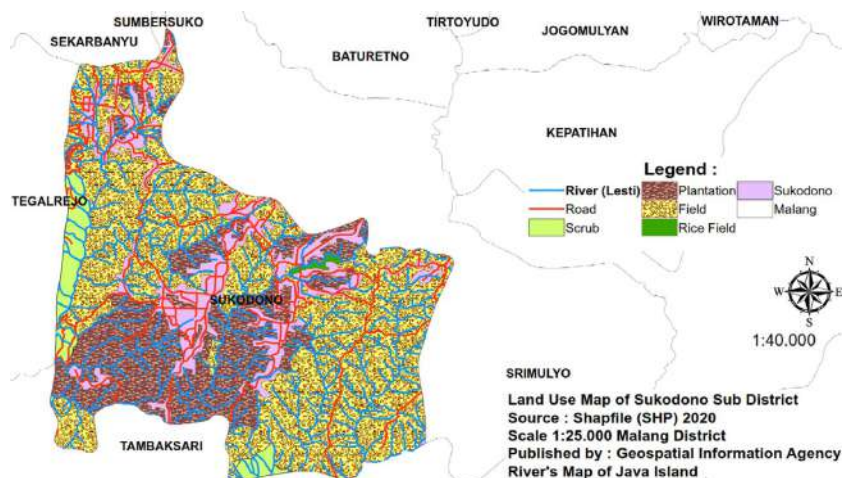


Figure 1. Land Use in Sukodono Village as a Water Catchment Area
Lesti sub-watershed

b. Sampling

The parameters of the observations that will be studied are adjusted by soil sampling. Disturbed soil samples collect aggregate soil. Soil rings were used to collect undisturbed soil samples, and sterile soil samples were collected for biological analysis. Collecting sterile soil samples with an alcohol-sprayed soil drill. Slope, erosion sensitivity, solum depth, drainage, soil texture, permeability, hazard of flooding, and rock/gravel are the observed land capacity parameters. Soil fertility metrics include CEC, Base Saturation, C-Organic, P_2O_5 , and K_2O . Land capability parameters are assessed using [15] assessments, whereas land fertility parameters are calculated using the Technical Guidelines for Soil Fertility Evaluation [16]. The sampling was done at 15 sites, with three repetitions for each land use. Furthermore, soil samples were collected at the following depths: 0-20 cm, 20-40 cm, and 40-60 cm. 45 soil samples were collected in total.

c. Data analysis

Data analysis techniques used in this study are:

1. GIS analysis using overlay

This technique is used to determine the suitability of changes in land use with land capabilities. The data study included administrative maps of the research area, soil type maps, slope maps, land use maps, which were then carried out using an overlay technique. GIS analysis was performed using Arc View Software version 3.3.2.

2. Descriptive Analysis

Descriptive analysis is used to explain the findings in the field. The findings from this study include the extent of changes in land use and the degree of suitability of changes in land use with land capabilities.

3. Laboratory Test

The collected soil samples were then taken to the Laboratory of Land Resources and Plant Health, Faculty of Agriculture UPN “Veteran” East Java, to be tested for soil samples in the form of Acidity Level (pH), Cation Exchange Capacity (CEC), Base Saturation (KB), levels C-Organic, total N, Ptotal, and K-total content. The soil samples that have been taken are analyzed qualitatively to obtain data on the chemical properties of the soil. Data on soil chemical properties obtained were then analyzed for suitability with the soil fertility suitability table based on soil analysis assessment criteria and plant growth requirements. Soil color analysis was carried out by matching the soil samples with the Munsell Soil Color Chart book.

Results and Discussion

a. Land Capability Assessment

Land capability is an assessment of land capability for certain applications based on each restricting factor. Land use that is not in accordance with its capabilities and is not accompanied by adequate soil conservation initiatives will exacerbate erosion. Land capacity class is a set of land uses in an area based on the land's potential to be used efficiently and ideally with particular treatments so that it can be used sustainably. Soil sampling data were evaluated, and land capability classes were developed based on land usage. The five land uses at the research site are as follows:

Table 1 shows that the value of land capability class IV with a limit on the slope level results in a variety of restricting factors when assessing upland land use units. Despite a slope of 25.8%, dry ground is used for salak plants. In ad-

dition to snakefruit land, upland land is capable of being classified as class IV land. Although considerable land management is required, the area can be used for growing food crops. Additionally, there are fewer attempts made to determine plant options than for classes I to III, and difficult slopes have the greatest influence on land use units on dry land.

Table 1.

Parameters	Land Use				
	Moor	Dry land	Snakefruit	Coffee	Shrubs
Slope	D	C	D	E	E
Erosion Sensitivity	KE3	KE3	KE3	KE4	KE4
Solum Depth	k0	k1	k1	k1	k0
Drainage	d2	d2	d1	d2	d3
Soil Texture	t2	t2	t2	t1	t1
Permeability	P3	P4	P3	P3	P2
Flood Threat	O0	O0	O0	O0	O0
Gravel/Rock	b0	b0	b0	b0	b0
Salinity	g0	g0	g1	g0	g1
Limitation	Slope	Permeability	Slope	Slope	Slope
Land Capability Class	IV	III	IV	VI	VI

Source: Data Analysis (2023).

Seasonal crops, agricultural crops, shrubs or grass, protected forests, production forests, and nature reserves are typically employed on Class IV property. The soil has a deep solum in the moor area. The characteristics of the plants planted have an impact on the land’s condition in dry locations with a cropping strategy utilizing polyculture and annual coffee plants. Utilizing salak plants, for instance, on upland with sloping or mountainous slopes, is particularly beneficial for lowering erosion rates. Dry land is often neutral to slightly acidic, according to laboratory test results. Although the roots of snakefruits plants are fibrous, they are also fairly powerful. As a result, the loss of soil in this location can maintain the thickness of the soil. Surface runoff’s volume and speed will be impacted by the slope’s relative height. The topsoil is affected by the runoff by losing soil. As a result, the soil’s solum is declining, which lowers its productivity and makes it impossible to make other types of land improvements. The rate of surface runoff will increase as the slope of the ground increases. Due to this, there is a greater amount of soil erosion. Land in class IV should be utilized for a variety of land capacities

[17]. Given the comparatively high value of land potential, agricultural land should be used as efficiently as possible.

The evaluation of resources at the research site revealed that land use units, particularly dry land paddy fields, had land capability class III. When compared to other land uses, the utilization of dry land rice fields has the highest land capability class. The characteristics of rainfed lowland land have a different class of land capabilities than the moor. This result is consistent with [18] that the average land capability for paddy fields in class 3 is near to class 4, while dry land capability in class 4 is close to class 5. Class III is a type of land that is excellent for growing annual crops, particularly paddy plant. As a result, the land use of rice has a relatively steady value in comparison to other uses. The permeability value, 6.5 cm/hour on average, entering the rather fast permeability class, and the criteria for group P4 are the limiting considerations for the usage of paddy fields. This value is uncommon when compared to other land uses. The shown conditions should be moderately loamy soil with a high unit weight. In actuality, paddy fields have water availability depends on rainfall, except in places near river streams. This is because the land has a rainfed water management system. According to [15], the classification in class III to class IV land capability has a slope in the range of 8% -30%. The key limiting factor is very high permeability, as well as a relatively shallow solum due to frequent erosion. The magnitude of the permeability value influences the capacity of the land to hold water. These criteria suggest consistency between field observations and laboratory analysis.

Land use for the growth of coffee plants and shrubs has the potential of class VI land, with the limiting element of the land's slope, specifically a slope of 33-34%. [15] claimed that in class VI land capability, it is very unlikely to be cultivated and the land is in current conditions where grass or shrubs flourish. On the other hand, in the field, it is known that coffee plantations have altered a lot of crops or land conversion with snakefruits plants. The land usage of shrubs has not been used optimally, thus land conservation efforts are still not optimal; the majority of plant commodities are kriyu plants and horrible shards of shrubs or grass. This means that the land is not productive, so it is used for snakefruits plants by intercropping with annual crops and creating terraces to reduce the rate of erosion. The scrub land was formerly a tea garden, but it was abandoned and overgrown with plants. The soil of Class VI land capability rating is prone to erosion. Even if the area has been transformed into a producing forest, the management must be accurate and in compliance with conservation principles. Some class VI terrain have deep solums. Because coffee is an annual

plant, this area has a deep solum, just like coffee fields. However, most farmers do not manage their land in accordance with conservation principles. As a result, actions to enhance the ground carried out by farmers on this land are required to prevent landslides in the area around the coffee plantations and for shrub.

A limiting constraint for land usage in the Lesti sub-watershed, particularly in mountainous places, is the land's slope, which can be up to very steep. This is especially true for class IV and VI property. One of the causes of land erosion is slopes. The quantity of surface runoff and the energy of water on soil particles are both impacted by steep slopes. The more soil particles that are splashed down by raindrop contact, the higher the slope of the slope. There is little slope on upland land where saladk, coffee, and shrubs are grown. Due to the slope of the slope, which slows down surface runoff, decreasing infiltration rates might result in an increase in the volume of surface runoff and soil erosion [19][18].

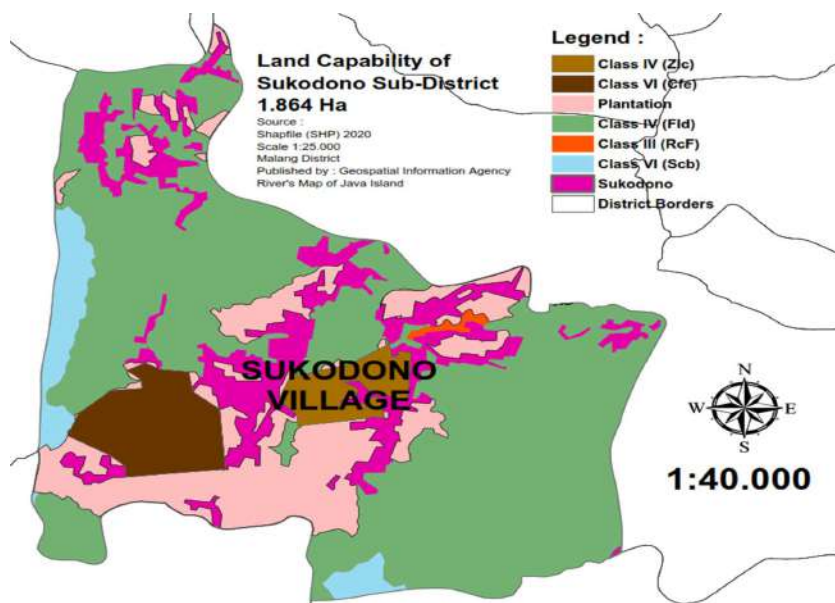


Figure 2. Land Capability Map

b. Soil Fertility Assessment

The capacity of the soil to offer nutrients in adequate and balanced amounts for plant growth and yield is known as soil fertility. The availability of sufficient and balanced nutrients, ideal soil water and air conditions, and favorable soil microbial

conditions all contribute to soil fertility. However, the Lesti sub-watershed has a low class of fertility status for all land uses. various class assignment values. The results of the study show that the high rate of erosion is to blame for the low soil fertility class. The slope of the slope affects whether erosion values are high or low. The slope is what prevents the bulk of land utilization, according to data on land capability. high rainfall levels, which increase the risk of erosion. As a result of the raindrops' size splashing on the ground, the precipitation causes the soil aggregates it hits to break apart into individual soil particles. Additionally, it will be swept away by water currents from high to low areas, causing silt to accumulate. Low soil fertility can be seen in areas with steep slopes [20].

The four levels of fertility are high (T), moderate (S), low (R), and very low (SR). In order to determine what efforts can be made to increase soil productivity, which will also have an impact on increasing crop yields and the standard of living in farming communities, classification of soil fertility capability looks at the field-based factors that affect the level of soil fertility. Loss of topsoil or topsoil results in the loss of nutrients and can have an impact on the soil's physical characteristics, one of which is harm to the soil structure. A variety of soil-forming elements, such as parent material, climate, relief, organisms, or time, can influence the soil fertility at a given area. As illustrated in Table 2, the classification of soil fertility capacity for different land uses comprises fields, rice fields, salak gardens, and coffee plantations. 1,500–2,500 mm of rain fall each year falls on the ground near Sukodono Village. This is consistent with earlier claims that high rainfall rates generate high rates of soil erosion because they force the soil to undergo a lot of sedimentation processes in places with low slope levels.

Each soil fertility measure has a distinct value in different land uses. The salak plantations, coffee plantations, and shrubs have a reasonably steep slope, making erosion a serious to extremely severe concern. According to [21], permeability is one of the causes of high and low levels of soil erodibility (erosion sensitivity). The higher the sand concentration of the soil, the greater its ability for infiltration. As a result, the ability to hold water is limited. Paddy fields, on average, have a higher clay content than other land uses. However, the terrain in Sukodono village has a significant sand component. This is due to the rainfed rice field management approach used in Sukodono Village.

Cation exchange capacity allows land to absorb and provide nutrients more effectively than low CEC land. According to the study's findings, a high CEC on scrubland was not matched by increased base saturation but had a low CEC (R) of 5.61%, and other spl CECs such as coffee plantations, salak plantations, fields, and rice fields as a whole showed CEC high (T) but all also had low base

saturation ranging from 4.47% to 6.34%. As a result, all land in the village area of Sukodono Village that is flowed by the Lesti sub-watershed has experienced a lot of alkaline cations leaching in the soil, so that it is dominated by acid cations, Al, H, and water movement occurs, causing erosion, which will cause loss of nutrients and reduce the level of soil fertility.

Table 2.

Land Use	Parameters					Justification
	KTK	KB	%C-org	P2O5	K2O	
Field	T	R	S	SR	SR	Low
Ricefield	T	R	R	SR	SR	Low
Salak Garden	ST	R	R	R	SR	Low
Coffee Garden	T	R	R	S	SR	Low
Shrubs	ST	R	R	T	SR	Low

Source: Data Analysis (2023).

Explanation:

T = Height

R = Low

ST = Very High

SR = Very Low

S = Moderate

The C-organic content in all land use units ranged from moderate to low, ranging from 2.17% to 1.03%. The field land use unit's moderate organic matter content (S), which was 2.17%, was heavily influenced by the multiple organic matter sources. Low organic matter content (R) is highly influenced by the slope of the ground in other regions such as paddy fields, gardens, and bushes, and most of the soil on the surface is lost by water to the land below or taken away by rivers.

Phosphate concentration ranges from 0.87 me/100g to 42.34 me/100g, and it is included in the criterion ranging from extremely low (SR) to high (T) for high land in shrubs, namely 42.34 me/100g and very low (SR). Due to land experiencing a lot of leaching, especially basic cations, the Al and Fe factors are very influential in paddy fields and fields because they have a very strong ability to bind P in soil conditions with a pH below 6, as well as very low potassium (SR) from 0.02 me/100g to 0.16 me/100g for all land uses. As a result, the land has a low soil fertility status for all land use units, with limiting characteristics such as base saturation, C-organic, phosphate, and potassium.

Rainwater carries soil particles away, resulting in the majority of namyak nutrients being deposited in low or sloping areas, causing sedimentation processes, which can cause a decrease in soil productivity or even become critical land and cannot be used to increase production, and damage occurring in conservation areas

[22]. According to [23], rainwater that falls to the earth causes erosion of the soil in its route, resulting in erosion on particular slopes. Indonesia is a tropical country with a rainy climate and annual rainfall of 2,500 mm. These lands are highly susceptible to runoff and erosion due to relatively high rainfall and relatively steep slopes.

The majority of the Lesti Sub-watershed, including Sukodono Village, features Alfisol soil types, a mountainous and limestone hilly physiography, and limestone parent material. Snakefruits and coffee plants are the most common types of plantation crops grown. Most of the Lesti Sub-watershed with the specific location of Sukodono Village has Alfisol soil types, mountainous and limestone hilly physiography, and limestone parent material. Factually the types of plantation crops cultivated are dominated by salak and coffee plants. The productivity of alfisols that is not optimal is strongly influenced by: (1) parent material which is dominated by limestone, (2) soil solum that is deep and shallow enough so that the root zone is affected, (3) soil horizons which are dominated by clay texture so that they often experience the process of eluviation in the upper layers and illuviation or deposition occurs in the sub horizon so that nutrients settle in the lower layers and some are also carried away by surface runoff due to the rate of movement of water in the rainy season, (4) water is also an obstacle in the dry season for areas far from River flow.

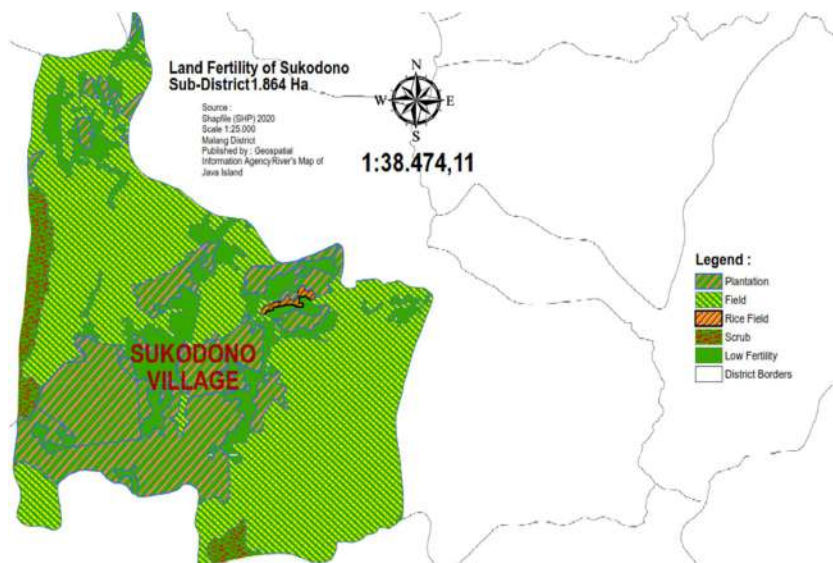


Figure 2. Land Fertility Map

Land in shrubs has a high rate of erosion because there are no annual plants in that location and the slope is steep. This is consistent with studies [24] that revealed higher rainfall intensity on open forest land and overgrazing on medium to steep slopes worsened substantial soil loss in water catchments. [25] also stated that when slopes are steep (25%), soil erosion increases dramatically because the dense protective cover of annual plants reduces and the cover of shrubs grows, and when slopes are very steep (40%), soil erosion remains constant. After planting is completed, the height remains the same. Other research findings include the fact that the slope on dry ground is likewise moderate, and the soil texture is sandy, allowing surface runoff containing nutrients to be taken away by the water flow. In comparison to other land uses, paddy fields have the lowest slope.

Conclusion

Land evaluation is a method of assessing the potential of land resources. Land evaluation results give the necessary information or guidance for land usage and can finally appraise the production of agricultural commodities to be gained. Furthermore, the class of land capability is primarily a collection of land uses in a region based on the land's ability to be used efficiently and ideally with particular treatments so that it can be used sustainably. The study's findings conclude that the sloping and mountainous plains in the Sukodono Village area have limiting elements for land capability ranging from class III to IV, with limiting criteria including land slope and sufficient permeability. Conversely, evaluating nutrient issues in the soil and offering fertilization advice are both steps in the soil fertility evaluation process. Different fertility levels exist on the land used for agriculture. It's critical to evaluate soil fertility in order to determine which minerals present challenges for plant growth. The addition of nutrients to the soil by fertilization is crucial to achieving profitable agricultural production since declining soil fertility can be a significant factor affecting soil productivity. Considering the findings, it can be concluded that base saturation, C-organic, phosphate, and potassium limitations as well as overall soil fertility are all in a bad state. Additionally, intense land cultivation has an impact on low soil fertility and contributes to erosion.

Acknowledgements. We would like to express thankfulness to Dr. Bakti Wisnu, Head of the Agrotechnology Department of University of Pembangunan Nasional "Veteran" Jawa Timur, for allowing us to use their laboratory for soil analysis. We would additionally like to thank the village head and the people of Sukodono for allowing soil samples to be obtained in the field throughout the research.

References

1. Salehpour Jam A., Mosaffaie J. Introducing the concept of a ladder of watershed management: A stimulus to promote watershed management approaches. *Environ. Sci. Policy*, 2023, vol. 147, no. January, pp. 315-325. <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2023.07.001>
2. Maroeto, Priyadarshini R., Santoso W. Integration GIS and Multicriteria analysis critical land farming in welang watershed. *Bulg. J. Agric. Sci.*, 2021, vol. 27, no. 2, pp. 242-252.
3. Wang G. et al. Integrated watershed management: evolution, development and emerging trends. *J. For. Res.*, 2016, vol. 27, no. 5, pp. 967-994. <https://doi.org/10.1007/s11676-016-0293-3>
4. Tang T., Stevenson R. J., Grace J. B. The importance of natural versus human factors for ecological conditions of streams and rivers. *Sci. Total Environ.*, 2020, vol. 704, p. 135268. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.135268>
5. Maroeto, Santoso W. GIS-Based Spatial Evaluation for Land Suitability. *AIP Conf. Proc.* 2023, 2798, p. 10. https://watermark.silverchair.com/020066_1_5.0154804.pdf?token=AQECAHi208BE49Ooan9kkhW_Ercy7Dm3ZL_9Cf3qfKA-c485ysgAABXQwggVwBgkqhkiG9w0BBwagggVhMIIFXQIBADCCB-VYGCSqGS1b3DQEHATAeBg1ghkgBZQMEAS4wEQQMhoYg3Jvo-67S663CHAgEQgIIFJxzE_OCWP9b8DBULSBF7IEqav0KiyX1F1W3.
6. Bukori A. S. Analisis Ketersediaan Sumber Daya Air Dan Upaya Konservasi Sub Das Lesti Kabupaten Malang. Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya, 2017.
7. Sitorus S. R. P. Land Capability Classification for Land Evaluation : a Review. *J. Sumberd. Lahan*, 2010, vol. 4, no. 2, pp. 69-78.
8. Kusumandari A., Nugroho P. Land Capability Analysis Based on Hydrology and Soil Characteristics for Watershed Rehabilitation. *Procedia Environ. Sci.*, 2015, vol. 28, no. Sustain 2014, pp. 142-147. <https://doi.org/10.1016/j.proenv.2015.07.020>
9. De Feudis M., Falsone G., Gherardi M., Speranza M., Vianello G., Vittori Antisari L. GIS-based soil maps as tools to evaluate land capability and suitability in a coastal reclaimed area (Ravenna, northern Italy). *Int. Soil Water Conserv. Res.*, 2021, vol. 9, no. 2, pp. 167-179. <https://doi.org/10.1016/j.iswcr.2020.11.007>
10. McGrath J. M., Spargo J., Penn C. J. Soil Fertility and Plant Nutrition. *Encycl. Agric. Food Syst.*, 2014, vol. 5, pp. 166-184. <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-52512-3.00249-7>
11. FAO, *Soils for nutrition: state of the art*. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2022.

12. Pambudi A. S., Moersidik S. S., Karuniasa M. Analisis Sebaran Limpasan Permukaan pada Sub DAS Lesti Sebagai Pertimbangan Konservasi Hulu DAS Brantas. *J. Tek. Pengair.*, 2021, vol. 12, no. 2, pp. 104-115. <https://doi.org/10.21776/ub.pengairan.2021.012.02.03>
13. Rokhmawati A. Analisa Tata Guna Lahan DAS Lesti Berbasis SIG (Sistem Informasi Geografis). *J. Rekayasa Sipil*, 2018, vol. 2, no. 1, pp. 82-89. <http://riset.unisma.ac.id/index.php/ft/article/view/1691>
14. Firdaus M. R. Analisa Sedimentasi Das Lesti dengan Perubahan Tataguna Lahan di Kabupaten Malang. *J. Rekayasa Sipil*, 2015, vol. 03, no. 1, pp. 19-28. <https://media.neliti.com/media/publications/270082-analisa-sedimentasi-das-lesti-dengan-per-08d50b8f.pdf>
15. Arsyad S. *Konservasi Tanah Dan Air*. Bogor: IPB Press, 2010.
16. Purwanto I. et al. Petunjuk teknis pelaksanaan penelitian kesuburan tanah. *IAARD Press*, 2014. <https://repository.pertanian.go.id/server/api/core/bitstreams/ad299beb-1c84-4dea-b16b-2abcec2a7358/content>
17. Budiarta I. G. Analisis Kemampuan Lahan Untuk Arahkan Penggunaan Lahan Pada Lereng Timur Laut Gunung Agung Kabupaten Karangasem-Bali. *Media Komun. Geogr.*, 2014, vol. 15, no. 1, pp. 19-32. <https://doi.org/10.23887/mkg.v15i1.11420>
18. Mujiyo M., Nugroho D., Sutarno S., Herawati A., Herdiansyah G., Rahayu R. Evaluasi Kemampuan Lahan sebagai Dasar Rekomendasi Penggunaan Lahan di Kecamatan Ngadirojo Kabupaten Wonogiri. *Agrikultura*, 2022, vol. 33, no. 1, p. 56. <https://doi.org/10.24198/agrikultura.v33i1.37950>
19. Dewi I. G. A. S. U., Trigunasih N. M., Kusmawati T. nPrediksi Erosi dan Perencanaan Konservasi Tanah dan Air pada Daerah Aliran Sungai Saba. *J. Agroekoteknologi Trop.*, 2012, vol. 1, no. 1, pp. 12-23.
20. Kagabo D. M., Stroosnijder L., Visser S. M., Moore D. Soil erosion, soil fertility and crop yield on slow-forming terraces in the highlands of Buberuka, Rwanda. *Soil Tillage Res.*, 2013, vol. 128, pp. 23-29. <https://doi.org/10.1016/j.still.2012.11.002>
21. Putra A., Widyaningsih R., Nurcholis M. Analisis Faktor Erodibilitas Tanah Penyebab Erosi di Area Tambang Batubara Site Melak. *J. Miner. Energi, dan Lingkungan*, 2019, vol. 3, no. 1, p. 42. <https://doi.org/10.31315/jmel.v3i1.2896>
22. Nurhayati L., Nugraha S., Wijayanti P. Pengaruh Erosi Terhadap Produktivitas Lahandas Walikan Kabupaten Karanganyar Dan Wonogiri. *GEADIDAKTIKA - J. Pendidik. Geogr.*, 2013, vol. 1, no. 1.
23. Tumangkeng T. G., Warouw V. R. C., Mawara J. M. Analysis of the Effect of Rainfall on Erosion on Soil Without Mulch and Mulched. *Cocos*, 2021, vol. 1, no. 1, p. 2.

24. Usman K., Deribew K. T., Alemu G., Hailu S. Spatial modeling of soil loss as a response to land use-land cover change in Didessa sub-basin, the agricultural watershed of Ethiopia. *Heliyon*, 2023, vol. 9, no. 3, p. e14590. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e14590>
25. Zuazo V. H. D., Pleguezuelo C. R. R. Soil-erosion and runoff prevention by plant covers. A review. *Agron. Sustain. Dev.*, 2008, vol. 28, no. 1, pp. 65-86. <https://doi.org/10.1051/agro:2007062>

DATA ABOUT THE AUTHORS

Maroeto

*Faculty of Agriculture, Department of Agrotechnology
Universitas Pembangunan Nasional "Veteran" Jawa Timur
Surabaya, Jawa Timur 60294, Indonesia
maroeto@upnjatim.ac.id*

Rossyda Priyadarshini

*Faculty of Agriculture, Department of Agrotechnology
Universitas Pembangunan Nasional "Veteran" Jawa Timur
Surabaya, Jawa Timur 60294, Indonesia*

Wahyu Santoso

*Faculty of Agriculture, Department of Agribusiness
Universitas Pembangunan Nasional "Veteran" Jawa Timur
Surabaya, Jawa Timur 60294, Indonesia*

Поступила 30.08.2023

После рецензирования 18.09.2023

Принята 25.09.2023

Received 30.08.2023

Revised 18.09.2023

Accepted 25.09.2023

DOI: 10.12731/2658-6649-2024-16-2-831

УДК 579.6



Научная статья

ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ВЫДЕЛЕННЫХ В ВОСТОЧНОЙ СИБИРИ ГРИБОВ РОДА *TRICHODERMA* ПРОТИВ ФИТОПАТОГЕНОВ

В.Е. Кузнецова, Е.А. Матвеева, Л.А. Беловежец

Обоснование. Во всем мире потери сельскохозяйственной продукции связаны с болезнями растений, чаще всего вызываемыми микроскопическими грибами. Одним из наиболее эффективных способов борьбы с ними является применение различных химических фунгицидов. Но избыточная обработка подобными препаратами способна привести к негативным последствиям. Для решения этой проблемы исследуются альтернативы химической борьбе с помощью использования микробов-антагонистов. Особый интерес представляют грибы рода *Trichoderma*, которые можно использовать как биопрепарат, обладающий потенциалом для защиты от ряда заболеваний у растений.

Цель. Изучение антагонистических взаимодействий двух микромицетов рода *Trichoderma*, выделенных со спилов древесины в Восточной Сибири, и фитопатогенных грибов.

Материалы и методы. Таксономическую принадлежность, выделенных микромицетов, определяли по макро- и микроморфологическим признакам с использованием светового микроскопа Primo Star (Zeiss, Германия). Молекулярно-генетический анализ проводился на базе Всероссийской коллекции промышленных микроорганизмов на основе анализа последовательности рибосомальных генов. Антагонистическую активность *Trichoderma* тестировали *in vitro* методом встречных культур, в 5 повторностях.

Результаты. По результатам морфологического и молекулярно-генетического анализа выделенные штаммы были отнесены к видам *Trichoderma atroviride* и *Trichoderma harzianum*. Показано, что выделенные штаммы *Trichoderma* эффективно подавляют развитие исследуемых патогенных грибов (до 50-80%).

Заключение. Таким образом, представленные в работе данные позволяют сделать вывод о возможности использования *Trichoderma atroviride* и

Trichoderma harzianum в дальнейшем изучении средств биоконтроля болезней растений.

Ключевые слова: выделение микроорганизмов; идентификация микроорганизмов; микроорганизмы-антагонисты; *Trichoderma*; фитопатогены; биоконтроль

Для цитирования. Кузнецова В.Е., Матвеева Е.А., Беловежец Л.А. Перспективы использования выделенных в Восточной Сибири грибов рода *Trichoderma* против фитопатогенов // *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*. 2024. Т. 16, №2. С. 213-238. DOI: 10.12731/2658-6649-2024-16-2-831

Original article

THE PROSPECTS OF EASTERN SIBERIA *TRICHODERMA* FUNGI FOR PHYTOPATHOGEN CONTROL

V.E. Kuznetsova, E.A. Matveeva, L.A. Belovezhets

Background. Throughout the world, the losses of agricultural products are associated with plant diseases, most often caused by microscopic fungi. Among the most effective methods to control these fungi is the use of various chemicals fungicides. However, the overutilization of such fungicides can induce negative implications. To address this challenge, alternatives methods of control using antagonist microbes are being developed. Of particular interest are fungi of the *Trichoderma* genus, which can be employed as biopreparations to protect crops against a number of diseases.

Purpose. The study of the antagonistic interactions of two micromycetes of the *Trichoderma* genus, isolated from wood cuts in Eastern Siberia, with phytopathogenic fungi.

Materials and methods. The taxonomic affiliation of the isolated fungi was determined by macro- and micromorphological features, using a Primo Star light microscope (Zeiss, Germany). Molecular genetic analysis was carried out on the basis of the All-Russian Collection of Industrial Microorganisms (Moscow) using the sequence of ribosomal genes (26-srRNA). The antagonistic activity of *Trichoderma* against phytopathogens was tested in vitro by the method of counter cultures in 5 replicates.

Results. According to morphological and molecular genetic characteristics, the isolated strains were identified to the species *Trichoderma atroviride* and *Trichoderma harzianum*. It was shown that the isolated *Trichoderma* strains efficiently inhibit the development of the pathogenic fungi under study (by 50-80%).

Conclusion. The results obtained suggest that *Trichoderma atroviride* and *Trichoderma harzianum* can be further employed in the biocontrol of plant diseases.

Keywords: isolation of microorganisms; identification of microorganisms; antagonist microorganisms; *Trichoderma*; phytopathogens; biocontrol

For citation. Kuznetsova V.E., Matveeva E.A., Belovezhets L.A. The Prospects of Eastern Siberia *Trichoderma* Fungi for Phytopathogen Control. *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*, 2024, vol. 16, no. 2, pp. 213-238. DOI: 10.12731/2658-6649-2024-16-2-831

Введение

Во всем мире крупномасштабные потери сельскохозяйственной продукции, необходимой для удовлетворения огромного спроса растущего населения, связаны с болезнями растений. Около половины возбудителей всех повреждений приходится на долю микроскопических грибов. Одним из наиболее эффективных способов борьбы с ними является применение различных химических веществ, оказывающих антисептическое действие (фунгицидов) [19, 20]. Но избыточная обработка подобными препаратами способна привести к негативным последствиям, таким как накопление в почве соединений, токсичных для микрофлоры, растений и животных, загрязнение окружающей среды, возрастание резистентности возбудителей [18, 30, 35]. Для решения этой проблемы исследуются альтернативы химической борьбе с помощью использования микробов-антагонистов [14]. Особый интерес представляют грибы рода *Trichoderma*, которые можно использовать как биопрепарат, обладающий потенциалом для защиты от ряда заболеваний у однодольных и двудольных сельскохозяйственных культур [17, 29].

Trichoderma – распространенный сапрофитный мицелиальный гриб, обитающий в почве [21]. Действуя как симбионты растений, специфические штаммы *Trichoderma* получили широкое развитие в качестве агентов биологической борьбы с различными болезнями растений благодаря их способности успешно противодействовать фитопатогенным грибам или бактериям [10, 13, 33]. Это достигается за счет продукции различных антибиотиков, выработки гидролитических ферментов, способных разрушать клеточные стенки и споры патогенных грибов [22]. Кроме того, при колонизации корней, *Trichoderma* способна смягчать пагубные последствия абиотических стрессов, таких как засоление и засуха. Это происходит за счет повышения глобальной устойчивости растений, поглощения и использования питательных веществ, роста и развития корней, а также урожайности сельскохозяйственных культур [15].

Trichoderma может использоваться в качестве биопрепарата на разных стадиях роста растений, начиная с обработки семян перед посевом. Обработка семян способствует улучшению их всхожести и прорастанию, а также защищает растения от возможных заболеваний [27]. В фазу роста растений позволяет уменьшить инфекционную нагрузку, повысить иммунитет растений и улучшить качество урожая. Однако использование таких препаратов имеет определенные особенности, связанные с особенностями разных штаммов в зависимости от места их выделения. Кроме того, внесение в почву высокоактивных микроорганизмов из другой почвенно-климатической зоны может неблагоприятно сказаться на микробном пейзаже почвы, что приведет к негативным последствиям для и так угнетенной почвы [28]. Следовательно, необходим поиск аборигенных штаммов, обладающих высокой активностью. По такому пути идет большое количество исследователей в разных регионах мира [1, 8, 12, 31]. Однако работ, посвященных исследованию *Trichoderma*, выделенных в сибирском регионе, крайне мало [6].

Поэтому **целью исследования** было изучение антагонистических взаимодействий двух микромицетов рода *Trichoderma*, выделенных со спилов древесины в Восточной Сибири, и фитопатогенных грибов. Мы предполагаем, что данные штаммы будут лучше адаптированы к выживанию в условиях Сибири, характеризующихся резкими колебаниями температуры и относительно невысокой влажностью воздуха.

Материалы и методы исследования

Объектами служили культуры грибов, относящихся к фитопатогенам *Fusarium (orthoceras) oxysporum* F-845, *Alternaria botrytis* F-737, *Stemphylium botryosum* F-3044, *Phytophthora drechsleri* F-3149 (предоставлены ВКМ, г. Пущино [2]), *Trichoderma harzianum* и *Trichoderma atroviride*, выделенные нами из зараженной древесины в п. Новая Игирма Иркутской области (Игирма 1) и п. Таежный Красноярского края (Таежный 1). Культуры задепонированы в ВКПМ (протоколы в качестве доп. Материала). Для выделения и идентификации культуры выращивались на Wort Agar при 27°C в течение недели.

Определение таксономической принадлежности выделенных грибов

Колонии исследуемых грибов выращивались на стандартной среде (Wort Agar, HiMedia). Таксономическую принадлежность выделенных гри-

бов Игирма 1, Таежный 1 определяли по макро- и микроморфологическим признакам. Микроскопию проводили при увеличении $\times 40$ с использованием светового микроскопа Primo Star (Zeiss, Германия) на чашках Петри с трехсуточной культурой гриба, анализируя воздушный мицелий и конидии. Субстратный мицелий не отслеживали. Молекулярно-генетический анализ проводился на базе Всероссийской коллекции промышленных микроорганизмов (г. Москва) на основе анализа последовательности рибосомальных генов (26-srRNA) [5].

Для идентификации штаммов были выбраны консервативные праймеры для амплификации домена D1/D2 гена 26S р РНК (рибосомальная рибонуклеиновая кислота): NL-1 GCATATCAATAAGCGGAGGAAAG и NL-4 GGTCCGTGTTTCAAGACGG. Реакция ПЦР проводилась в 3 этапа при разной температуре. Секвенирование проводилось на автоматическом секвенаторе AE3000.

Для анализа сиквенсов использовалась специализированная компьютерная программа BLAST [26]. Были определены последовательности, достаточные для отнесения штамма к определенной таксономической группе микроорганизмов. Условия электрофореза ПЦР исследуемых образцов: 1,0% агарозный гель, электрофорез при напряженности электрического поля 5 В/см.

Для уточняющей идентификации штамма дополнительно был амплифицирован и секвенирован фактор элонгации 1. Консервативные праймеры для наработки последовательности гена, кодирующего область TEF-1: EF1-983F GCYCCYGGHCAYCGTGAYTTYAT и EF1-1567R ACHGTRCCRATACCACCRATCTT, и гена, кодирующего область TEF-1: EF1-728F CATCGAGAAGTTCGAGAAGG и EF1-986R TACTTGAAGGAACCCTTACC. Режимы реакции ПЦР указаны выше.

Антагонистическая активность *Trichoderma harzianum* и *Trichoderma atroviride* против фитопатогенов

Антагонистическую активность *Trichoderma* против фитопатогенов тестировали *in vitro* методом встречных культур, на картофельно-глюкозном агаре (200 г/л картофеля, 20 г/л глюкозы, 20 г/л агара) в 5 повторностях. Для этого на чашку Петри, равноудаленно от центра и края чашки, с помощью микробиологической иглы помещали одинаковые кусочки фитопатогенного гриба с одной стороны и его антагониста с другой. Контролем служила чистая культура гриба. Все варианты инкубировались в чашках Петри в термостате при 27 °C в течение 7 дней. По окончании экспери-

мента производили фотофиксацию результатов и измерение радиального роста антагонистов и фитопатогенов.

Для оценки эффективности антагонистов высчитывалось процентное ингибирование радиального роста (PIRG) по следующей формуле [23]:

$$\text{PIRG} = (R_1 - R_2) / R_1 \times 100,$$

где R_1 - радиальный рост фитопатогена в контроле (см), R_2 - радиальный рост фитопатогена в двойной культуре (см).

Статистический анализ проводили с использование пакета R-studio. Для оценки значимости различий использовали непараметрический критерий Манна-Уитни, при уровне значимости $p \leq 0,05$.

Результаты исследования

Определение таксономической принадлежности выделенных грибов

Первым этапом исследования было определение макро- и микроморфологических признаков выделенных грибов, при помощи микроскопии (таблица 1, рисунки 1, 2).

Таблица 1.

Морфологические признаки грибов синевы

Признак	Макроморфологические признаки	
Территория выделения	Игирма 1	Тажный 1
Строение	Ватообразное или паутинистое, клочковатое	Паутинистое, клочковатое
Поверхность	Сухая, мягкая, хрупкая, шероховатая	Сухая, мягкая, хрупкая, шероховатая
Окраска наружной (верхней) поверхности колонии	Темно-зеленая с бело-желтыми пятнами	Темно-зеленая
Окраска обратной (нижней) стороны колонии (реверзума)	Белая	Темно-зеленая
Форма	Круглая с фестончатым краем	Круглая с фестончатым неровным краем
Характер края (цвет, ширина и контур)	Белый, 2-5 мм, волнистый или фестончатый	Белый, 1-4 мм, фестончатый
Строение центральной части колонии	Плоская	Плоская
Наличие экссудата	Нет	Нет
Мицелий	Стелющийся по поверхности	Умеренно воздушный
Окраска воздушного мицелия:	Зеленая	Темно-зеленая

Признак	Микроморфологические признаки	
Мицелий	обильный, септированный, сильноразветвленный, гифы гладкие, споры обильно	скудный, септированный, слаборазветвленный, гифы гладкие
Конидиеносцы	неразветвленные, развиты на подушечках, с парными ответвлениями	разветвленные, веточки в основном в мутовках по три, реже парные или одиночные, иногда извилистые
Конидии	бело-зеленые, часто яйцевидные или близки к шаровидным	желтовато-зеленые, шаровидные или эллипсоидные

По совокупности макроморфологических признаков (темно-зеленый вид спороношения, бесцветный реверс колонии, отсутствие диффундирующего в среду пигмента) и микроморфологических признаков (гладкие извилистые conidiophores, фиалиды удлиненные ампуловидные, иногда слегка вздутые в середине, иногда изогнутые, конидии округлые, гладкие, 3-4 мкм в диаметре), гриб Игирма 1 отнесен к роду *Trichoderma* (рис. 1).

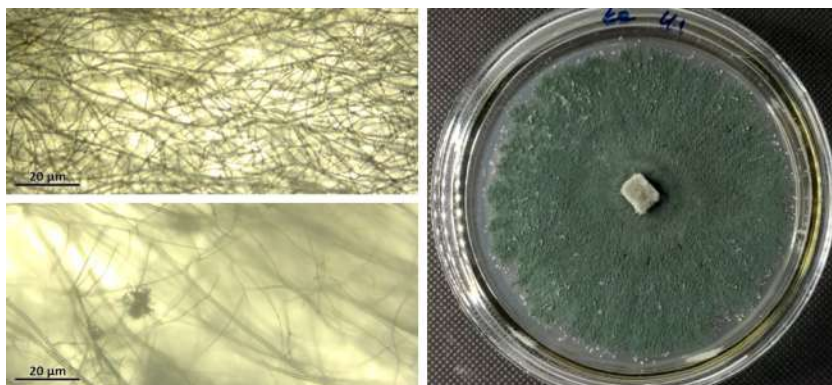


Рис. 1. Микрофотографии и внешний вид колоний гриба, выделенного в п. Н. Игирма 1 (*Trichoderma atroviride*)

Первичный скрининг по базе данных GenBank показал, что исследуемый штамм принадлежит к следующей систематической группе: *Eukaryota*; *Fungi*; *Dikarya*; *Ascomycota*; *Pezizomycotina*; *Sordariomycetes*; *Hypocreomycetidae*; *Hypocreales*; *Hypocreaceae*; *Trichoderma*.

При секвенировании участка ДНК (дезоксирибонуклеиновая кислота), кодирующего домен D1/D2 гена 26S рРНК, получена следующая последовательность:

CCCCMSMSSCSGAMCRATSSMMSKCRTKYGTAGTGAAGCGGCA
ACAGCTCAAATTTGAAATCTGGCCCCTAGGGTCCGAGTTGTAATTTG
TAGAGGATGCTTTTGGTGAGGTGCCGCCGAGTTCCTGGAACGGG
ACGCCGAGAGGGTGAGAGCCCCGTCTGGCTGGCCACCGAGCCTCT
GTAAAGCTCCTTCGACGAGTCGAGTAGTTTGGGAATGCTGCTCAAA
ATGGGAGGTATATGTCTTCTAAAGCTAAATATTGGCCAGAGACCGAT
AGCGCACAAKTAGAGTGATCGAAAGATGAAAAGCACCTTGAAAAG
AGGGTTAAACAGTACGTGAAATTGTTGAAAGGRAAGCGCTTGTGAC

Некоторые штаммы, имеющие максимальную степень гомологии с изучаемым штаммом, и уровень сходства полученной последовательности представлены в таблице 2:

Таблица 2.

Штаммы с максимальной гомологией с Игирма 1

Description	Per. Ident	Accession
<i>Trichoderma caribbaeum</i> var. <i>aequatoriale</i> CBS 119055 28S rRNA gene, partial sequence; from TYPE material	99.40%	NG_069883.1
<i>Trichoderma harzianum</i> isolate NORIE1 large subunit ribosomal RNA gene, partial sequence	99.40%	MK913350.1
<i>Trichoderma atroviride</i> strain LMZ-JA5 28S ribosomal RNA gene, partial sequence	99.40%	MG309711.1
<i>Trichoderma atroviride</i> strain ATCC 20476 28S ribosomal RNA gene, partial sequence	99.40%	JQ745264.1
<i>Hypocrea atroviridis</i> strain NBRC 8436 28S ribosomal RNA (LSU) gene, partial sequence	99.40%	JN941450.1
<i>Trichoderma viride</i> gene for 28S ribosomal RNA, partial sequence	99.40%	AB517927.1
<i>Trichoderma koningii</i> partial 28S rRNA gene, strain MT 3	99.40%	AJ876773.1
<i>Trichoderma atroviride</i> 28S ribosomal RNA gene, partial sequence	99.40%	AF127152.1

Анализ филогенетического родства, построенный с использованием штаммов близкородственных микроорганизмов, показал, что наиболее близкими к исследуемому штамму являются несколько видов рода *Trichoderma*.

При секвенировании участка ДНК, кодирующего область TEF-1 исследуемого штамма, получена следующая последовательность:

CMCYTRARTSRRRRARRGGGAAAAAMMGAARGGGGCTTGTCT
GTGGGACGCTTGGGGGGCTCAATGGCGTCAATGGCCTCGAGAAGG
GTCTTGCCGGTGGACTTGCCAGCCTTGGTCTCCTTCTCCCAGCCCT
TGTACCAGGGGCAGTTGGTGGAGGCAGCCAACATGTTGTCGCCGT
TGAAGCCGGAGATGGGGACGAAGGCAACGGTCTTGGGGTTGAAG
CCGACCTTCTTGATGAAGTTGGAGGTCTCCTTGATGATCTCAGGGT
AACGAGCCTCCGGCCCAGTTGGCAGTGTCCATCTTGTTGATGGCAC
GATGAGCTGGTTGACACCCAGGGGGAGGCAAGCAAACGGGCTCC
CGGTCTGGCCATCTTGAAAAACCACCTCCRAMCCCCCMRTACCG
GMRSGAAAACMGATASSGMATCRCTGGGAATWCCA KGGATCTGTT
TTTATAAATCCSGGWCCGGGGAAA

При сравнении полученной последовательности с известными последовательностями гена TEF-1 наибольшей гомологией обладает ген из *Trichoderma atroviride*.

Культура Таежный 1 по макроморфологическим (темно-зеленый вид спороношения, темно-зеленый реверс колонии, форма круглая с фестончатым неровным краем) и микроморфологическим признакам (разветвленные conidiophores, веточки в основном в мутовках по три, иногда извилистые), отнесена к роду *Trichoderma* (рис. 2).

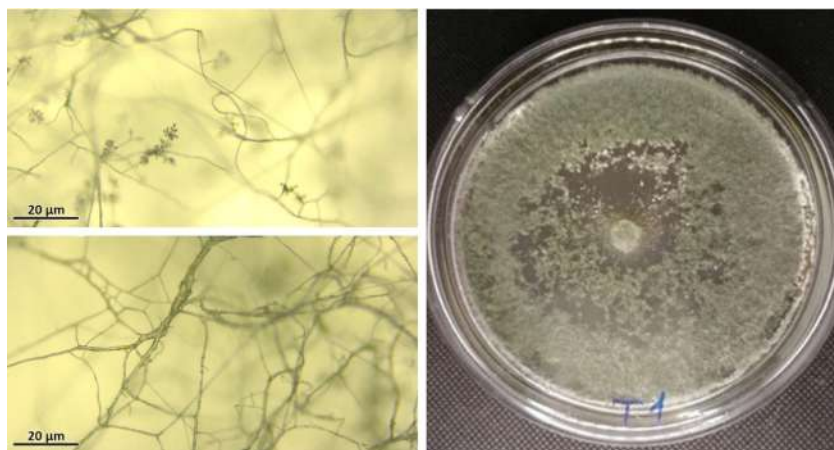


Рис. 2. Микрофотографии и внешний вид колоний гриба, выделенного в п. Таежный 1 (*Trichoderma harzianum*)

Первичный скрининг по базе данных GenBank показал, что исследуемый штамм принадлежит к следующей систематической группе:

Eukaryota; Fungi; Dikarya; Ascomycota; Pezizomycotina; Sordariomycetes; Hypocreomycetidae; Hypocreales; Hypocreaceae; Trichoderma.

При секвенировании участка ДНК, кодирующего домен D1/D2 гена 26S рРНК, получена следующая последовательность: CCCAGTAACGGCGAG TGAAGCGGCAACAGCTCAAATTTGAAATCTGGTCCCTAGGGCCCCGA GTTGTAATTTGTAGAGGATGCTTTTGGTGAGGTGCCGCCCAGTTCC CTGGAACGGGACGCCACAGAGGGTGAGAGCCCCGTCTGGCTGGCC GCCGAGCCTCTGTAAAGCTCCTTCGACGAGTCGAGTAGTTTGGGAA TGCTGCTCAAAATGGGAGGTATATGTCTTCTAAAGCTAAATATTGGC CAGAGACCGATAGCGCACAAGTAGAGTGATCGAAAGATGAAAAGC ACCTTGAAAAGAGGGTTAAATAGTACGTGAAATTGTTGAAAGGGAA GCGCTTGTGACCAGACTTGGGCGCGGCGGATCATCCGGGGTTCTCTC CGGTGCACTTCGCCGCGTCTAGGCCAGCATCAGTTCGTCGCGGGGG AAAAAGGCTTCGGGAACGTGGCTCCTCCGGGAGTGTTATAGCCCCGT TGCATAATACCCTGCGGTGGACTGAGGACCGCGCATCTGCAAGGATG CTGGCGTAATGGTCACCAGCGACCC.

Некоторые штаммы, имеющие максимальную степень гомологии с изучаемым штаммом, и уровень сходства полученной последовательности представлены в таблице 3.

Таблица 3.

Штаммы с максимальной гомологией с *Таежный 1*

Description	Per. Ident	Accession
<i>Trichoderma lixii</i> CBS 110080 28S rRNA gene, partial sequence; from TYPE material	100.00%	NG_069091.1
<i>Trichoderma guizhouense</i> culture MFLUCC:17-1512 large subunit ribosomal RNA gene, partial sequence	100.00%	MT214480.1
<i>Trichoderma harzianum</i> strain CBS 389.36 large subunit ribosomal RNA gene, partial sequence	100.00%	MH867339.1
<i>Trichoderma harzianum</i> strain MF13025 28S ribosomal RNA gene, partial sequence	100.00%	KC809921.1
<i>Trichoderma simmonsii</i> strain GH-Sj1 chromosome V	100.00%	CP075868.1
<i>Hypocrea nigricans</i> strain NBRC 30611 28S ribosomal RNA (LSU) gene, partial sequence	100.00%	JN941464.1
<i>Hypocrea lixii</i> strain T7 28S large subunit ribosomal RNA gene, partial sequence	100.00%	FJ890423.1

Анализ филогенетического родства, построенный с использованием штаммов близкородственных микроорганизмов, показал, что наиболее близким к исследуемому штамму являются несколько видов.

При секвенировании участка ДНК, кодирующего область TEF-1 исследуемого штамма, получена следующая последовательность: TTTCGT GTCGACAATTTTTTCATCACCCCGCTTTCCATTACCCCTCCTTTGCAGC GACGCAATTTTTTTTGCTGTCGTTTGGTTTTTAAAGTGGGGTTCTCTGTG CAACCCCACTAGCTCACTGCTTTTTTCCTGCTTCACTCTCACTTCCTC ATCATCATTCAACACGCTCTGTGTCTTTGGTCATTTCARCGATGCTAA CCACTTTTCCATCAATAGGAAGCCGCCRAACTCGGTAAGGGTTCCT TCAAGTAA.

При сравнении полученной последовательности с известными последовательностями гена TEF-1 наибольшей гомологией обладает ген из *Trichoderma harzianum*. Таким образом, молекулярно-генетическая идентификация показала, что наиболее близким к исследуемому штамму является вид *Trichoderma harzianum*.

Антагонистическая активность *Trichoderma harzianum* и *Trichoderma atroviride* против фитопатогенов

Для максимально достоверной оценки антагонистической активности было проведено определение скорости роста каждой культуры (рис.3). Максимальной скоростью роста обладает *Phytophthora drechsleri* (в экспоненциальной фазе роста 37.23 мм/сут), уже на 4 сутки она заполняет всю поверхность питательной среды. У *Trichoderma harzianum* и *Trichoderma atroviride* скорость роста близка и составляет 17.38 мм/сут и 19.85 мм/сут соответственно (табл. 4). Самые медленно растущие культуры - *Fusarium (orthoceras) oxysporum* - 10,56 мм/сут, *Alternaria botrytis* - 8,87 мм/сут и *Stemphylium botryosum* - 10,22 мм/сут, к концу эксперимента площадь поверхности питательной среды, занятой данными культурами, не превышает половины.

Таблица 4.

Средний радиальный рост

Микро- организм	Сутки культивирования, см						
	1	2	3	4	5	6	7
<i>Fusarium (orthoceras) oxysporum</i>	0,53±0,05	1,16±0,10	1,6±0,13	2,1±0,10	2,5±0,01	3,2±0,20	3,48±0,15
<i>Alternaria botrytis</i>	0,57±0,25	0,87±0,15	1,4±0,12	1,9±0,18	2,16±0,20	2,58±0,10	2,9±0,20
<i>Stemphylium botryosum</i>	0,74±0,10	1,24±0,10	1,6±0,10	2±0,13	2,4±0,15	2,94±0,20	3,1±0,20

<i>Phytophthora drechsleri</i>	2,1±0,25	4,03±0,35	4,41±0,07	4,5±0,01	4,5±0,01	4,5±0,01	4,5±0,01
<i>Trichoderma atroviride</i>	0,96±0,13	1,84±0,20	2,3±0,33	3,8±0,41	4,2±0,14	4,42±0,10	4,46±0,05
<i>Trichoderma harzianum</i>	0,57±0,13	1,91±0,68	3,12±0,47	4,3±0,08	4,5±0,01	4,5±0,01	4,5±0,01

$P < 0,05$

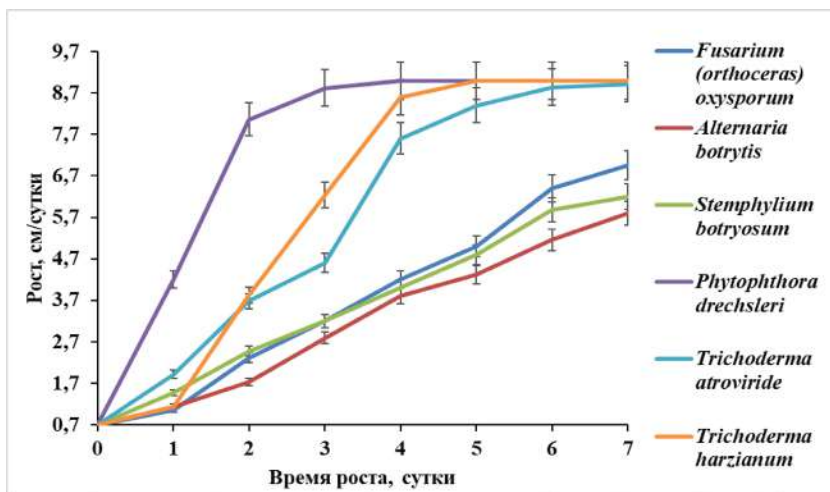


Рис. 3. Кривая скорости роста микроорганизмов на плотной питательной среде. ($M \pm \sigma$, достоверные различия между показателем и контролем, при уровне значимости $p < 0,05$)

Следующим этапом работы было определение антагонистической активности культур путем вычисления процента ингибирования радиального роста фитопатогенов (рис.4). Поскольку это данные пяти независимых повторов, на рисунках 3 и 4 показано стандартное отклонение. В этом случае мы показываем, что различия статистически значимы. Обе исследованные культуры эффективно (более чем на 50%) подавляют рост всех тестовых патогенов. Максимальное подавление характерно для *T. (Trichoderma) harzianum* против *Fusarium oxysporum* и *Alternaria botrytis* (более 80 %), подавление *Stemphylium botryosum* и *Phytophthora drechsleri* хуже, но превышает 50 %. *T. atroviride* более эффективна по отношению к *Alternaria botrytis*, *Stemphylium botryosum* и *Phytophthora drechsleri*. Интересно отметить, что колонии фитопатогенов развиваются одинаково

(рис. 5), при этом ингибирование *Phytophthora drechsleri* в первую неделю культивирования (обоими антагонистами) значительно ниже, что связано с высокой скоростью роста данного фитопатогена. Однако, через 14 суток инкубации, поверхность фитопатогена оказывается почти полностью покрыта мицелием *Trichoderma* (рис. 6).

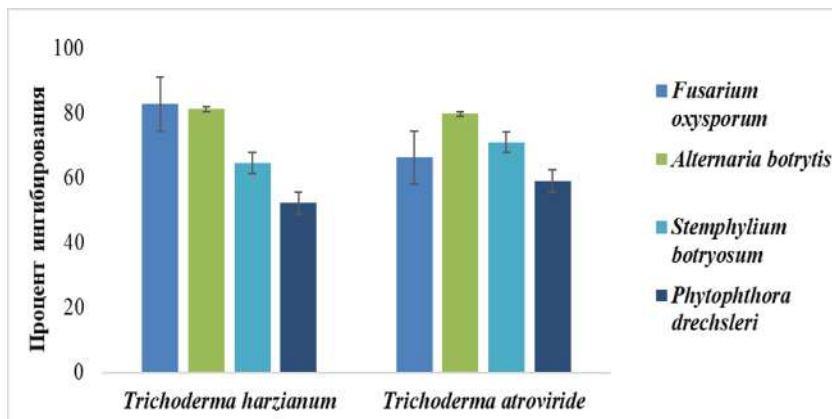


Рис. 4. Ингибирование радиального роста фитопатогена через 7 дней культивирования, %. ($M \pm \sigma$ достоверные различия между показателем и контролем, при уровне значимости $p < 0,05$)

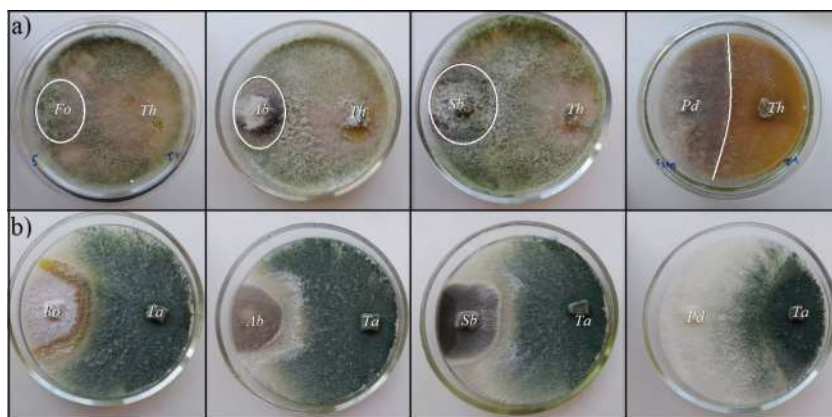


Рис. 5. Антагонизм *in vitro* ряд а) справа (Th) *Trichoderma harzianum*, ряд б) справа (Ta) *Trichoderma atroviride*, фитопатогены слева (Fo) *Fusarium (orthoceras) oxysporum*, (Ab) *Alternaria botrytis*, (Sb) *Stemphylium botryosum*, (Pd) *Phytophthora drechsleri*.

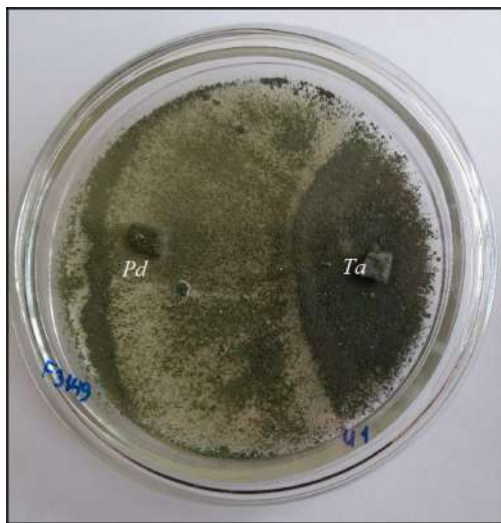


Рис. 6. Антагонизм *in vitro* между (*Pd*) *Phytophthora drechsleri* и (*Ta*) *Trichoderma atroviride* при 14 суточной инкубации.

Обсуждение

Использование биологических средств контроля фитопатогенов является одним из самых перспективных направлений современного сельского хозяйства.

Несмотря на большой объем исследований, посвященных фитопатогенным грибам, сведения об их видовом составе, распространении и эколого-биологических особенностях в Сибири малочисленны, а причиняемый ими ущерб чрезвычайно велик. Кроме того, биоконтроль фитопатогенных грибов в условиях Сибири имеет свои особенности, обусловленные их онтогенетическими отличиями, сформировавшимися под влиянием биотических и абиотических факторов, что ставит под сомнение эффективность мер борьбы, разработанных и успешно реализуемых в других регионах [4].

Примером может служить то, что биоразнообразие и представленность грибов рода *Fusarium* в наземных экосистемах Средней Сибири претерпевает изменения в условиях конкретного биоценоза в зависимости от почвенно-климатических условий и наличия растения-хозяина [4]. Эффективным способом биологической борьбы с болезнями растений является использование аборигенных штаммов-антагонистов, адаптированных к почвенно-климатическим особенностям региона.

Показано, что изоляты *Trichoderma*, выделенные в различных регионах, могут демонстрировать разные уровни эффективности [11, 16, 32], которые в большой степени зависят от условий внешней среды, в том числе и температуры [7]. Следует отметить, что чаще всего исследования *Trichoderma* в нашей стране проводятся на юге России [3]. Однако в сибирских районах, изучаемые на юге штаммы, могут не проявлять эффективность из-за влияния абиотических факторов и высокой устойчивости патогенов.

Использованные в работе штаммы были выделены в Восточной Сибири. По результатам молекулярно-генетического анализа они отнесены к *Trichoderma harzianum* и *Trichoderma atroviride*. Это одни из самых эффективных видов-антагонистов [13, 36], входящие в состав нескольких коммерческих препаратов [9, 25]. По динамике роста эти виды можно отнести к быстрорастущим, но интересно, что ярко выраженная лаг-фаза характерна только для *Trichoderma harzianum*.

При изучении антагонистической активности мы обнаружили, что *T. harzianum* и *T. atroviride* ингибируют рост всех тестовых патогенов с эффективностью более 50%. Эти результаты согласуются с данными исследователей из Индонезии [29] и США [24]. Следует отметить, что развитие колоний фитопатогенов идет примерно на одном уровне. Интересно, что *T. harzianum* растет поверх колоний патогенов, а для *T. atroviride* характерна полоса чистого агара 3-8 мм, с последующим ростом на колонии патогена. Это, вероятно, связано с продукцией *T. atroviride* соединения с антигрибным действием [23, 34]. В то же время, для *T. harzianum* характерен другой путь взаимодействия с патогеном. Скорее всего это конкуренция за питательные вещества и гиперсинтез гидролитических ферментов [23]. Подавление роста *Phytophthora drechsleri* обоими антагонистами в первую неделю культивирования существенно ниже. *Phytophthora drechsleri*, как более быстро растущий микромикет, успевает колонизировать около 50% питательной среды до контакта с антагонистом. Однако при более длительной инкубации (14 суток), поверхность фитопатогена почти полностью оказывается покрыта мицелием и спорами *Trichoderma*. Также можно отметить, что в двойных культурах патогены (*Alternaria botrytis*, *Stemphylium botryosum*) не успевают синтезировать пигмент, что может свидетельствовать о замедлении роста культуры патогена и перехода ее в стационарную фазу роста, предположительно это может быть связано с синтезом *Trichoderma* вторичных метаболитов и хитинолитических ферментов [23]. Следовательно, оба выделенных микромикета эффективно

подавляют рост тестовых патогенных грибов, что открывает широкие перспективы для их дальнейшего использования.

Заключение

В ходе данной работы были выделены 2 микромицета со спилов древесины в Восточной Сибири, которые по морфологическим признакам были идентифицированы как *T. atroviride* и *T. harzianum*.

Обе исследуемые *Trichoderma* эффективно (на 52-82%) подавляют как быстрорастущие культуры фитопатогенов, так и медленнорастущие. Несмотря на то, что ингибирование *Phytophthora drechsleri* было минимальным из исследуемых фитопатогенов, при более длительном культивировании *Trichoderma* занимает практически 100% питательной среды и фитопатоген оказывается полностью покрыт спорами антагониста. Различия между штаммами *Trichoderma* в подавлении исследуемых патогенов связано с разнообразными стратегиями в подавлении фитопатогенов. Предположительно, *T. atroviride* способна к синтезу антибиотиков, а *T. harzianum* вторичных метаболитов и хитинолитических ферментов.

Представленные в работе данные позволяют сделать вывод о возможности использовано в сельском хозяйстве *T.atroviride* и *T.harzianum* в качестве средств биологического контроля как для профилактики болезни, так и на начальном этапе заражения растений в отношении распространённых фитопатогенов.

Заключение комитета по этике. Неприменимо.

Информированное согласие. Неприменимо.

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

Информация о спонсорстве. Исследование выполнено при финансовой поддержке гранта РФФИ № 23-26-10008.

Благодарности. Авторы выражают благодарность национальному биоресурсному центру Всероссийской коллекции промышленных микроорганизмов НИЦ «Курчатовский институт» за помощь в идентификации выделенных микромицетов, а также инженеру лаборатории экологической биотехнологии ИрИХ СО РАН Старченко Инессе Владимировне за вклад в экспериментальную часть на начальном этапе исследования.

Список литературы

1. Астапчук И.Л., Якуба Г.В., Насонов А.И. Скрининг штаммов-антагонистов *Trichoderma* Pers. к возбудителям гнили корней яблони из рода *Fusarium* Link // Садоводство и виноградарство. 2022. № 5. Р. 47-53. <https://doi.org/10.31676/0235-2591-2022-5-47-53>
2. Всероссийская коллекция микроорганизмов. <http://www.vkm.ru/rus>
3. Кондакова О.Э., Гродницкая И.Д. Оценка биологической активности мутационных культур микроорганизмов-антагонистов и их использование для предпосевной обработки семян сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) in vitro // Вестник Томского государственного университета. Биология. 2018. № 42. С. 54–68. <https://doi.org/10.17223/19988591/42/3>
4. Литовка Ю.А. Эколого-биологические особенности и биоконтроль грибов рода *Fusarium*, распространенных в наземных экосистемах Средней Сибири: автореферат диссертации на соискание учёной степени доктора биологических наук. Томск, 2019.
5. Научный центр «Курчатовский институт». Научно-исследовательский институт генетики и селекции промышленных микроорганизмов. <https://vkpm.genetika.ru>
6. Садыкова В. С., Бондарь П. Н. Перспективы использования грибов р. *Trichoderma* в защите злаков от корневых гнилей в Сибири // Вестник КрасГАУ. 2010. №2. С. 34-39. <https://doi.org/10.7868/S0555109915030149>
7. Юрченко Е.Г., Астапчук И.Л., Якуба Г.В., Савчук Н.В., Насонов А.И. К изучению антимикотического потенциала грибов рода *Trichoderma* spp. в отношении фитопатогенов *Fusarium* spp. возбудителей болезней яблони и винограда // Сборник трудов конференции ФГБНУ «Северо-Кавказский федеральный научный центр садоводства, виноградарства, виноделия». 2020. С. 396-407.
8. Яковлева М.Т., Борисова В.Б. Эффективность местных штаммов клубеньковых бактерий на продуктивность Люцерны // International agricultural journal. 2021. № 5. С. 272-279. <https://doi.org/10.24412/2588-0209-2021-10372>
9. Al-Ani L.K.T. A patent survey of *Trichoderma* spp. (from 2007 to 2017). / Singh H., Keswani C., Singh S. (eds) // Intellectual property issues in microbiology. Springer, Singapore, 2019, pp. 163–192. http://doi.org/10.1007/978-981-13-7466-1_10
10. Arasu M.V., Vijayaraghavan P., Al-Dhabi N.A., Choi K.C., Moovendhan M. Biocontrol of *Trichoderma gamsii* induces soil suppressive and growth-promoting impacts and rot disease-protecting activities // Journal of Basic Microbiology, 2023, vol. 63, № 7, pp. 801-813. <https://doi.org/10.1002/jobm.202300016>

11. Bazghaleh, N.; Prashar, P.; Woo, S.; Vandenberg, A. Effects of Lentil Genotype on the Colonization of Beneficial *Trichoderma* Species and Biocontrol of Aphanomyces Root Rot // *Microorganisms*, 2020, vol. 8, 1290 p. <https://doi.org/10.3390/microorganisms8091290>
12. Bozdeveci, A., Karaoğlu, Ş.A. Determination of Biocontrol Properties of Two Local *Trichoderma* Isolates // *Biol Bull Russ Acad Sci*, 2023. <https://doi.org/10.1134/S1062359023602057>
13. Guzmán-Guzmán P., Kumar A., de los Santos-Villalobos S., Parra-Cota F.I., Orozco-Mosqueda Md.C., Fadji A.E., Hyder S., Babalola O.O., Santoyo G. *Trichoderma* Species: Our Best Fungal Allies in the Biocontrol of Plant Diseases—A Review // *Plants*, 2023, vol. 12, № 3, 432 p. <https://doi.org/10.3390/plants12030432>
14. Haghi Z., Mostowfizadeh-Ghalemfarsa R., Steinberg C. The efficacy of Iranian *Pythium oligandrum* isolates in biocontrol of soil-borne fungal pathogens of tomato // *Journal of Plant Pathology*, 2023, vol. 105, pp. 185-196. <https://doi.org/10.1007/s42161-022-01245-5>
15. Harman G.E., Doni F., Khadka R.B., Uphoff N. Endophytic strains of *Trichoderma* increase plants' photosynthetic capability // *Journal of Applied Microbiology*, 2019, vol. 130, № 2, pp. 529-546. <https://doi.org/10.1111/jam.14368>
16. Hautsalo J., Vestberg M., Parikka P., Finni S. et al. Biological control of strawberry crown rot is substrate dependent phenomenon // *Journal of Berry Research*, 2016, vol. 6, № 1. pp. 65-79. <https://doi.org/10.3233/JBR-150110>
17. Illescas M., Morán-Diez M.E., Martínez de Alba Á.E., Hermosa R., Monte E. Effect of *Trichoderma asperellum* on wheat plants' biochemical and molecular responses, and yield under different water stress conditions // *International Journal of Molecular Science*, 2022, vol. 23, № 12, 6782 p. <https://doi.org/10.3390/ijms23126782>
18. Jiang F., Peng Ye., Sun Q. Pesticides exposure induced obesity and its associated diseases: recent progress and challenges // *Journal of Future Foods*, 2022, vol. 2, pp. 119-124. doi.org/10.1016/j.jfutfo.2022.03.005
19. Karamchandani B.M., Chakraborty S., Dalvi S.G. Chitosan and its derivatives: Promising biomaterial in averting fungal diseases of sugarcane and other crops // *Journal of Basic Microbiology*, 2022, vol. 62, № 5, pp. 533-554. <https://doi.org/10.1002/jobm.202100613>
20. Kekalo A.Yu., Zargaryan N.Yu., Nemchenko V.V. Effectiveness of fungicidal protection of spring wheat against powdery mildew and tan spot // *Siberian Herald of Agricultural Science*, 2023, vol. 53, № 1, pp. 45-52. <https://doi.org/10.26898/0370-8799-2023-1-6>

21. Kumar J., Kumar M., Tomar A., Vaishali, Kumar P., Chand P. Morphological and molecular characterization of *Trichoderma spp.* from Rhizosphere Soil and their antagonistic activity against *Fusarium spp.* // International Journal of Plant and Soil Science, 2021, vol. 33, № 19, pp. 100-112. <https://doi.org/10.9734/ijpss/2021/v33i1930605>
22. Lyubenova A., Rusanova M., Nikolova M., Slavov S.B. Plant extracts and *Trichoderma spp.*: possibilities for implementation in agriculture as biopesticides // Biotechnology and Biotechnological Equipment, 2023, vol. 37, № 1, pp. 159-166. <https://doi.org/10.1080/13102818.2023.2166869>
23. Manzar N., Kashyap A.S., Goutam R.S., Rajawat M.V.S., Sharma P.K., Sharma S.K., Singh H.V. *Trichoderma*: Advent of Versatile Biocontrol Agent, Its Secrets and Insights into Mechanism of Biocontrol Potential // Sustainability, 2022, vol. 14, № 19, 12786 p. <https://doi.org/10.3390/su141912786>
24. Martínez-Padrón H.Y., Herrera-Mayorga V., Paredes-Sánchez F. A., Lara-Ramírez E. E., Torres-Castillo J. A., Rodríguez-Herrera R., López-Santillán J. A., Osorio-Hernández E. In vitro evaluation of the antagonistic activity of native strains of *Trichoderma spp.* against *Fusarium spp.* // Journal of Environmental Science and Health, 2023, part B, vol. 58, № 2, pp. 195-202. <https://doi.org/10.1080/03601234.2023.2185014>
25. Meher J., Rajput R.S., Bajpai R., Teli B., Sarma B.K. *Trichoderma*: A globally dominant commercial biofungicide // *Trichoderma: Agricultural Applications and Beyond*, Soil Biology, Springer Nature: Cham, Switzerland, 2020, vol. 61, pp. 195-208. http://doi.org/10.1007/978-3-030-54758-5_9
26. National Library of Medicine. National Center for Biotechnology Information. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/blast>. Accessed 25 April 2023.
27. Pani S., Kumar A., Sharma A. *Trichoderma harzianum*: An Overview // Bulletin of Environment, Pharmacology and Life Sciences, 2021, vol. 10, № 6, pp 32-39.
28. Pramanick B., Bera A., Saha P., Barman A. Soil Microflora and Their Interaction with Plants Under Changing Climatic Scenarios // Microbial Symbionts and Plant Health: Trends and Applications for Changing Climate, 2023, vol. 1, № 2, pp. 19-40. https://doi.org/10.1007/978-981-99-0030-5_2
29. Putranto W.A., Nugroho R. A., Hardiyanta S.P., Cahyaningrum D.Ch. Are *Trichoderma atroviride* and *Trichoderma harzianum* effective to control *Fusarium* associated with tomato wilt? // Microbiology Indonesia, 2021, vol. 15, № 3, pp. 84-90. <https://doi.org/10.5454/mi.15.3.2>
30. Rola K., Majewska E., Chowaniec K. Interaction effect of fungicide and chitosan on non-target lichenized fungi // Chemosphere, 2023, vol. 316, 137772 p. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2023.137772>

31. Sana B. S., Sumaira H., Dar M. S. et al. Morpho-cultural and molecular characterization of *Trichoderma* species from apple rhizosphere of North-western Himalayan temperate region of India. Preprint (Version 1) available at Research Square, 2023. <https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-2429359/v1>
32. Tucci M., Ruocco M., Masi L. D., Palma M. D., Lorito M. The beneficial effect of *Trichoderma* spp. on tomato is modulated by the plant genotype // Molecular Plant Pathology, 2011, vol. 12, № 4, pp. 341–354. <https://doi.org/10.1111/j.1364-3703.2010.00674.x>
33. Tyskiewicz R., Nowak A., Ozimek E., Jaroszuk-Sciseł J. *Trichoderma*: the current status of its application in agriculture for the biocontrol of fungal phytopathogens and stimulation of plant growth // International Journal of Molecular Sciences, 2022, vol. 23, № 4, 2329 p. <https://doi.org/10.3390/ijms23042329>
34. Viglas J., Olejnikova P. *Trichoderma atroviride*: an isolate from forest environment with secondary metabolites with high antimicrobial potential // Acta Chimica Slovaca, 2019, vol. 12, № 1, pp. 46-55. <https://doi.org/10.2478/acs-2019-0008>
35. Xue P., Liu X., Jia H., Yuan H., Liu B., Zhang J., He Z. Environmental behavior of the chiral fungicide epoxiconazole in earthworm-soil system: Enantioselective enrichment, degradation kinetics, chiral metabolite identification, and biotransformation mechanism // Environment International, 2022, vol. 167, 107442 p. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2022.107442>
36. Yassin M.T., Mostafa A.A.F., Al-Askar A.A., Sayed S.R.M., Rady A.M. Antagonistic activity of *Trichoderma harzianum* and *Trichoderma viride* strains against some fusarial pathogens causing stalk rot disease of maize, in vitro // Journal of King Saud University – Science, 2021, vol. 33, № 3. 101363 p. <https://doi.org/10.1016/j.jksus.2021.101363>

References

1. Astapchuk I.L., Yakuba G.V., Nasonov A.I. Skrining shtammov-antagonistov *Trichoderma* Pers. k vozбудitelyam gnili korney yabloni iz roda *Fusarium* Link [Screening of antagonist strains of *Trichoderma* Pers. to pathogens of apple tree root rot from the genus *Fusarium* Link]. *Sadovodstvo i vinogradarstvo*, 2022, № 5, pp. 47-53. <https://doi.org/10.31676/0235-2591-2022-5-47-53>
2. *Vserossiyskaya kolleksiya mikroorganizmov* [All-Russian Collection of Microorganisms]. <http://www.vkm.ru/rus>
3. Kondakova O.E., Grodnitskaya I.D. Otsenka biologicheskoy aktivnosti muzeynykh kul'tur mikroorganizmov-antagonistov i ikh ispol'zovanie dlya predposevnoy obrabotki semyan sosny obyknovennoy (*Pinus sylvestris* L.) in

- vitro [Assessment of the biological activity of museum cultures of antagonistic microorganisms and their use for pre-sowing treatment of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) seeds in vitro]. *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo universiteta. Biologiya*, 2018, № 42, pp. 54–68. <https://doi.org/10.17223/19988591/42/3>
4. Litovka Yu.A. *Ekologo-biologicheskie osobennosti i biokontrol' gribov roda Fusarium, rasprostranennykh v nazemnykh ekosistemakh Sredney Sibiri: avtoreferat dissertatsii na soiskanie uchenoy stepeni doktora biologicheskikh nauk* [Ecological and biological features and biocontrol of fungi of the genus *Fusarium*, widespread in terrestrial ecosystems of Central Siberia: abstract of the dissertation for the discovery of the scientific degree of Doctor of Biological Sciences]. Tomsk, 2019.
 5. *Nauchnyy tsentr «Kurchatovskiy institut». Nauchno-issledovatel'skiy institut genetiki i seleksii promyshlennykh mikroorganizmov* [Scientific Center “Kurchatov Institute”. Research Institute for Genetics and Selection of Industrial Microorganisms]. <https://vkpm.genetika.ru>
 6. Sadykova B. C., Bondar' P. N. Perspektivy ispol'zovaniya gribov p. *Trichoderma* v zashchite zlakov ot kornevykh gniley v Sibiri [Prospects for the use of *Trichoderma* fungi to protect grain crops from root rot in Siberia.]. *Vestnik KrasGAU*, 2010, no. 2, pp. 34–39. <https://doi.org/10.7868/S0555109915030149>
 7. Yurchenko E.G., Astapchuk I.L., Yakuba G.V., Savchuk N.V., Nasonov A.I. K izucheniyu antimikoticheskogo potentsiala gribov roda *Trichoderma* spp. v otnoshenii fitopatogenov *Fusarium* spp. vzbuditeley bolezney yabloni i vino-grada [To study the antimycotic potential of fungi of the genus *Trichoderma* spp. against phytopathogens *Fusarium* spp. pathogens of apples and grapes]. *Proceedings of the conference North Caucasus Federal Scientific Center of Horticulture, Viticulture, Winemaking*, 2020, pp. 396–407.
 8. Yakovleva M.T., Borisova V.B. Effektivnost' mestnykh shtammov klubben'kovykh bakteriy na produktivnost' Lyutserny [Efficiency of local strains of nodule bacteria on *Lucerne* productivity]. *International agricultural journal*, 2021, no. 5, pp. 272–279. <https://doi.org/10.24412/2588-0209-2021-10372>
 9. Al-Ani L.K.T. A patent survey of *Trichoderma* spp. (from 2007 to 2017). In: Singh H., Keswani C., Singh S. (eds) *Intellectual property issues in microbiology*. Springer, Singapore, 2019, pp. 163–192. http://doi.org/10.1007/978-981-13-7466-1_10
 10. Arasu M.V., Vijayaraghavan P., Al-Dhabi N.A., Choi K.C., Moovendhan M. Biocontrol of *Trichoderma gamsii* induces soil suppressive and growth-promoting impacts and rot disease-protecting activities. *Journal of Basic Microbiology*, 2023, vol. 63, no. 7, pp. 801–813. <https://doi.org/10.1002/jobm.202300016>

11. Bazghaleh, N.; Prashar, P.; Woo, S.; Vandenberg, A. Effects of Lentil Genotype on the Colonization of Beneficial *Trichoderma* Species and Biocontrol of Aphanomyces Root Rot. *Microorganisms*, 2020, vol. 8, 1290 p. <https://doi.org/10.3390/microorganisms8091290>
12. Bozdeveci, A., Karaoğlu, Ş.A. Determination of Biocontrol Properties of Two Local *Trichoderma* Isolates. *Biol Bull Russ Acad Sci*, 2023. <https://doi.org/10.1134/S1062359023602057>
13. Guzmán-Guzmán P., Kumar A., de los Santos-Villalobos S., Parra-Cota F.I., Orozco-Mosqueda Md.C., Fadji A.E., Hyder S., Babalola O.O., Santoyo G. *Trichoderma* Species: Our Best Fungal Allies in the Biocontrol of Plant Diseases—A Review. *Plants*, 2023, vol. 12, no. 3, 432 p. <https://doi.org/10.3390/plants12030432>
14. Haghi Z., Mostowfizadeh-Ghalamfarsa R., Steinberg C. The efficacy of Iranian *Pythium oligandrum* isolates in biocontrol of soil-borne fungal pathogens of tomato. *Journal of Plant Pathology*, 2023, vol. 105, pp. 185-196. <https://doi.org/10.1007/s42161-022-01245-5>
15. Harman G.E., Doni F., Khadka R.B., Uphoff N. Endophytic strains of *Trichoderma* increase plants' photosynthetic capability. *Journal of Applied Microbiology*, 2019, vol. 130, no. 2, pp. 529-546. <https://doi.org/10.1111/jam.14368>
16. Hautsalo J., Vestberg M., Parikka P., Finni S. et al. Biological control of strawberry crown rot is substrate dependent phenomenon. *Journal of Berry Research*, 2016, vol. 6, no. 1. pp. 65-79. <https://doi.org/10.3233/JBR-150110>
17. Illescas M., Morán-Diez M.E., Martínez de Alba Á.E., Hermosa R., Monte E. Effect of *Trichoderma asperellum* on wheat plants' biochemical and molecular responses, and yield under different water stress conditions. *International Journal of Molecular Science*, 2022, vol. 23, no. 12, 6782 p. <https://doi.org/10.3390/ijms23126782>
18. Jiang F., Peng Ye., Sun Q. Pesticides exposure induced obesity and its associated diseases: recent progress and challenges. *Journal of Future Foods*, 2022, vol. 2, pp. 119-124. <https://doi.org/10.1016/j.jfutfo.2022.03.005>
19. Karamchandani B.M., Chakraborty S., Dalvi S.G. Chitosan and its derivatives: Promising biomaterial in averting fungal diseases of sugarcane and other crops. *Journal of Basic Microbiology*, 2022, vol. 62, no. 5, pp. 533-554. <https://doi.org/10.1002/jobm.202100613>
20. Kekalo A.Yu., Zargaryan N.Yu., Nemchenko V.V. Effectiveness of fungicidal protection of spring wheat against powdery mildew and tan spot. *Siberian Herald of Agricultural Science*, 2023, vol. 53, no. 1, pp. 45-52. <https://doi.org/10.26898/0370-8799-2023-1-6>

21. Kumar J., Kumar M., Tomar A., Vaishali, Kumar P., Chand P. Morphological and molecular characterization of *Trichoderma spp.* from Rhizosphere Soil and their antagonistic activity against *Fusarium spp.* *International Journal of Plant and Soil Science*, 2021, vol. 33, no. 19, pp. 100-112. <https://doi.org/10.9734/ijpss/2021/v33i1930605>
22. Lyubenova A., Rusanova M., Nikolova M., Slavov S.B. Plant extracts and *Trichoderma spp.*: possibilities for implementation in agriculture as biopesticides. *Biotechnology and Biotechnological Equipment*, 2023, vol. 37, no. 1, pp. 159-166. <https://doi.org/10.1080/13102818.2023.2166869>
23. Manzar N., Kashyap A.S., Goutam R.S., Rajawat M.V.S., Sharma P.K., Sharma S.K., Singh H.V. *Trichoderma*: Advent of Versatile Biocontrol Agent, Its Secrets and Insights into Mechanism of Biocontrol Potential. *Sustainability*, 2022, vol. 14, no. 19, 12786 p. <https://doi.org/10.3390/su141912786>
24. Martínez-Padrón H.Y., Herrera-Mayorga V., Paredes-Sánchez F. A., Lara-Ramírez E. E., Torres-Castillo J. A., Rodríguez-Herrera R., López-Santillán J. A., Osorio-Hernández E. In vitro evaluation of the antagonistic activity of native strains of *Trichoderma spp.* against *Fusarium spp.* *Journal of Environmental Science and Health*, 2023, part B, vol. 58, no. 2, pp. 195-202. <https://doi.org/10.1080/03601234.2023.2185014>
25. Meher J., Rajput R.S., Bajpai R., Teli B., Sarma B.K. *Trichoderma*: A globally dominant commercial biofungicide. *Trichoderma: Agricultural Applications and Beyond, Soil Biology, Springer Nature: Cham, Switzerland*, 2020, vol. 61, pp. 195-208. http://doi.org/10.1007/978-3-030-54758-5_9
26. *National Library of Medicine. National Center for Biotechnology Information.* <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/blast>
27. Pani S., Kumar A., Sharma A. *Trichoderma harzianum*: An Overview. *Bulletin of Environment, Pharmacology and Life Sciences*, 2021, vol. 10, no. 6, pp. 32-39.
28. Pramanick B., Bera A., Saha P., Barman A. Soil Microflora and Their Interaction with Plants Under Changing Climatic Scenarios. *Microbial Symbionts and Plant Health: Trends and Applications for Changing Climate*, 2023, vol. 1, no. 2, pp. 19-40. https://doi.org/10.1007/978-981-99-0030-5_2
29. Putranto W.A., Nugroho R. A., Hardiyanta S.P., Cahyaningrum D.Ch. Are *Trichoderma atroviride* and *Trichoderma harzianum* effective to control *Fusarium* associated with tomato wilt? *Microbiology Indonesia*, 2021, vol. 15, no. 3, pp. 84-90 <https://doi.org/10.5454/mi.15.3.2>
30. Rola K., Majewska E., Chowaniec K. Interaction effect of fungicide and chitosan on non-target lichenized fungi. *Chemosphere*, 2023, vol. 316, 137772 p. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2023.137772>

31. Sana B. S., Sumaira H., Dar M. S. et al. Morpho-cultural and molecular characterization of *Trichoderma* species from apple rhizosphere of North-western Himalayan temperate region of India. Preprint (Version 1) available at Research Square, 2023. <https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-2429359/v1>
32. Tucci M., Ruocco M., Masi L. D., Palma M. D., Lorito M. The beneficial effect of *Trichoderma spp.* on tomato is modulated by the plant genotype. *Molecular Plant Pathology*, 2011, vol. 12, no. 4, pp. 341–354. <https://doi.org/10.1111/j.1364-3703.2010.00674.x>
33. Tyskiewicz R., Nowak A., Ozimek E., Jaroszuk-Sciseł J. *Trichoderma*: the current status of its application in agriculture for the biocontrol of fungal phytopathogens and stimulation of plant growth. *International Journal of Molecular Sciences*, 2022, vol. 23, no. 4, 2329 p. <https://doi.org/10.3390/ijms23042329>
34. Viglas J., Olejnikova P. *Trichoderma atroviride*: an isolate from forest environment with secondary metabolites with high antimicrobial potential. *Acta Chimica Slovaca*, 2019, vol. 12, no. 1, pp. 46-55. <https://doi.org/10.2478/acs-2019-0008>
35. Xue P., Liu X., Jia H., Yuan H., Liu B., Zhang J., He Z. Environmental behavior of the chiral fungicide epoxiconazole in earthworm-soil system: Enantioselective enrichment, degradation kinetics, chiral metabolite identification, and biotransformation mechanism. *Environment International*, 2022, vol. 167, 107442 p. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2022.107442>
36. Yassin M.T., Mostafa A.A.F., Al-Askar A.A., Sayed S.R.M., Rady A.M. Antagonistic activity of *Trichoderma harzianum* and *Trichoderma viride* strains against some fusarial pathogens causing stalk rot disease of maize, in vitro. *Journal of King Saud University – Science*, 2021, vol. 33, no. 3, 101363 p. <https://doi.org/10.1016/j.jksus.2021.101363>

ВКЛАД АВТОРОВ

Все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку статьи для публикации.

AUTHOR CONTRIBUTIONS

The authors contributed equally to this article.

ДАнные ОБ АВТОРАХ

Кузнецова Виктория Евгеньевна, инженер-исследователь лаборатории экологической биотехнологии
Федеральное государственное бюджетное учреждение науки «Иркутский институт химии им. А.Е. Фаворского Сибирского Отделения Российской Академии Наук»

*ул. Фаворского, 1, г. Иркутск, 664033, Российская Федерация
uchiha-viksyia@mail.ru*

Матвеева Елена Александровна, к. хим. наук, научный сотрудник лаборатории экологической биотехнологии
*Федеральное государственное бюджетное учреждение науки «Иркутский институт химии им. А.Е. Фаворского Сибирского Отделения Российской Академии Наук»
ул. Фаворского, 1, г. Иркутск, 664033, Российская Федерация
elenamatveeva01@yandex.ru*

Беловежец Людмила Александровна, д-р биол. наук, ведущий научный сотрудник лаборатории экологической биотехнологии
*Федеральное государственное бюджетное учреждение науки «Иркутский институт химии им. А.Е. Фаворского Сибирского Отделения Российской Академии Наук»
ул. Фаворского, 1, г. Иркутск, 664033, Российская Федерация
lyu-sya@yandex.ru*

DATA ABOUT THE AUTHORS

Victoria E. Kuznetsova, Research Engineer of the Laboratory of Environmental Biotechnology
*Federal State-Funded Institution of Science the Irkutsk A.E. Favorsky Institute of Chemistry of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences
1, Favorskogo Str., Irkutsk, 664033, Russian Federation
uchiha-viksyia@mail.ru
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2056-1839>*

Elena A. Matveeva, Candidate of Chemical Science, Research assistant of the Laboratory of Environmental Biotechnology
*Federal State-Funded Institution of Science the Irkutsk A.E. Favorsky Institute of Chemistry of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences
1, Favorskogo Str., Irkutsk, 664033, Russian Federation
elenamatveeva01@yandex.ru
SPIN-code: 3232-8041
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1518-2738>
ResearcherID: GRS-7129-2022
Scopus Author ID: 57211065401*

Lyudmila A. Belovezhets, Doctor of Biological Sciences, Leading researcher
of the Laboratory of Environmental Biotechnology
*Federal State-Funded Institution of Science the Irkutsk A.E. Favorsky
Institute of Chemistry of the Siberian Branch of the Russian Academy
of Sciences*
1, Favorskogo Str., Irkutsk, 664033, Russian Federation
lyu-sya@yandex.ru
SPIN-code: 6935-1947
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9847-9317>
ResearcherID: K-1495-2018
Scopus Author ID: 9233237100

Поступила 22.09.2023

После рецензирования 31.10.2023

Принята 11.11.2023

Received 22.09.2023

Revised 31.10.2023

Accepted 11.11.2023

DOI: 10.12731/2658-6649-2024-16-2-825

УДК 631.847.22:635.64



Научная статья

ВЛИЯНИЕ КОМПЛЕКСНЫХ ПРЕПАРАТОВ НА ОСНОВЕ ГИДРОГЕЛЯ И КУЛЬТУРЫ ФОСФАТМОБИЛИЗУЮЩИХ БАКТЕРИЙ *BACILLUS MYCOIDES* A7 НА РОСТ ТОМАТОВ В УСЛОВИЯХ СВЕТОКУЛЬТУРЫ

А.Д. Елисеева, А.Ю. Максимов

Обоснование. Неравномерное распределение и недостаток воды является одной из глобальных проблем с которой сталкиваются во всем мире. Особенно актуально неравномерное водообеспечение для растениеводства. В сельскохозяйственной практике проблема недостатка воды может быть решена путем внесения в почву препаратов на основе гидрогелей. Использование гидрогелей позволяет снизить частоту полива и уплотнение почвы, остановить эрозию, вымывание питательных веществ и биогенных элементов, оптимизировать аэрацию почвы и микробиологическую активность. Однако имеющиеся на рынке сорбционные полимеры сельскохозяйственного назначения не решают проблемы питания и оздоровления растений.

Цель. Целью настоящих экспериментов является определение влияния комплексных препаратов на основе полимерного носителя и штамма фосфатмобилизующих бактерий *Bacillus mycoides* A7, обладающего амилазной и липазной активностью на рост рассады томата в условиях светоккультуры.

Материалы и методы исследований. Для оценки влияния разных вариантов биопрепарата на рост томатов скороспелого сорта «Балконное чудо» измеряли морфометрические параметры и биохимические показатели растений. В каждом варианте определяли среднее значение и стандартное отклонение. Измерение концентрации пролина в листьях проводили по описанию Бейтса и др., 1973. Концентрацию белка определяли по методу Бредфорд, 1976. Активность антиоксидантного фермента пероксидазы оценивали по методу Чанса и Мэли, 1955. Активность каталазы измеряли по методу Накано и Асады, 1981.

Результаты. Показано, что добавление в грунт как биомассы *Bacillus mycoides* A7, так и полученных комплексных препаратов, оказывает выраженное ростостимулирующее действие на модельные растения. Инокуляция жидкой суспензии культуры *B. mycoides* A7 в большей степени стимулировала рост модельных растений, чем все препараты чистого гидрогеля, но в меньшей, чем все комплексные препараты этой культуры с гидрогелями. Установлено также, что варианты с внесением культуры бактерий и комплексного препарата содержат меньшие концентрации стрессовых факторов, что свидетельствует о нормализации обменных процессов и общего состояния модельных растений.

Заключение. Исследование влияния комплексных препаратов на основе полиакриламидного гидрогеля и культуры фосфатмобилизирующих бактерий *Bacillus mycoides* A7, продуцента ферментов амилазы и липазы, на рост растений томатов скороспелого сорта «Балконное чудо» в условиях светокультуры показало, что данная культура в составе комплексного препарата, нормализует физиологическое состояние и стимулирует рост растений.

Ключевые слова: акриловые полимеры; *Bacillus mycoides* A7; бактериальные препараты; томаты

Для цитирования. Елисеева А.Д., Максимов А.Ю. Влияние комплексных препаратов на основе гидрогеля и культуры фосфатмобилизирующих бактерий *Bacillus mycoides* A7 на рост томатов в условиях светокультуры // *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*. 2024. Т. 16, №2. С. 239-252. DOI: 10.12731/2658-6649-2024-16-2-825

Original article

THE INFLUENCE OF COMPLEX PREPARATIONS BASED ON HYDROGEL AND CULTURE OF PHOSPHATE-MOBILIZING BACTERIA *BACILLUS MYCOIDES* A7 ON TOMATO GROWTH UNDER LIGHT CULTURE

A.D. Eliseeva, A.Yu. Maksimov

Background. Uneven distribution and lack of water is one of the global problems faced all over the world. Particularly relevant is the uneven water supply for crop production. In agricultural practice, the problem of water shortage can be solved by introducing preparations based on hydrogels into the soil. The use of hy-

drogels makes it possible to reduce the frequency of irrigation and soil compaction, stop erosion, leaching of nutrients and biogenic elements, optimize soil aeration and microbiological activity. However, agricultural sorption polymers available on the market do not solve the problems of plant nutrition and health improvement.

The **purpose** of these experiments is to determine the effect of complex preparations based on a polymer carrier and a strain of phosphate-mobilizing bacteria *Bacillus mycoides* A7, which has amylase and lipase activity, on the growth of tomato seedlings under light culture conditions.

Materials and research methods. To assess the effect of different variants of the biological product on the growth of tomatoes of the early ripe variety “Balkonnoe chudo”, the morphometric parameters and biochemical parameters of plants were measured. In each variant, the mean value and standard deviation were determined. Proline concentration in leaves was measured as described by Bates et al., 1973. Protein concentration was determined by the method of Bradford, 1976. The activity of the antioxidant peroxidase enzyme was evaluated by the method of Chance and Maley, 1955. Catalase activity was measured by the method of Nakano and Asads, 1981.

Results. It has been shown that the addition of both *Bacillus mycoides* A7 biomass and the obtained complex preparations to the soil has a pronounced growth-stimulating effect on model plants. Inoculation of a liquid suspension of *B. mycoides* A7 culture stimulated the growth of model plants to a greater extent than all preparations of pure hydrogel, but to a lesser extent than all complex preparations of this culture with hydrogels. It was also established that the variants with the introduction of a bacterial culture and a complex preparation contain lower concentrations of stress factors, which indicates the normalization of metabolic processes and the general condition of model plants.

Conclusion. The study of the effect of complex preparations based on polyacrylamide hydrogel and a culture of phosphate-mobilizing bacteria *Bacillus mycoides* A7, a producer of amylase and lipase enzymes, on the growth of tomato plants of the early ripening “Balkonnoe chudo” variety under light culture conditions showed that this culture, as part of a complex preparation, normalizes the physiological hygienic state and stimulates plant growth.

Keywords: acrylic polymers; *Bacillus mycoides* A7; bacterial preparations; tomato

For citation. Eliseeva A.D., Maksimov A.Yu. The Influence of Complex Preparations Based on Hydrogel and Culture of Phosphate-Mobilizing Bacteria *Bacillus mycoides* A7 on Tomato Growth under Light Culture. *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*, 2024, vol. 16, no. 2, pp. 239-252. DOI: 10.12731/2658-6649-2024-16-2-825

Введение

Акриловые полимеры – известная группа материалов, имеющих широкий спектр применения, включающий лакокрасочные материалы, клеи, конструкционные и строительные материалы, суперабсорбенты, в том числе медицинского и сельскохозяйственного применения. За последние два десятилетия их производство и ассортимент значительно расширились [8, 9, 17]. Сополимеризация акриловой кислоты или ее солей и акриламида используется в производстве большинства современных суперабсорбентов. Благодаря водоудерживающей способности и удержанию питательных веществ от вымывания, суперабсорбенты были успешно испытаны в качестве препаратов для улучшения физических и физико-химических свойств почв в растениеводстве [2, 8, 14, 19-21]. В настоящее время изучается возможность применения данных материалов для решения и других сельскохозяйственных проблем. В частности, применение гидрогелей позволяет снизить частоту полива и уплотнение почвы, остановить эрозию и сток воды, повысить аэрацию почвы и микробиологическую активность [2, 3, 5, 7, 10-12, 22].

Гидрогели также действуют как система с контролируемым высвобождением включенных в матрицу геля компонентов, что способствует усвоению некоторых питательных элементов и органических веществ и агрохимикатов, удерживает их от вымывания из грунта, умеренно замедляет их растворение, а, следовательно, позволяет снизить и их расход. Растения могут долгое время получать доступ к биоактивным компонентам и удобрениям, связанным с гидрогелем, что способствует улучшению их роста и продуктивности. Однако чистый гидрогель остается достаточно дорогим материалом, что ограничивает его применение в сельском хозяйстве. В связи с этим представляют большой интерес получение, исследование и внедрение в практику комплексных материалов на основе полимерных гидрогелей, содержащих различные полезные компоненты: микроудобрения, биологические активные добавки или клетки средообразующих бактерий прикорневой микрофлоры. Поэтому актуальной задачей также является получение комплексных препаратов в качестве средств биологической защиты растений [4, 6-8, 10, 11, 14].

В настоящем исследовании проведены испытания комплексных препаратов на основе акриловых гидрогелей и бактерий – продуцентов ферментов, применение которых может стимулировать рост рассады томата. Исследование бактерий *Bacillus mycoides* в качестве основы комплексного препарата для растениеводства в условиях светокультуры проводится впервые.

Материалы и методы исследования

В работе использовали бактериальный штамм фосфатмобилизующих бактерий *B. mycoides* A7, продуцент амилазы и липазы, из коллекции лаборатории молекулярной биотехнологии ИЭГМ УрО РАН-филиала ПФИЦ УрО РАН. Культуру выращивали на среде Luria–Bertani (LB). Для определения влияния препаратов экстремотолерантных бактерий на рост модельных растений проведен эксперимент по инокуляции культуры, выращенной до стационарной фазы, отмытой и ресуспендированной в дистиллированной воде, в почвенную среду в количестве 50 мг по сухому весу клеток на 200 г по сухому весу садовой почвы. В качестве модельного растения использован скороспелый низкорослый сорт томатов (*Solanum lycopersicum*, L.) закрытого грунта «Балконное чудо».

Получение гидрогелевой основы – поперечносшитого гидрогеля на основе 7,5% акриламида и 7,5% акрилата проводили в объёме 300 мл смешением растворов мономеров: акриламид 35% – 64,5 мл, акрилат 20% – 112,5 мл, метиленбисакриламид 10% – 22,5 мл. До нужного объема доводили добавлением дистиллированной воды. Синтез полимерной основы проводили методом радикальной полимеризации. В качестве инициаторов полимеризации использовали персульфат калия и тетраметилэтилендиамин [1].

Процесс получения комплексных препаратов на основе гидрогелей, содержащих активные клетки бактерий, включал следующие стадии: 1) Выращивание активной биомассы бактерий глубинным способом в ёмкостном ферментере объёмом 5 литров. 2) Концентрирование сырой бактериальной массы методом центрифугирования (в случае масштабирования для промышленного применения возможны сепарация или фильтрация). 3) Синтез полимерной основы – сополимера поперечно-сшитого гидрогеля с использованием цитопротекторов и инновационного способа внесения активной биомассы, способствующего сохранению высокой жизнеспособности активных клеток. Полимеризация в течение 12 часов. 4) Размол сырой полимерной массы до частиц размером 2-3,5 мм. 5) Сушка в вакуумном сушильном шкафу при 30°C в течение 1 часа до влажности 70%.

Таким образом, получены препараты, содержащие клетки *B. mycoides* A7 в количестве 10^{10} клеток на 5 г гидрогеля. Для вегетационного опыта использовали препараты, полученные на этой стадии.

Выращивание томатов проводили в фитотроне при температуре 25°C в условиях 16-часового фотопериода. В качестве источника излучения использовали широкополновые светильники UniversalLED мощностью 100 Вт с максимумами излучения при 460, 530 и 800 нм.

Исследовали влияние разных вариантов биопрепарата на сформированные 20-суточные растения, подрощенные в равных условиях в лотках. Растения пересаживали в индивидуальные контейнеры объемом 800 мл с обедненным торфогрунтом и культивировали 60 суток. Полив осуществляли путем ежедневного внесения воды в каждый контейнер с растением по схеме: 1 неделя - 5 мл, 2-я неделя - 8 мл, 3-я неделя – 10 мл, 4-я неделя 12 мл, 5-я неделя и далее - по 15 мл.

Варианты опыта включали:

К – контроль, без гидрогеля и живых бактериальных культур;

K2 – без внесения гидрогеля с инокуляцией клеток бактериальной культуры, инактивированных прогревом 80°C 30 мин;

ГГ – поперечно-сшитый сополимер 7,5% акриламида (АА) и 7,5% акрилата (АК) в количестве 5 г;

ГГ-ВА – комплексный препарат (в количестве 5 г), содержащий биомассу *B. mycoides* A7 в количестве 10^{10} клеток с гидрогелем (ГГ);

ВА – инокуляция жидкой суспензии *B. mycoides* A7 в количестве 10^{10} клеток.

Каждый вариант включал 5 повторностей. В каждом варианте определяли среднее значение и стандартное отклонение. Статистическую обработку проводили с помощью стандартного программного пакета MS Excel. Определяли стандартное отклонение и стандартную ошибку среднего. Достоверность различий определяли по критерию Уилкоксона-Манна-Уитни.

Через 30 суток выращивания измеряли морфометрические параметры томатов. Для определения биохимических показателей тканей растения замороженные образцы листьев (0,5 г свежего веса) гомогенизировали при предварительном охлаждении в микропробирках объемом 2 мл с 1,5 мл 50 мм калий-фосфатного буфера (pH = 7,8), содержащего 0,5 мм ЭДТА на аппарате MagNa Lyser в соответствии с инструкцией производителя. Гомогенаты центрифугировали в течение 20 мин при 12 000 g при 4°C. Супернатанты использовали для определения ферментативной активности, количества общего белка и пролина. Пролин в листьях определяли по описанию Бейтса и др., 1973 [13] после экстракции при комнатной температуре. Концентрацию белка определяли по методу Бредфорд, 1976 [15]. Активность антиоксидантного фермента пероксидазы оценивали при 470 нм по методу Чанса и Мэли, 1955 [16]. Активность каталазы измеряли путем определения окисления перекиси водорода спектрофотометрически при 240 нм с использованием метода Накано и Асады, 1981 [18].

Результаты исследования и их обсуждение

Исследовано влияние внесения в почву препаратов чистого гидрогеля, биомассы *B. mycoides* А7 и комплексного препарата, содержащего гидрогель и клетки *B. mycoides* А7, на рост рассады томата сорта Балконное чудо в условиях светокультуры. В таблице 1 указаны результаты морфометрических измерений на 30-е сутки эксперимента.

Показано, что внесение гидрогеля стимулирует развитие растений, что можно объяснить нормализацией водного баланса почвенной среды. Инокуляция жидкой суспензии культуры *B. mycoides* А7 в большей степени стимулировала рост модельных растений, чем все препараты чистого гидрогеля, но в меньшей, чем все комплексные препараты этой культуры с гидрогелями (таблица 1).

Таблица 1.

Средние морфометрические параметры томатов на 30-ые сутки эксперимента в присутствии препаратов на основе гидрогеля

Вариант	Длина корня, см	Длина побега, см	Среднее количество цветков	Сухая масса, г	
				корня	побега
К	8,9±1,9	15,6±1,8	8,3±2,1	0,51±0,09	1,6±0,19
К2	10,4±2,1	16,3±2,1	9,7±1,2	0,54±0,10	1,85±0,24
ГГ	13,3±1,5	19,7±2,5	11,3±0,6	0,52±0,07	2,05±0,40
ГГ-ВА	14,2±1,2	24,9±2,8	13,6±1,5	0,56±0,11	2,38±0,52
ВА	13,2±0,9	20,4±2,2	13,0±2,6	0,53±0,12	2,18±0,43

Установлено, что при внесении культуры *B. mycoides* А7 морфометрические показатели томатов возрастали на 30% и более, рассада томата быстрее переходит к цветению и формирует большее количество цветков. Максимальный ростостимулирующий эффект обнаружен при применении комплексного препарата ГГ-ВА, содержащего клетки *B. mycoides* А7 поперечно-сшитый сополимер 7,5% акриламида и 7,5% акрилата (рисунок 1).

Таким образом, по морфометрическим показателям выявлено стимулирующее влияние добавления комплексных препаратов, содержащих гидрогель и культуру – продуцент гидролитических ферментов амидазы и липазы, на рост модельных растений.

Помимо морфометрических определяли биохимические показатели, связанные с влиянием стрессовых факторов среды на модельные растения: общее содержание белка, содержание естественного осмопротектора пролина, антиоксидантных ферментов – каталазы и пероксидазы (таблица 2).



Рис. 1. Растения томатов на 30-е сутки роста после инокуляции культур бактерий.

Варианты опыта:

- 1 – Контроль (К), без биодобавок с равным объемом буфера;
- 2 – Контроль (К2), с инактивированной бактериальной культурой;
- 3 – суспензия клеток *B. mycoides* A7;
- 4 – сополимер 7,5% АА + 7,5% АК с клетками *B. mycoides* A7.

Таблица 2.

Биохимические показатели листьев томатов на 30-е сутки роста

Вариант	Содержание белка, мг/г*	Среднее кол-во белка, мг	Пролин, мг/г*	Каталаза, ед/мг/мин	Пероксидаза, ед/мг/мин
К	12,3	19,7	34,2	26,7±1,7	22,1±1,5
К2	12,5	23,1	31,2	26,5±1,8	23,8±1,7
ГГ	11,8	24,2	23,3	25,1±1,4	23,5±1,9
ГГ-ВА	13,3	31,7	25,2	23,7±1,3	19,9±1,9
ВА	12,8	27,9	29,3	25,3±1,7	22,4±2,7

* – усредненная проба

Установлено, что содержание белка в мг на 1 г сырой биомассы в листовых пластинках менялось незначительно во всех вариантах. Однако в вариантах с внесением чистого гидрогеля наблюдалось небольшое (до 4,1%) снижение содержания белка относительно контроля, в то время как в вариантах с внесением клеточной культуры в составе комплексных препаратов наблюдался рост количества белка до 8,1% в варианте ГГ-ВА. Количество белка в вариантах с добавлением комплексных препаратов было также выше по сравнению с чистой культурой *B. mycoides* A7. Такой результат можно объяснить улучшением водного режима растений в присутствии чистого

гидрогеля, что приводит к лучшему сохранению воды в условиях лимитируемого полива и, соответственно, небольшому снижению относительного содержания растворимых компонентов, в том числе белка. Однако суммарное содержание белка в растении возросло за счет большего количества биомассы (таблица 2). В то же время внесение биомассы *B. mycoides* A7, обладающей способностью к фосфатмобилизации, а также способностью к солнобилизации фосфата из малорастворимых соединений, таких, как фосфориты и гидроксипатит могло стимулировать метаболические процессы, что приводило к повышению концентрации растворимого белка.

Установлено, что содержание пролина было выше в контрольных вариантах, чем во всех вариантах с гидрогелем и комплексным препаратом. Это указывает на дефицит воды для растущих растений в вариантах без добавления гидрогеля и вероятность развития признаков легкого осмотического стресса. В то же время варианты с гидрогелем не нуждались в дополнительном получении влаги. В пользу данного предположения также свидетельствует повышение активности каталазы, фермента оксидативного стресса, выявленное в тех же вариантах. В то же время по уровню содержания пероксидазы не выявлено значимых закономерностей.

Выводы

Показано, что добавление в грунт как суспензии культуры фосфатмобилизирующих бактерий *B. mycoides* A7— продуцента амилазы и липазы, так и комплексных препаратов на основе акрилового гидрогеля, содержащих эту культуру, оказывает ростостимулирующее действие на модельные растения томатов (*Solanum lycopersicum*, L.). Установлено, что варианты с внесением культуры бактерий и комплексного препарата содержат меньшие концентрации стрессовых факторов, что свидетельствует о нормализации обменных процессов и общего состояния модельных растений. Таким образом, данная культура бактерий представляется перспективной для получения препаратов, нормализующих физиологическое состояние и питание корневой микрофлоры растений, стимулирующих их продуктивность.

Информация о спонсорстве. Исследования влияния бактериального препарата на рост томата в условиях светокультуры выполнены в рамках государственного задания, номер государственной регистрации НИ-ОКТР 122031100058-3. В части получения комплексного препарата на основе гидрогеля и клеток бактерий работа поддержана грантом УМНИК № 18124ГУ/2022.

Список литературы

1. Байбурдов Т.А., Шиповская А.Б. Синтез, химические и физико-химические свойства полимеров акриламида. Саратов, 2014. 67 с.
2. Будников В.И., Синкин В.В., Стрельников В.Н. Исследование водосорбционных характеристик наполненных акриловых сополимеров // Журнал прикладной химии. 2010. Т. 83. № 8. С. 1284-1287.
3. Данилова Т. Н., Табынбаева Л. К. Полимерные гели для управления водообеспеченностью пшеницы (*Triticum aestivum* L.) в разных экологических условиях // Сельскохозяйственная биология. 2019. Т. 54. № 1. С. 76-83.
4. Данилова Т. Н., Аннабаева А. В. Возможности применения полимерных гелей для повышения продуктивности сельскохозяйственных культур // Аграрные ландшафты, их устойчивость и особенности развития. 2020. С. 540-542.
5. Данилова Т. Н. Влияние полимерных гелей на диапазон доступной влаги дерново-подзолистой почвы // Агрофизика. 2020. № 3. С. 17.
6. Данилова Т. Н., Хомяков Ю. В., Конончук П. Ю. Биологическая активность дерново-подзолистой супесчаной почвы при мелиоративном внесении гидрогелей // Вестник защиты растений. 2021. Т. 104. № 2. С. 97-104.
7. Максимова Ю.Г., Максимов А.Ю., Демаков В.А., Будников В.И. Влияние гидрогелей полиакриламида на микрофлору почвы // Вестник Пермского университета. Серия: Биология. 2010. № 1. С. 45-49.
8. Максимова Ю.Г., Щетко В.А., Максимов А.Ю. Полимерные гидрогели в сельском хозяйстве (Обзор) // Сельскохозяйственная биология. 2023. Т. 58. № 1. С. 23-42.
9. Мужайло Е. В., Волкова Д. С., Стороженко С. Е. Применение полимеров акриловой и метакриловой кислот в технологии получения мягких лекарственных форм // Лесной и химический комплексы-проблемы и решения. 2022. С. 456-458.
10. Мырзаханова М. Н., Кушкumbaева А. А. Инновационные возможности поддержания почвенного баланса различных сельскохозяйственных культур // Современные научные исследования и разработки. 2016. № 7. С. 451-453.
11. Смагин А.В., Колганихина Г.Б., Васенев В.И., Смагина М.В., Садовникова Н.Б., Будников В.И. Гель-серебряные композиции для ризосферы: лабораторное тестирование антимикробных свойства // Агрохимия. 2018. № 5. С. 25-32.
12. Старовойтова О. А. Влияние водных абсорбентов на урожайность картофеля и содержание влаги в почве // Агроинженерия. 2018. № 2 (84). С. 12-18.
13. Bates L.S., Waldren R.P., Teare I.D. Rapid determination of free proline for water-stress studies // Plant Soil. 1973. Vol. 39. P. 205–207.

14. Behera S., Mahanwar P. A. Superabsorbent polymers in agriculture and other applications: A review // *Polymer-Plastics Technology and Materials*. 2020. Vol. 59 (4). P. 341-356.
15. Bradford M.M. A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein dye binding // *Anal. Biochem.* 1976. Vol. 72. P. 248-254.
16. Chance B., Maehly A.C. Assay of catalase and peroxidases // *Methods Enzymol.* 1955. Vol. 2. P. 764-775.
17. Dorkoosh F.A., Brussee J., Verhoef J. C., Borchard G., Rafiee-Tehrani M., Junginger H. E. Preparation and NMR characterization of superporous hydrogels (SPH) and SPH composites // *Polymer*. 2000. Vol. 41. № 23. P. 8213-8220.
18. Nakano Y., Asada K. Hydrogen peroxide is scavenged by ascorbate-specific peroxidase in spinach chloroplasts // *Plant Cell Physiol.* 1981. Vol. 22. P. 867-880.
19. Oladosu Y., Rafii, M. Y., Arolu, F., Chukwu, S.C., Salisu, M.A., Fagbohun, I.K., Haliru B.S. Superabsorbent polymer hydrogels for sustainable agriculture: A review // *Horticulturae*. 2022. Vol. 8 (7). P. 605.
20. 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. P. 1203-1217.
21. Singh N., Agarwal S., Jain A., Khan S. 3-Dimensional cross linked hydrophilic polymeric network "hydrogels": An agriculture boom // *Agricultural Water Management*. 2021. Vol. 253, 106939.
22. Smagin A.V., Budnikov V.I., Sadovnikova N.B., Kirichenko A.V., Belyaeva E.A., Krivtsova V.N. Gel-forming soil conditioners of combined action: laboratory tests for functionality and stability // *Polymers*. 2022. Vol. 14 (21), 4665.

References

1. Bayburdov T.A., Shipovskaya A.B. *Cintez, khimicheskie i fiziko-khimicheskie svoystva polimerov akrilamida* [Synthesis, chemical and physico-chemical properties of acrylamide polymers]. Saratov, 2014, 67 p.
2. . Budnikov V.I., Sinkin V.V., Strelnikov V.N. A study of water-sorption characteristics of filled acrylic copolymers. *Russian J. Applied Chemistry*, 2010, vol. 83 (8), pp. 1390-1393.
3. Danilova T. N., Tabyimbaeva L. K. Polimernye geli dlya upravle-niya vodoobespechennost'yu pshenitsy (*Triticum aestivum* L.) v raznykh ekologi-cheskikh usloviyakh [Polymer gels for managing water availability of wheat (*Triticum aestivum* L.) in different environmental conditions]. *Sel'skokhozyaystvennaya biologiya*, 2019, vol. 54, no. 1, pp. 76-83.

4. Danilova T. N., Annabaeva A. V. Vozmozhnosti primeneniya poli-mernykh geley dlya povysheniya produktivnosti sel'skokhozyaystvennykh kul'tur [Possibilities of using polymer gels to increase the productivity of agricultural crops]. *Agrarnye landshafty, ikh ustoychivost' i osobennosti razvitiya*, 2020, pp. 540-542.
5. Danilova T. N. Vliyanie polimernykh geley na diapazon dostup-noy vlagi derno-podzolistoy pochvy [Influence of polymer gels on the range of available moisture in soddy-podzolic soil]. *Agrofizika*, 2020, no. 3, 17 p.
6. Danilova T. N., Khomyakov Yu. V., Kononchuk P. Yu. Biologicheskaya aktivnost' derno-podzolistoy supeschanoy pochvy pri meliorativnom vne-senii gidrogeley [Biological activity of soddy-podzolic sandy loamy soil during ameliorative application of hydrogels]. *Vestnik zashchity rasteniy*, 2021, vol. 104, no. 2, pp. 97-104.
7. Maksimova Yu.G., Maksimov A.Yu., Demakov V.A., Budnikov V.I. Vliyaniye gidrogeley poliakrilamida na mikrofluoru pochvy [The influence of polyacrylamide hydrogels on soil microflora]. *Bulletin of Perm University. Series: Biology*, 2010, no. 1, pp. 45-49.
8. Maksimova Yu.G., Shchetko V.A., Maksimov A.Yu. Polimernye gid-rogeley v sel'skom khozyaystve (Obzor) [Polymer hydrogels in Agriculture (Review)]. *Sel'skokhozyaystvennaya biologiya*, 2023, vol. 58, no. 1, pp. 23-42.
9. Muzhaylo E. V., Volkova D. S., Storozhenko S. E. Primenenie po-limerov akri-lovoy i metakrilovoy kislot v tekhnologii polucheniya myagkikh lekarstvennykh form [Application of polymers of acrylic and methacrylic acids in the technology of obtaining soft dosage forms]. *Lesnoy i khimicheskiy kompleksy-problemy i reshe-niya*, 2022, pp. 456-458.
10. Myrzakhanova M. N., Kushkumbaeva A. A. Innovatsionnye voz-mozhnosti podderzhaniya pochvennogo balansa razlichnykh sel'skokhozyaystvennykh kul'tur [Innovative opportunities to maintain the soil balance of various agricultural crops]. *Sovremennye nauchnye issledovaniya i razrabotki*, 2016, no. 7, pp. 451-453.
11. Smagin A.V., Kolganikhina G.B., Vasenev V.I., Smagina M.V., Sadovnikova N.B., Budnikov V.I. Gel'-serebryanyye kompozitsii dlya rizosfe-ry: laborator-noye testirovaniye antimikrobnnykh svoystva [Gel-silver compositions for the rhizosphere: laboratory testing of antimicrobial properties]. *Agrokhi-miya*, 2018, no. 5, pp. 25-32.
12. Starovoytova O. A. Vliyanie vodnykh absorbentov na urozhay-nost' kartofelya i sodержanie vlagi v pochve [Influence of water absorbents on potato yield and moisture content in soil]. *Agroinzheneriya*, 2018, no. 2 (84), pp. 12-18.

13. Bates L.S., Waldren R.P., Teare I.D. Rapid determination of free proline for water-stress studies. *Plant Soil*, 1973, vol. 39, pp. 205–207.
14. Behera S., Mahanwar P. A. Superabsorbent polymers in agriculture and other applications: A review. *Polymer-Plastics Technology and Materials*, 2020, vol. 59 (4), pp. 341–356.
15. Bradford M.M. A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein dye binding. *Anal. Biochem*, 1976, vol. 72, pp. 248–254.
16. Chance B., Maehly A.C. Assay of catalase and peroxidases. *Methods Enzymol*, 1955, vol. 2, pp. 764–775.
17. Dorkoosh F.A., Brussee J., Verhoef J. C., Borchard G., Rafiee-Tehrani M., Junginger H. E. Preparation and NMR characterization of superporous hydrogels (SPH) and SPH composites. *Polymer*, 2000, vol. 41, no. 23, pp. 8213–8220.
18. Nakano Y., Asada K. Hydrogen peroxide is scavenged by ascorbate-specific peroxidase in spinach chloroplasts. *Plant Cell Physiol*, 1981, vol. 22, pp. 867–880.
19. 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, pp. 1203–1217.
20. Oladosu Y., Rafii, M. Y., Arolu, F., Chukwu, S.C., Salisu, M.A., Fagbohun, I.K., Haliru B.S. Superabsorbent polymer hydrogels for sustainable agriculture: A review. *Horticulturae*, 2022, vol. 8 (7), pp. 605.
21. Singh N., Agarwal S., Jain A., Khan S. 3-Dimensional cross linked hydrophilic polymeric network “hydrogels”: An agriculture boom. *Agricultural Water Management*, 2021, vol. 253: 106939
22. Smagin A.V., Budnikov V.I., Sadovnikova N.B., Kirichenko A.V., Belyaeva E.A., Krivtsova V.N. Gel-forming soil conditioners of combined action: laboratory tests for functionality and stability. *Polymers*, 2022, vol. 14 (21): 4665.

ДАННЫЕ ОБ АВТОРАХ

Елисеєва Анна Дмитриевна, младший научный сотрудник

Пермский федеральный исследовательский центр Уральского отделения Российской академии наук; Пермский государственный национальный исследовательский университет
ул. Ленина, 3А, г. Пермь, 614990, Российская Федерация; ул. Букирева, 15, г. Пермь, Российская Федерация
liamrik@list.ru

Максимов Александр Юрьевич, канд. биол. наук, доцент, старший научный сотрудник

Пермский федеральный исследовательский центр Уральского отделения Российской академии наук; Пермский государственный национальный исследовательский университет

ул. Ленина, 3А, г. Пермь, 614990, Российская Федерация; ул. Букирева, 15, г. Пермь, Российская Федерация

almaks1@mail.ru

DATA ABOUT THE AUTHORS

Anna D. Eliseeva, Junior Researcher

Perm Federal Research Center of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences; Perm State National Research University

3А, Lenin Str., Perm, 614990, Russian Federation; 15, Bukirev Str., Perm, Russian Federation

liamrik@list.ru

Alexander Yu. Maksimov, PhD Biol. Sci., Associate Professor, Senior Researcher

Perm Federal Research Center of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences; Perm State National Research University

3А, Lenin Str., Perm, 614990, Russian Federation; 15, Bukirev Str., Perm, Russian Federation

SPIN-code: 2729-0780

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2591-3351>

ResearcherID: T-8070-2017

Scopus Author ID: 7101760526

almaks1@mail.ru

Поступила 08.09.2023

После рецензирования 10.10.2023

Принята 20.10.2023

Received 08.09.2023

Revised 10.10.2023

Accepted 20.10.2023

DOI: 10.12731/2658-6649-2024-16-2-846

УДК 631.452; 631.874.2/3



Научная статья

СОДЕРЖАНИЕ И ДИНАМИКА ПОСТУПЛЕНИЯ В ПОЧВУ ОСНОВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ПИТАНИЯ В РАСТИТЕЛЬНЫХ ОСТАТКАХ И ЗЕРНЕ ПОЛЕВЫХ КУЛЬТУР

Е.В. Семинченко

Обоснование. В условиях Нижнего Поволжья на светло-каштановых почвах разработаны и изучены новые приемы биологизации сохранения плодородия, основанные на замещении чистого пара, занятым сидеральным паром с мало изученными культурами на зеленое удобрение – донник двулетний желтый, овес и фацелия; в структуру посевных площадей включаются культуры различных биологических групп, в том числе зерновые, зернобобовые, масличные, пропашные и многолетние бобовые травы; помимо сидератов применяются органические удобрения в виде соломы и пожнивно-корневых остатков возделываемых сельскохозяйственных культур.

Цель работы. Изучить баланс основных элементов питания зерновых культур (озимая пшеница, нут, яровой ячмень) в полевых севооборотах.

Материалы и методы. Изучали зерновые культуры (озимую пшеницу, нут, яровой ячмень) в севооборотах на богаре. Для исследований была применена статистическая обработка результатов исследований в пакетах программ Excel и Statistica. На основе эмпирических данных по высоте, биомассе, ассимилирующей поверхности выявить закономерности изменения динамики зерновых культур за вегетационный период.

Результаты. За трехлетний период была проанализирована динамика поступления пожнивно-корневых остатков на содержание элементов питания в зерновых культурах. В работе представлено содержание азота в озимой пшенице, нуту и яровом ячмене, но исследования велись по всем элементам питания.

Заключение. Анализ данных за 3-х летний период зерновых культур, обработанный с помощью программы Excel и Statistica показал, что в независимости от севооборота высокое содержание элементов питания свойственно на

период всходов, затем постепенно снижается из-за расхода их растениями. С помощью программ можно рассчитать необходимое количество удобрений для заданного урожая.

Ключевые слова: биологизированные севообороты; зерновые культуры; урожайность; регрессия; элементы питания

Для цитирования: Семинченко Е.В. Содержание и динамика поступления в почву основных элементов питания в растительных остатках и зерне полевых культур // *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*. 2024. Т. 16, №2. С. 253-270. DOI: 10.12731/2658-6649-2024-16-2-846

Original article

THE CONTENT AND DYNAMICS OF THE ENTRY INTO THE SOIL OF THE MAIN NUTRIENTS IN PLANT RESIDUES AND GRAINS OF FIELD CROPS

E.V. Semenchenko

Background. For the first time in the abiotic conditions of the Lower Volga region on light chestnut soils, new methods of biologization of soil fertility preservation and specialized field crop rotations based on the replacement of pure steam with sideral steam with poorly studied crops for green fertilizer – biennial yellow clover, oats and phacelia were developed and studied; cultures of various biological groups are included in the structure of sown areas, including cereals, legumes, oilseeds, tilled and perennial legumes; in addition to siderates, organic fertilizers are used in the form of straw and crop – root residues of cultivated crops.

Purpose of the work is to study the balance of the main nutrition elements of grain crops (winter wheat, chickpeas, spring barley) in field crop rotations.

Materials and methods. Grain crops (winter wheat, chickpeas, spring barley) were studied in crop rotations on Bogar. Statistical processing of research results in Excel and Statistica software packages was used for research. Based on empirical data on height, biomass, assimilating surface, to identify patterns of changes in the dynamics of grain crops during the growing season.

Results. Over a three-year period, the dynamics of the receipt of crop-root residues for the content of nutrition elements in grain crops was analyzed. The paper

presents the nitrogen content in winter wheat, net and spring barley, but studies were conducted on all elements of nutrition.

Conclusion. *Thus, the analysis of data for a 3-year period of grain crops processed using the Excel program and the Statistica program showed that, regardless of crop rotation, a high content of nutrients is characteristic for the period of germination, then gradually decreases due to their consumption by plants. With the help of programs, you can calculate the required amount of fertilizers for a given crop.*

Keywords: *biologized crop rotations; grain crops; yield; regression; nutrition elements*

For citation. *Semenchenko E.V. Retention and Dynamics for Use as the Main Components of Nutrition in Plant Extracts and Grains of Polynych Kulturs. Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture, 2024, vol. 16, no. 2, pp. 253-270. DOI: 10.12731/2658-6649-2024-16-2-846*

Использование соломы изучали многие ученые, подчеркивая ее роль в повышении урожайности зерна и сохранении плодородия почвы [3, 9, 10, 12, 13-15].

В. Г. Кутилкин [8] утверждал, что внесение соломы в почву в звене севооборота с чистым паром способствует увеличению ее влажности весной, в тоже время влажность не зависела от удобрения соломой – в звеньях с занятым и сидеральным парами. Использование соломы на удобрения увеличивает поступление органического вещества в почву в звеньях севооборота с чистым и занятым парами в 1,7, в звене с сидеральным паром – 1,2 раза по сравнению с контролем.

По данным В. М. Жидкова и А. В. Зеленева [5, 6, 7] при оставлении на поле соломы озимой ржи в почву дополнительно поступало в среднем от 2,45 до 4,0 т/га органического вещества, достаточного для компенсации 0,25-0,42 т/га потерянного гумуса.

Исследования, проводимые учеными Н. С. Матюком, В. Д. Полиным и С. С. Зверевым [9] выявили, что при неглубокой (0,10 м) или поверхностной заделке пожнивного сидерата или соломы происходит смещение соотношения микробиологических процессов иммобилизации и мобилизации в направлении преобладания первого, что позволяет его закреплять в почве органически и использовать последующие культуры. При весеннем снеготаянии вымывание азота из пахотного слоя уменьшается в связи с временным его биологическим закреплением, что непосредственно влияет на содержания его легкодоступных форм.

А. В. Дедов, М. А. Несмеянова и Н. Н. Хрюкин [2] отмечают, что за счет оставленной на полях нетоварной части урожая и в первую очередь измельченной соломы озимых культур, пополнились запасы органического вещества почвы. При этом заплата соломы в почву не гарантирует положительного баланса гумуса.

А. Е. Яшин [12] утверждает, что, внесенные в почву сидераты и солома в совокупности с азотной подкормкой N_{10}/t и биопрепарата Байкал ЭМ-1 как на минеральном фоне, так и отдельно способствовали умножению содержания в ней доступных форм основных элементов минерального питания. Итак, в пахотном слое за ротацию в среднем под посевами озимой пшеницы минерального азота содержалось 17 мг/кг, обменного калия 184 мг/кг и подвижного фосфора 173 мг/кг.

Материалы и методы

Полевые и лабораторные исследования проводились на полях лаборатории селекции, семеноводства и питомниководства ФНЦ агроэкологии РАН, расположенной в правобережной зоне Городищенского района Волгоградской области в 2018-2020 гг. Почвы: каштановые, суглинистые, с глубоким залеганием грунтовых вод, содержание гумуса 1,8-2,2 %. В севооборотах применяли общепринятую технологию возделывания полевых культур. Общий азот в растительных остатках определялся методом Кьельдаля, а именно мокрого озоления, фосфор – колориметрическим методом, калий – на пламенном фотометре. Пробы отбирались в зерне, стерне и соломе, корневой системе возделываемых зерновых культур, а также в надземной массе и корнях сидеральных культур. Дисперсионный анализ урожайности озимой пшеницы, нута и ярового ячменя проводился методом дисперсионного анализа по Б. А. Доспехову, а также корреляционный анализ данных полевого опыта на персональном компьютере с использованием пакетов прикладных программ.

Результаты и методы

На содержание минеральных элементов в растительных остатках и зерне сельскохозяйственных культур влияет множество факторов: их возраст, приемы возделывания, почвенно-климатические условия и виды культуры. Так, например, содержание азота в зерновых культурах находится на уровне 2-3 %, а в бобовых 4-5 %. Наиболее высокое количество азота наблюдалось в молодых растениях, особенно в первой половине вегетации при формировании надземной части, синтезирующей органические вещества,

белок и ростовые органы. При этом по мере отрастания и старения вещество азота перемещается в более молодые части растения.

Аналогично распределению азотистых соединений в частях растения происходит и формирование фосфора, в молодых формирующихся отростках фосфора содержится в три раза больше, чем в вегетирующих частях. Содержание фосфора в зерне и соломе озимой ржи содержится, соответственно 0,85 и 0,26 %, в кукурузе – 0,57 и 0,3 %, ячмене – 0,85 и 0,2 %, горохе – 1 и 0,35 %.

Потребление калия так же изменяется в зависимости от типа культуры. Например, зернобобовые культуры и кукуруза используют большее количество калия, чем зерновые, но при этом в отличие от фосфора и азота, калия больше накапливается в вегетативной части растения. К примеру, в стебле кукурузы содержится в пять раз больше калия, чем в ее зерне, а солома озимой ржи и ячменя обеспечивает двойную дозу калия, в сравнении с их зерном. Таким образом, если сравнивать валовый урожай и солому, то обеспечивает большее количество калия в почву, чем зерно. Содержание калия в зерне и соломе полевых культур составляет: у озимой ржи 0,6 и 1,0 %, кукурузы – 0,37 и 1,64 %, ячменя – 0,55 и 1,0 %, гороха – 1,25 и 0,5 %.

На рисунках 1-3 представлены результаты анализа содержания элементов минерального питания в растительных остатках и зерне сельскохозяйственных культур.

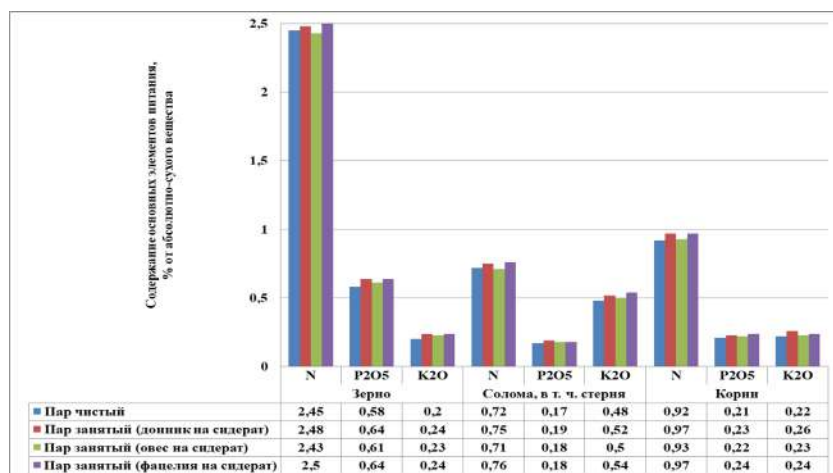


Рис. 1. Содержание основных элементов питания в зерне и растительных остатках озимой пшеницы, % от абсолютно – сухого вещества (среднее за 2018-2020 гг.)

Из данных рисунка 1 видно, что самое высокое содержание азота отмечалось в зерне озимой пшеницы и колебалось от 2,48 % при размещении этой культуры в пятипольном севообороте по занятому донником на сидерат пару до 2,5 % в варианте возделывания озимой пшеницы в семипольном севообороте по занятому фацелией на сидерат пару. Значительно меньше содержится азота в корневой системе и соломе со стерней озимой пшеницы, соответственно, 0,92-0,97 % и 0,71-0,76 % от абсолютно – сухого вещества.

Наибольшее количество фосфора также обеспечивалось в зерне озимой пшеницы – 0,58-0,64 %, менее в корнях – 0,21-0,24 % и наименьшее в соломе со стерней – 0,17-0,19 % от абсолютно – сухого вещества.

Несколько иная ситуация складывалась с содержанием калия. Самое высокое значение наблюдалось в соломе со стерней озимой пшеницы – 0,48-0,54 %, меньшее – в корневой системе – 0,22-0,26 % и самое малое количество – в зерне озимой пшеницы – 0,20-0,24 % от абсолютно – сухого вещества.

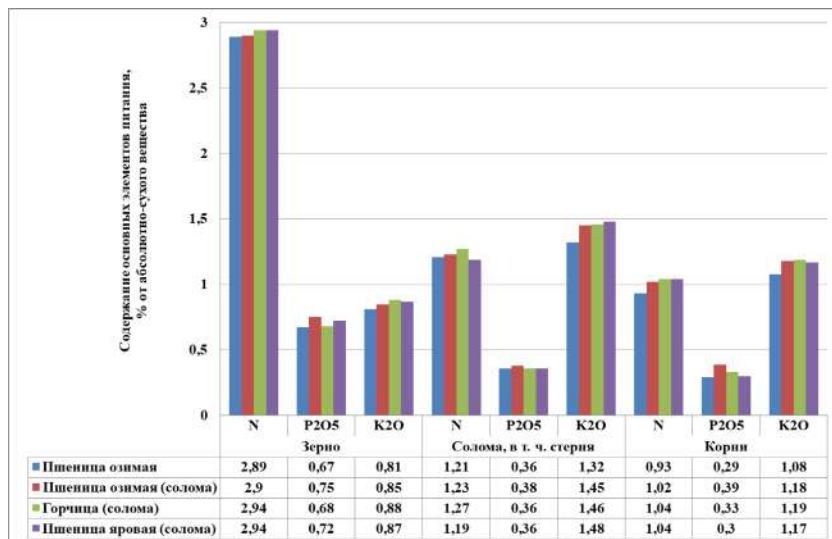


Рис. 2. Содержание основных элементов питания в зерне и растительных остатках нута, % от абсолютно – сухого вещества (среднее за 2018-2020 гг.)

Анализ рисунка 2 показал, что в зерне нута содержалось больше азота, чем в зерне озимой пшеницы – 2,89-2,94 %. В соломе этой культуры,

наоборот, содержание азота выше, чем в соломе озимой пшеницы и составляло 1,19-1,27 %. А вот в корнях содержание этого элемента питания приблизительно одинаковое с озимой пшеницей – 0,93-1,04 % от абсолютно – сухого вещества.

Содержание фосфора в зерне нута было немного выше, чем у озимой пшеницы – 0,67-0,75 %, в соломе выше и составляло 0,36-0,38 %, в корнях нута содержание фосфора равнялось 0,29-0,39 % от абсолютно – сухого вещества.

Самое высокое содержание калия обеспечивалось в соломе и стерне нута – 1,32-1,48 %, ниже отмечается в корневой системе – 1,08-1,19 % и в зерне – 0,81-0,88 % от абсолютно – сухого вещества.

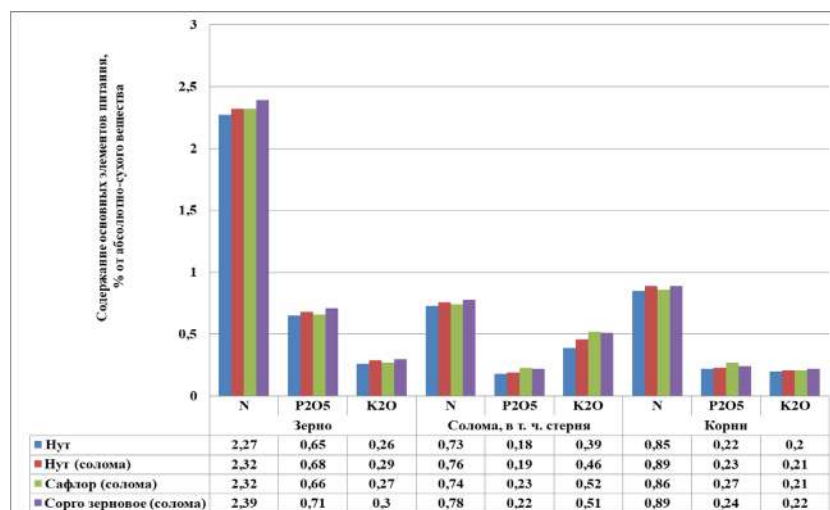


Рис. 3. Содержание основных элементов питания в зерне и растительных остатках ярового ячменя, % от абсолютно – сухого вещества (среднее за 2018-2020 гг.)

Анализируя данные рисунка 3, можно констатировать, что самое высокое содержание азота обеспечивалось в зерне ячменя – 2,27-3,39 %, что было ниже, чем в зерне озимой пшеницы и нута. Почти одинаковые значения отмечались по содержанию азота в соломе со стерней и корнях этой культуры, соответственно 0,73-0,78 % и 0,85-0,89 % от абсолютно – сухого вещества.

Самое низкое содержание фосфора из всех культур отмечалось в соломе со стерней ярового ячменя – 0,18-0,23 %. В корневой системе несколько выше – 0,22-0,27 % и самое высокое в зерне этой культуры – 0,65-0,71 %.

Самое высокое содержание калия отмечалось в соломе со стерней ярового ячменя – 0,39-0,52 %, в зерне – 0,26-0,30 % и в корнях – 0,20-0,22 % от абсолютно – сухого вещества.

Воспроизводство почвенного плодородия, положительный или бездефицитный баланс питательных веществ в почве обеспечивается при использовании органических удобрений: навоза, сидератов, соломы, листостебельной массы и пожнивно – корневых остатков культур. При средней урожайности зерновых культур – 2,0-3,0 т/га в почву с соломой возвращается 10-15 кг азота, 5-8 – фосфора, 18-24 кг калия.

При уборке выращиваемых культур на поле остается не одинаковое количество растительных остатков, которые в дальнейшем запахиваются в почву, а значит и процент содержания в них элементов минерального питания различен, что в свою очередь создает неоднородность поступления в почву питательных веществ (рис. 4, 5, 6).

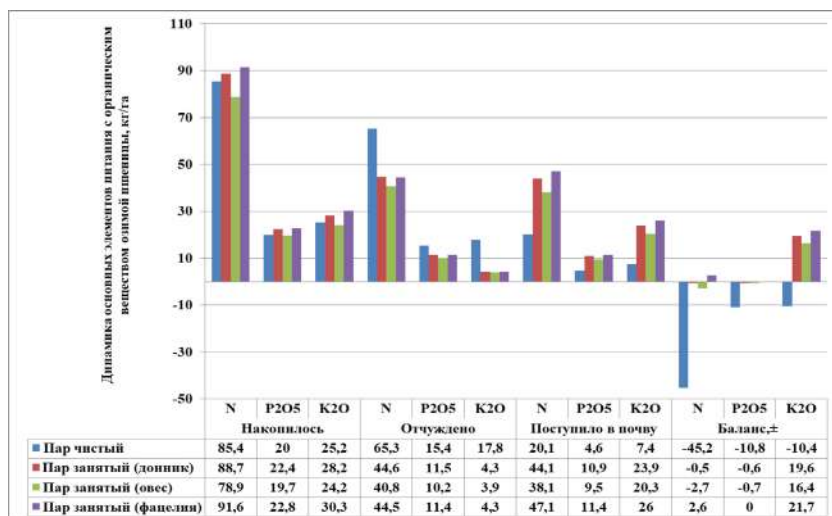


Рис. 4. Динамика основных элементов питания с органическим веществом озимой пшеницы в зависимости от предшественников и способов биологизации, кг/га (среднее за 2018-2020 гг.)

Из данных рисунка 4 видно, что больше всего поступало азота в почву с органическим веществом озимой пшеницы при возделывании в семипольном севообороте по занятому фацелией на сидерат пару – 47,1 кг/га, что выше контроля, где в почву поступали только пожнивно-корневые

остатки озимой пшеницы на 27,0 кг/га. В вариантах, где озимая пшеница возделывалась по занятым донником и овсом на сидерат парам, этот показатель, соответственно равнялся 44,1 и 38,1 кг/га, что выше контроля на 24,0 и 18,0 кг/га. Аналогичная ситуация наблюдается и с поступлением в почву фосфора и калия.

Баланс азот и фосфора, поступающих в почву с органическим веществом озимой пшеницы, был отрицательный как в контрольном варианте, соответственно $-45,2$ и $-10,8$ кг/га, так и по занятым донником и овсом на сидерат парам, соответственно $-0,5$; $-0,6$ кг/га и $-2,7$; $-0,7$ кг/га. Баланс фосфора при возделывании озимой пшеницы по занятому фацелией на сидерат пару был бездефицитный, а азота – положительный и равнялся $+2,6$ кг/га. Поэтому при заделке в почву соломы озимой пшеницы необходимо вносить недостающее количество азота в виде аммиачной селитры, а именно от 0,5 до 2,7 кг/га д. в. Недостающее количество фосфора рекомендуется вносить при посеве в рядки последующей культуры после озимой пшеницы в виде суперфосфата нормой от 0,6 до 0,7 кг/га д. в. И только по калию баланс был положительный, составлял $+16,4$ - $21,7$ кг/га, поэтому в солому озимой пшеницы этот элемент питания вносить не нужно. В контроле, где озимая пшеница возделывалась по чистому пару, баланс по калию был отрицательный – 10,4 кг/га.

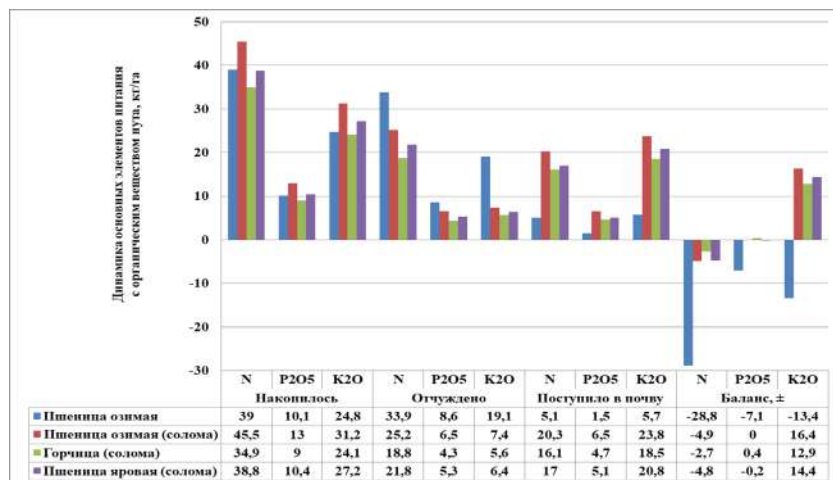


Рис. 5. Динамика основных элементов питания с органическим веществом нута в зависимости от предшественников и способов биологизации, кг/га (среднее за 2018-2020 гг.)

Рисунок 5 показывает, что в пятипольном севообороте по озимой пшенице азота поступало в почву с органическим веществом нута – 20,3 кг/га, что было выше контроля на 15,2 кг/га по этой же культуре. Также в этом варианте в почву поступало фосфора и калия, соответственно 6,5 и 23,8 кг/га, что было выше контроля на 5,0 и 18,1 кг/га. При возделывании нута по яровой пшенице, возвращалось, соответственно азота – 17,0 кг/га, фосфора – 5,1 кг/га и калия – 20,8 кг/га. По предшественнику горчица, поступало азота выше контроля на 11,0 кг/га, фосфора – 3,2 кг/га и калия – 12,8 кг/га.

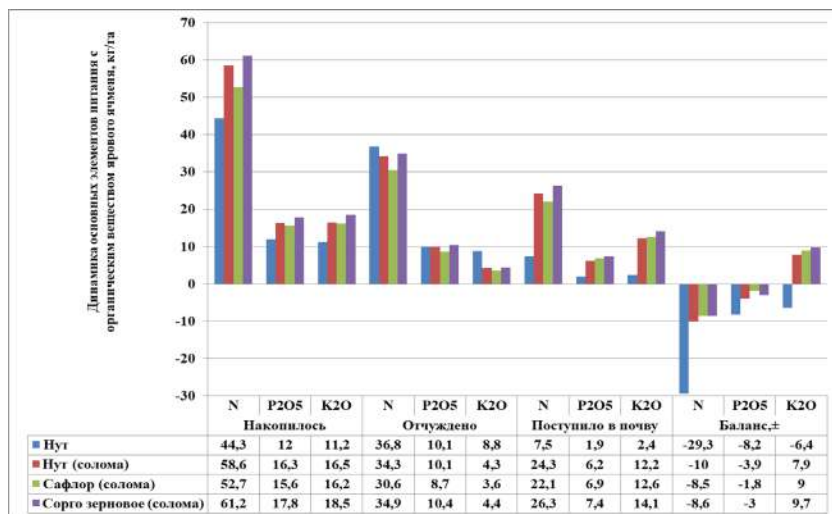


Рис. 6. Динамика основных элементов питания с органическим веществом ярового ячменя в зависимости от предшественников и способов биологизации, кг/га (среднее за 2018-2020 гг.)

Баланс азота во всех вариантах возделывания нута был отрицательный: по озимой и яровой пшенице, горчице, солома которых запахивалась в почву, он, соответственно, составлял – 4,9; – 4,8 и – 2,7 кг/га. В контроле, где нут возделывался по озимой пшенице, баланс азота равнялся – 28,8 кг/га. Баланс фосфора был положительным только при возделывании нута в семипольном севообороте по горчице – +0,4 кг/га. При выращивании нута в пятипольном севообороте по озимой пшенице, баланс этого элемента был бездефицитным. При размещении в семипольном севообороте нута на поле, при обработке которого в почву запахивалась солома, оставшаяся от яровой пшеницы, баланс содержания фосфора был отрицательный и составил

–0,2 кг/га, аналогичная ситуация наблюдалась и в контроле по озимой пшенице (–7,1 кг/га). В других вариантах культивирования нута баланс калия был положительный и, соответственно, равнялся +12,9; +14,4 и +16,4 кг/га.

Как видно из данных, приведенных на рисунке 6, растительная масса ярового ячменя обеспечивала наименьшее поступление в почву элементов минерального питания азота, фосфора и калия, чем с органическим веществом озимой пшеницы. При возделывании ячменя по предшественникам сафлор, нут и сорго, с органическим веществом в почву поступало азота, фосфора и калия, соответственно – 22,1; 24,3 и 26,3 кг/га; 6,9; 6,2 и 7,4 кг/га; 12,6; 12,2 и 14,1 кг/га. В контрольном варианте, где яровой ячмень возделывали по нуту, с органическим веществом этой культуры в почву поступало низкое количество элементов питания: азота – 7,5 кг/га, фосфора – 1,9 кг/га и калия – 2,4 кг/га.

Баланс по азоту и фосфору во всех вариантах опыта был отрицательный, по калию он отрицательный только в контроле, в остальных вариантах положительный. Наименьший отрицательный баланс по азоту обеспечивался при возделывании ярового ячменя в семипольных севооборотах по сафлору и сорго, соответственно –8,5 и –8,6 кг/га, наибольший в контроле, где ячмень выращивался в четырехпольном севообороте по нуту –29,3 кг/га. Самый высокий отрицательный баланс по фосфору обеспечивался также в контроле – –8,2 кг/га, самый низкий в варианте, где эта культура возделывалась по сафлору, –1,8 кг/га. Баланс калия по предшественникам нут, сафлор и сорго, солома которых запахивалась в почву был положительный и, соответственно, составлял +7,9, +9,0 и +9,7 кг/га. При возделывании ярового ячменя в контрольном варианте по нуту, баланс калия был отрицательный и составлял –6,4 кг/га.

Для определения зависимости урожайности сельскохозяйственных культур (озимая пшеница, нут, яровой ячмень) от основных элементов питания (азот, фосфор, калий), поступающих с их органическим веществом, был проведен корреляционный и регрессионный анализы (рис. 7, 8, 9).

Анализ рисунка 7 показал, что урожайность озимой пшеницы в 2018 году находилась в сильной зависимости от азота и калия, поступающего в почву с органическим веществом культуры ($r^2 = 0,79$; 0,95) и средней степени зависимости от фосфора ($r^2 = 0,67$). В 2019 году зависимость урожайности озимой пшеницы от элементов питания, поступающих в почву с органическим веществом культуры, отсутствовала. В 2020 году наблюдалась прямая линейная корреляционная зависимость средней степени по азоту, фосфору и калию, соответственно ($r^2 = 0,43$; 0,46 и 0,38).

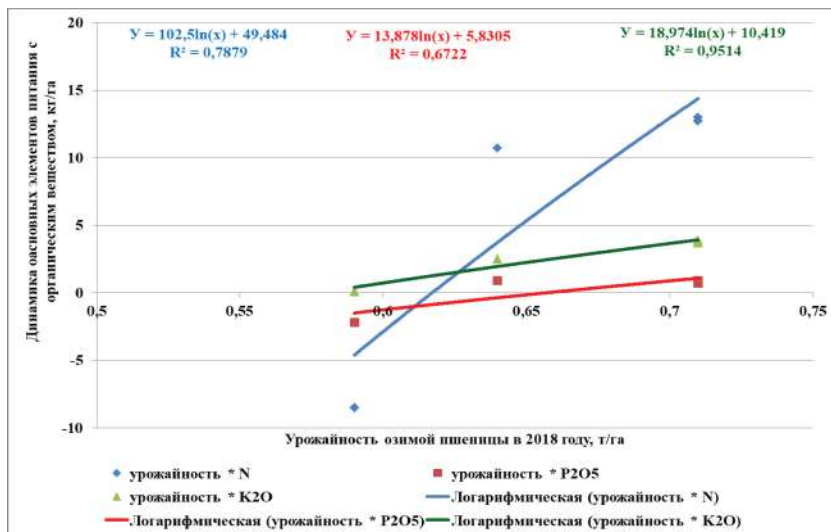


Рис. 7. Зависимость урожайности озимой пшеницы от поступающих в почву с органическим веществом этой культуры основных элементов питания в 2018 году, кг/га

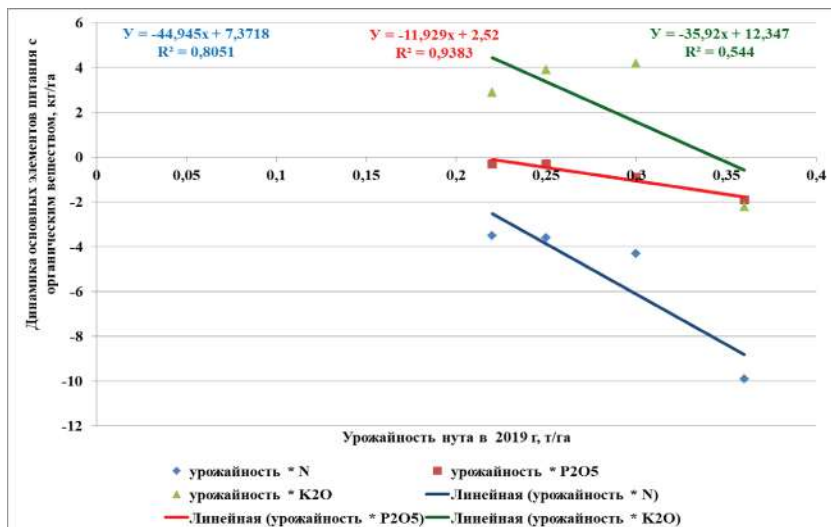


Рис. 8. Зависимость урожайности нута от поступающих в почву с органическим веществом этой культуры основных элементов питания в 2019 году, кг/га

Анализ рисунка 8 показал, что количество поступающих в почву с органическим веществом нута азота, фосфора и калия и урожайность культуры в 2018 году находились в средней степени зависимости ($r^2 = 0,56$; $0,63$; $0,69$) соответственно. В 2019 году между поступлением в почву азота, фосфора и урожайностью нута наблюдалась сильная зависимость ($r^2 = 0,81$; $0,94$) и средняя – между урожайностью и поступлением в почву калия ($r^2 = 0,54$). В 2020 году корреляционная зависимость отсутствовала.

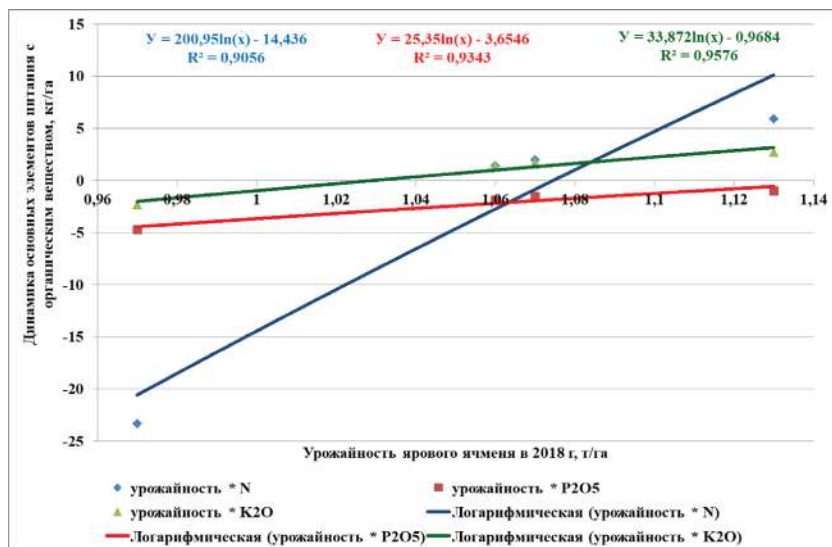


Рис. 9. Зависимость урожайности ярового ячменя от поступающих в почву с органическим веществом этой культуры основных элементов питания в 2018 году, кг/га

Анализ рисунка 9 показал, что между урожайностью ярового ячменя и основными элементами питания (азот, фосфор, калий), поступающими в почву с растительными остатками этой культуры в 2018 и 2019 годах наблюдалась прямая логарифмическая корреляционная зависимость сильной степени по всем элементам питания и колебалась от $r^2 = 0,80$ до $r^2 = 0,96$. В 2020 году наблюдалась сильная степень зависимости между урожайностью ярового ячменя и поступающим с органическим веществом азота и калия ($r^2 = 0,71$ и $0,72$) и средняя степень между урожайностью этой культуры и поступающим в почву с органическим веществом фосфором ($r^2 = 0,46$).

Заключение

В обстоятельствах светло-каштановых почв Нижнего Поволжья возврат в основу нетоварной доли урожая зерновых, а также зернобобовых остатков является способом, что увеличивает урожайность семян в биологизированных севооборотах, содействует повышению резервов результативной влажности в основе, а также, бережливому ее расходованию, значительному поступлению базисного элемента а также компонентов кормления в основу.

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. Воспроизводство плодородия чернозема обыкновенного карбонатного при внесении соломы и гуминовых препаратов / О.И. Наими, О.С. Безуглова, Е.А. Полиенко, О.Ю. Куцерубова // Достижения науки и техники АПК. 2018. № 8. С. 11-16.
2. Дедов А.В., Несмеянова М.А., Хрюкин Н.Н. Приемы биологизации и воспроизводство плодородия черноземов // Земледелие. 2012. № 6. С. 4-7.
3. Дзюин А.Г. Влияние соломы в севообороте на численность микроорганизмов и биологическую активность почвы // Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2018. № 1 (62). С. 58-64.
4. Дзюин А.Г., Дзюин Г.П. Последствие сидератов и соломы в севообороте // Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2015. № 6 (49). С. 38-42.
5. Дудкина Т.А. Биологическая активность почвы и урожайность озимой пшеницы в различных севооборотах // Методы и технологии в селекции растений и растениеводстве. Материалы IX Международной научно-практической конференции. Под общей редакцией И.А. Устюжанина. Киров, 2023. С. 251-254.

6. Жидков В.М., Зеленев А.В. Биологизированные приемы повышения урожайности зерновых культур в Волгоградской области: монография. Волгоград: ФГОУ ВПО Волгоградская ГСХА, 2011. 188 с.
7. Егоров Н.М., Зеленев А.В., Беленков А.И. Эффективность основной обработки почвы и сортов при выращивании озимой пшеницы // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. 2023. №2(220). С. 50-57.
8. Зеленев А.В., Семинченко Е.В. Поступление в почву элементов питания в севооборотах на светло-каштановых почвах Нижнего Поволжья // Вестник Прикаспия. 2019. №1(24). С. 19-24.
9. Зеленев А.В., Семинченко Е.В. Динамика основных элементов питания почвы при посевах зерновых культур Нижнего Поволжья // Эволюция и деградация почвенного покрова. Сборник научных статей по материалам V Международной научной конференции. 2017. С. 100-102.
10. Кутилкин В.Г. Солома и сидераты как удобрение и совершенствование обработки почвы при их использовании в зернопаровых звеньях севооборота лесостепи Заволжья: автореф. дис. ... канд. с.-х. наук: 06.01.01. Кинель, 1996. 21 с.
11. Малахов Н.В. Эффективность разноглубинной заделки пожнивного сидерата и соломы в повышении плодородия почвы и продуктивности севооборота в условиях ЦРНЗ: автореф. дис. ... канд. с.-х. наук: 06.01.01. Москва, 2019. 23 с.
12. Наими О.И. Особенности использования соломы в качестве органического удобрения // Международный журнал гуманитарных и естественных наук. 2019. № 9-1. С. 10-13.
13. Постников П. А., Попова В.В. Продуктивность сельскохозяйственных культур в полевых севооборотах // Аграрный вестник Верхневолжья. 2018. № 2. С. 5–11.
14. Тиранова Л.В. Влияние азотофита и фосфатовита на продуктивность и плодородие дерново-подзолистой почвы в сидеральном севообороте // Плодородие. 2023. №1(130). С. 41-45.
15. Яшин А.Е. Продуктивность озимой пшеницы при применении соломы, сидерата и биологического препарата на черноземе типичном лесостепи Среднего Поволжья: автореф. дис. ... канд. с.-х. наук: 06.01.04. Ульяновск, 2019. 22 с.
16. Ghaffar S.H., Fan M. Structural analysis for lignin characteristics in biomass straw // Biomass and Bioenergy. 2013. Vol. 57. P. 264-279.
17. Long-term Effects of Tillage and Corn Stalk Return on Soil Carbon Dynamics / B.A. Hooker, T.F. Morris, R. Peters, Z.G. Cardon // Soil Science Society of America Journal. 2005. Vol. 69. P. 188-196.

18. Peltre C., Nielsen M., Bruun S. Straw export in continuous winter wheat and the ability of oil radish catch crops and early sowing of wheat to offset soil c and n losses: a simulation study // *Agricultural Systems*. 2016. Vol. 143. P. 195-202.
19. Schimel J.P., Schimel J. Bennett Nitrogen mineralization: Challenges of a changing paradigm // *Ecology*. 2004. Vol. 85. P. 591-602.
20. Seminchenko E. Crop rotations with perennial herbs and bean cultures in the conditions of the lower Volga region // *Research on Crops*. 2021. Vol. 22(4). P. 792-797.

References

1. Reproduction of fertility of ordinary carbonate chernozem under the application of straw and humic preparations / O.I. Naimi, O.S. Bezuglova, E.A. Polienko, O.Y. Kutserubova. *Dostizheniya nauki i tekhniki APK* [Achievements of science and technology of agroindustrial complex], 2018, no. 8, pp. 11-16.
2. Dedov A.V., Nesmeyanova M.A., Khryukin N.N. Biologization techniques and reproduction of fertility of chernozems. *Zemledeliye*, 2012, no. 6, pp. 4-7.
3. Dzyuin A.G. Influence of straw in crop rotation on the number of microorganisms and biological activity of soil. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka*, 2018, no. 1 (62), pp. 58-64.
4. Dzyuin A.G., Dzyuin G.P. After-effects of siderates and straw in crop rotation. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka*, 2015, no. 6 (49), pp. 38-42.
5. Dudkina T.A. Biological activity of soil and yield of winter wheat in different crop rotations. *Methods and technologies in plant breeding and crop production. Materials of the IX International Scientific and Practical Conference*. Ed. I.A. Ustyuzhanin. Kirov, 2023, pp. 251-254.
6. Zhidkov V.M., Zelenev A.V. *Biologized methods of increasing the yield of grain crops in the Volgograd region*. Volgograd: Volgograd State Agricultural Academy, 2011, 188 p.
7. Egorov N.M., Zelenev A.V., Belenkov A.I. Efficiency of basic tillage and varieties in growing winter wheat. *Vestnik Altayskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*, 2023, no. 2(220), pp. 50-57.
8. Zelenev, A.V.; Seminchenko, E.V. Intake of nutrient elements into the soil in crop rotations on light-chestnut soils of the Lower Volga region. *Vestnik Prikspiya*, 2019, no. 1(24), pp. 19-24.
9. Zelenev A.V., Seminchenko E.V. Dynamics of the main elements of soil nutrition in crops of grain crops of the Lower Volga region. Evolution and degradation of soil cover. *Collection of scientific articles on the materials of the V International Scientific Conference*. 2017, pp. 100-102.

10. Kutilkin V.G. *Straw and siderates as a fertilizer and improvement of soil treatment at their use in grain-stem crop rotation links of the forest-steppe of the Volga region*. Kinel, 1996, 21 p.
11. Malakhov N.V. *Effectiveness of different-depth incorporation of stubble siderate and straw in increasing soil fertility and crop rotation productivity in the conditions of the Central Regions of the Volga Region*. Moscow, 2019, 23 p.
12. Naimi O.I. Features of the use of straw as an organic fertilizer. *Mezhdunarodnyy zhurnal gumanitarnykh i estestvennykh nauk* [International Journal of Humanities and Natural Sciences], 2019, no. 9-1, pp. 10-13.
13. Postnikov P.A., Popova V.V. Productivity of agricultural crops in field crop rotations. *Agrarny vestnik Verkhnevolzh'ye*, 2018, no. 2, pp. 5-11.
14. Tiranova L.V. Influence of azotophyte and phosphatovit on productivity and fertility of sod-podzolic soil in sidual crop rotation. *Plodorodie* [Fertility], 2023, no. 1(130), pp. 41-45.
15. Yashin A.E. *Productivity of winter wheat when using straw, green manure and biological preparation on typical chernozem of the forest-steppe of the Middle Volga region*. Ulyanovsk, 2019, 22 p.
16. Ghaffar S.H., Fan M. Structural analysis for lignin characteristics in biomass straw. *Biomass and Bioenergy*, 2013, vol. 57, pp. 264-279.
17. Long-term Effects of Tillage and Corn Stalk Return on Soil Carbon Dynamics / B.A. Hooker, T.F. Morris, R. Peters, Z.G. Cardon. *Soil Science Society of America Journal*, 2005, vol. 69, pp. 188-196.
18. Peltre C., Nielsen M., Bruun S. Straw export in continuous winter wheat and the ability of oil radish catch crops and early sowing of wheat to offset soil c and n losses: a simulation study. *Agricultural Systems*, 2016, vol. 143, pp. 195-202.
19. Schimel J.P., Schimel J. Bennett Nitrogen mineralization: Challenges of a changing paradigm. *Ecology*, 2004, vol. 85, pp. 591-602.
20. Semichenko E. Crop rotations with perennial herbs and bean cultures in the conditions of the lower Volga region. *Research on Crops*, 2021, vol. 22(4), pp. 792-797.

ДАННЫЕ ОБ АВТОРЕ

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 AUTHOR

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

SPIN-code: 2756-2340

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3155-9563>

Scopus Author ID: 57222146275

Поступила 30.10.2023

После рецензирования 21.11.2023

Принята 29.11.2023

Received 30.10.2023

Revised 21.11.2023

Accepted 29.11.2023

АГРОХИМИЯ И АГРОПОЧВОВЕДЕНИЕ

AGROCHEMISTRY
AND AGRICULTURAL SOIL SCIENCE

DOI: 10.12731/2658-6649-2024-16-2-809

УДК 633.16:579.64



Научная статья

ПРАКТИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ
ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО
БИОПРЕПАРАТА ПРИ ВЫРАЩИВАНИИ ЯЧМЕНЯ

*А.В. Платонов, И.И. Рассохина, Л.А. Ильина,
Е.А. Ёылдырым, Г.Ю. Лаптев*

Цель работы – изучение действия экспериментального микробиологического препарата «Натурост», созданного на основе штамма *Bacillus subtilis* №111, на рост и продуктивность ячменя в условиях Вологодской области.

Материалы и методы. Исследования проводились в течение вегетационных периодов 2019, 2020 и 2022 гг. на опытном поле ФГБУН «ВолНЦ РАН», а также в производственных условиях на полях СПК (Колхоз) «Племзавод Пригородный» (Вологодская область). Препарат «Натурост» вносили дважды: замачиванием семян и опрыскиванием филлосферы растений в фазу кущения. Полногеномное секвенирование штамма бактерии *B. subtilis*-111 проводили на базе молекулярно-генетической лаборатории компании «Биотроф» на платформе MiSeq (Illumina, Inc.).

Результаты. При проведении полногеномного секвенирования штамма *B. subtilis*-111 установлено, что он имеет гены биосинтеза ауксинов, также в составе генома детектирован спектр различных защитных механизмов, способствующих выживанию штамма в природной среде. Кроме того, геном штамма содержит массив групп генов, которые отвечают за производство бактериоцинов с выраженной антимикробной активностью. Обработка растений ячменя экспериментальным препаратом «Натурост», способствовала увеличению ростовых параметров культуры: сухая масса возрастала до 33%,

среднесуточные приросты – до 48%, что происходило на фоне увеличения содержания фотосинтетических пигментов. Зерновая продуктивность в условиях мелкоделяночных опытов в вариантах с препаратом возросла на 7-19%, а в условиях реального хозяйствования – на 14% относительно контроля.

Заключение. Экспериментальный препарат, созданный на основе *B. subtilis*-111, оказал стимулирующее влияние на рост и продуктивность ячменя обыкновенного сорта Сонет в условиях Вологодской области.

Ключевые слова: *Bacillus subtilis*; полногеномное секвенирование; рост; зерновая продуктивность; фотосинтетические пигменты

Для цитирования. Платонов А.В., Рассохина И.И., Ильина Л.А., Йылдырым Е.А., Лаптев Г.Ю. Практическое обоснование возможности использования экспериментального биопрепарата при выращивании ячменя // *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*. 2024. Т. 16, №2. С. 271-291. DOI: 10.12731/2658-6649-2024-16-2-809

Original article

SUBSTANTIATION OF THE POSSIBILITY OF USING AN EXPERIMENTAL BIOLOGICAL PREPARATION IN BARLEY CULTIVATION

*A.V. Platonov, I.I. Rassokhina, L.A. Ilina,
E.A. Yildirim, G.Yu. Laptev*

Purpose. To study the effect of the experimental microbiological preparation “Naturost”, created on the basis of *Bacillus subtilis* No. 111, on the growth and productivity of barley in the Vologda region.

Materials and methods. The research was carried out during the growing seasons of 2019, 2020 and 2022 at the experimental field of RAS Vologda Research Center and under production conditions in the fields of the agricultural production cooperative (collective farm) “Plemzavod Prigorodnyi” (Vologda region). The preparation “Naturost” was introduced twice: while soaking the seeds and spraying the phyllosphere of the plants in the tillering phase. Whole-genome sequencing of the strain of the bacterium *B. subtilis*-111 was carried out at the molecular genetic laboratory of “Biotrof” company with the use of MiSeq platform (Illumina, Inc.)

Results. During the whole-genome sequencing of *B. subtilis*-111 strains, it was found that it has auxin biosynthesis genes; a range of various protective mechanisms contributing to the survival of the strain in the natural environment was also detected

in the genome. In addition, the genome of the strain contains an array of groups of genes that are responsible for the production of bacteriocins with pronounced antimicrobial activity. The treatment of barley plants with the experimental preparation "Natuorst" contributed to an increase in the growth parameters of the crop: dry mass increased to 33%, average daily increments – up to 48%, which occurred against the background of an increase in the content of photosynthetic pigments. Grain productivity in the conditions of small-scale experiments with the use of the preparation increased by 7–19%, and in the actual field conditions – by 14% relative to the control.

Conclusion. The experimental preparation based on *B. subtilis*-111 had a stimulating effect on the growth and productivity of barley of the breed Sonet in the Vologda region.

Keywords: *Bacillus subtilis*; whole-genome sequencing; growth; grain productivity; photosynthetic pigments

For citation. Platonov A.V., Rassokhina I.I., Ilina L.A., Yildirim E.A., Laptev G.Yu. Substantiation of the Possibility of using an Experimental Biological Preparation in Barley Cultivation. *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*, 2024, vol. 16, no. 2, pp. 271–291. DOI: 10.12731/2658-6649-2024-16-2-809

Введение

Ячмень обыкновенный (*Hordeum vulgare* L.) является одной из важных зерновых культур, возделываемых на территории Вологодской области, доля его посевов среди остальных зерновых растений доходит до 80 % [6]. Ячмень, заготавливаемый в области, прежде всего используется для кормления крупного рогатого скота. Зерно ячменя – отличный концентрированный корм (в одном килограмме зерна содержится 1,2 кормовых единиц). Также кормовые достоинства зерна ячменя связаны с довольно высоким содержанием белка (12–15%, в т.ч. содержание переваримого протеина до 8,6%), сахаров (до 40%) и жира (до 4%) [7]. Кроме того, ячмень является относительно неприхотливой культурой, что позволяет его успешно возделывать в Нечерноземной зоне России с ее изменчивыми погодными условиями.

Однако, продуктивность зерновых культур в Вологодской области не достигает своих генетически запрограммированных максимумов [5]. Одним из перспективных и безопасных путей повышения продуктивности зерновых культур является внесение полезных микроорганизмов. При этом широко используемым на мировом рынке биопестицидов является род *Bacillus*, представители которого часто рассматриваются как микробные фабрики, производящие биологически активные молекулы с широким спектром применения [19]. На данный момент вид *Bacillus subtilis* считается одним из самых изученных и безопасных представителей рода

бацилл. Это подтверждается Управлением по контролю качества продовольственных и лекарственных средств США (FDA), присвоившего виду статус GRAS (generally regarded as safe – «общепризнанно как безопасное»). Так, например, штаммы этого вида широко используется в качестве пробиотиков в России, странах Европы и США.

B. subtilis способен стимулировать рост растений, а также контролировать патогены растений с помощью различных механизмов, включая улучшение доступности питательных веществ и изменение содержания фитогормонов, а также выработку противомикробных препаратов и запуск индуцированной системной резистентности, соответственно [11]. *B. subtilis* также может растворять фосфор в почве, усиливать фиксацию азота и продуцировать сидерофоры, которые способствуют его росту и подавляют рост патогенов. *B. subtilis* повышает стрессоустойчивость растений-хозяев, индуцируя экспрессию генов реакции на стресс, фитогормонов и связанных со стрессом метаболитов [12].

В работах отечественных авторов неоднократно показано, что препараты, созданные на основе бактерий рода *Bacillus*, повышают устойчивость и продуктивность различных сельскохозяйственных культур [2, 8, 17].

Несмотря на то, что положительный эффект действия *B. subtilis* на рост и устойчивость сельскохозяйственных растений весьма широко доказан в лабораторных условиях, успех его применения в полевых условиях не однозначен. Показано, что сельскохозяйственное применение *B. subtilis* иногда терпит неудачу, потому что бактерии не всегда сохраняются в ризосфере [11]. В то же время, известно, что спорообразующие бациллы, вида *B. subtilis*, имеют в своем цикле развития покоящиеся структуры (споры), способствующие их длительному выживанию в неблагоприятных условиях. Споры делают клетку абсолютно защищенной от повреждений и позволяют микроорганизмам с успехом переносить высушивание и другие стресс-факторы, которые могут возникать при выращивании растений [12].

Цель работы – изучить действие экспериментального микробиологического препарата «Натурост» на рост и продуктивность ячменя обыкновенного сорта Сонет в условиях Вологодской области.

Материалы и методы

Исследования по изучению действия экспериментального препарата «Натурост», проводились на опытном поле ФГБУН «Вологодский научный центр Российской академии наук», а также в производственных условиях на полях СПК (Колхоз) «Племзавод Пригородный» (Вологодская

область). Биопрепарат «Натурост», в основе которого лежат живые бактерии *Bacillus subtilis* штамм №111, создан компанией ООО «Биотроф» (г. Санкт-Петербург). Бактерии культивировали на питательной среде, которая включала в себя свекловичную мелассу (2%) и минеральные соли, источником азота служил нитрат натрия. В 1 мл препарата содержание живых бактерий исходного штамма составляло не менее 1×10^8 КОЕ. В качестве культуры использовали яровой ячмень (*Hordeum vulgare* L.) сорта Сонет, который является одной из основных зерновых культур региона.

Полногеномное секвенирование штамма бактерии *B. subtilis*-111 препарата «Натурост» проводили на базе молекулярно-генетической лаборатории компании «Биотроф». ДНК выделяли по стандартным методикам с использованием набора Genomic DNA Purification Kit («Thermo Fisher Scientific, Inc.», США). Библиотеку ДНК для полногеномного секвенирования готовили с помощью набора Nextera XT («Illumina, Inc.», США). Нуклеотидные последовательности определяли с использованием прибора MiSeq («Illumina, Inc.», США). Кроме того, методом газожидкостной хромато-масс-спектрометрии (GCMS-QP2010 Plus, Япония) с использованием капиллярной колонкой Ultra-2 (25 м × 0,25 мм) проводили оценку содержания различных биологически активных веществ, обладающих антимикробными свойствами в культуральной жидкости штамма бактерии *B. subtilis*-111.

Продолжительность мелкоделяночных полевых опытов составила три вегетационных периода: 2019, 2020 и 2022 гг. Производственный эксперимент был поставлен в 2022 году. Погодные условия вегетационных периодов 2019, 2020 и 2022 гг. отличались по температурному режиму и по количеству осадков (таблица 1).

Таблица 1.

Погодные условия вегетационного периода в окрестностях г. Вологды (по данным портала «Погода и климат», <http://www.pogodaiklimat.ru>)

Показатель	Норма*	2019	2020	2022
Среднемесячная температура мая, °C	11,0	12,0	9,0	8,0
Количество осадков в мае, мм	41,4	32,0	137,0	65,0
Среднемесячная температура июня, °C	14,5	16,1	16,0	16,0
Количество осадков в июне, мм	59,6	51,0	61,0	61,0
Среднемесячная температура июля, °C	17,9	14,1	17,0	19,2
Количество осадков в июле, мм	66,3	159,0	142,0	81,0
Среднемесячная температура августа, °C	15,2	12,1	14,1	19,3
Количество осадков в августе, мм	70,5	92,0	71,0	27,0

* Норма рассчитывалась как среднее значение за 2000-2018 гг.

** Отношение количества осадков к среднемесячной температуре

Начало вегетационного периода 2019 года можно охарактеризовать как сухое теплое, середину – умеренно влажная теплая, конец – прохладный и сырой. В 2020 году вегетационный период, в целом, выдался сырым и умеренно теплым, а в 2022 году – умеренно влажный и жаркий с довольно холодным маем.

В мелкоделяночных полевых опытах учетная площадь опыта составила 2 м², повторность – 6-ти кратная. Посев ячменя происходил в соответствии с принятыми нормами высева – 5 млн. всхожих семян на гектар. Перед посевом семена опытной группы замачивали в рабочий раствор экспериментального препарата «Натурост» (1 мл препарата на 1 литр воды), семена контрольной группы – в воде. В фазу кущения, после снятия первых промеров, проводили опрыскивание филлосферы растений рабочим раствором. Уход за культурами происходил в соответствии с общепринятыми агротехническими приемами, минеральные удобрения и гербициды не вносились. В течении вегетации, в фазах кущения и трубкования, проводили учет сырой и сухой массы опытных и контрольных растений, количество побегов и листьев. В фазах кущения, трубкования и колошения спектрофотометрическим методом оценивали содержание фотосинтетических пигментов, которые извлекали с помощью 85%-ого ацетона. В фазу восковой спелости отбирался сноповый материал для оценки структуры урожая ячменя: при этом подсчитывали продуктивную кустистость, количество зерновок в колосе, массу 1000 зерновок, а также оценивали зерновую урожайность культуры на каждой делянке.

В производственном опыте на поле СПК (Колхоз) «Племзавод Пригородный» общая площадь посевов составила около 40 га, внесение бактерий осуществлялось путем инокуляции семян перед посевом в рабочем растворе препарата (1 мл препарата на 1 литр воды), повторная обработка биопрепаратом осуществлялась в фазу кущения, путем опрыскивания вегетирующих растений с нормой расхода рабочего раствора 200 л/га, рабочий раствор готовился из расчета 1 л препарата на 1 гектар. В течение эксперимента, в фазах кущения, выхода в трубку и колошения проводили учет высоты опытных и контрольных растений, их сырой и сухой биомассы. По окончании вегетации оценивали зерновую продуктивность.

Статистическую обработку данных осуществляли по стандартным методикам с использованием пакета анализа данных программы MS Excel'2010. В таблицах представлены арифметические значения показателей и величины их стандартных ошибок. Оценку достоверности различия выборочных средних проводили при значении доверительной вероятности 0,95.

Результаты и обсуждение

Экспериментальный препарат «Натурост» создан на основе *B. subtilis*-111. Производителем отмечено, что он обладает антифунгицидным и антибактериальным эффектом, а также способствует ускорению развития вегетативных частей растений и повышает устойчивость зерновых культур к полеганию.

Морфологические показатели растений обусловлены скоростью протекания их физиологических процессов. Многие исследователи в своих работах показывают различные механизмы действия микробиологических препаратов на рост и развитие растений, к которым относятся синтез и сложное взаимодействие фитогормонов [1, 13, 15], мобилизация веществ [10], угнетение патогенов за счет синтеза антибиотиков, токсинов и поверхностно-активных веществ, а также формирование конкуренции за питательные вещества и места колонизации патогенных бактерий [2, 3, 18].

С применением метода полногеномного секвенирования штамма бактерии *B. subtilis*-111 препарата «Натурост» были подробно описаны свойства данного штамма, обеспечивающие его положительное воздействие на рост, развитие растений и их защиту от патогенов (рис. 1).

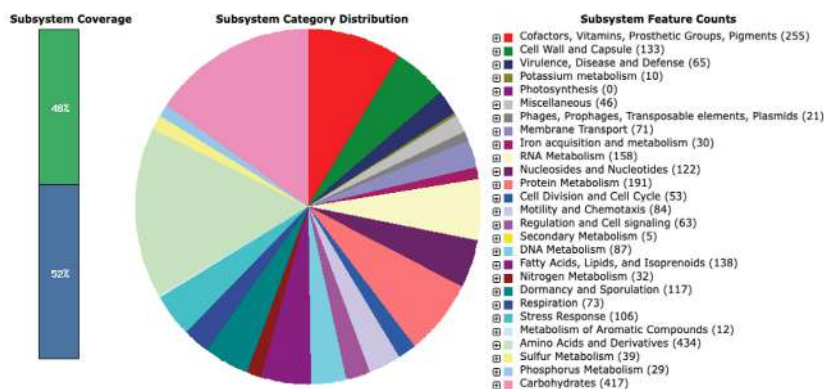


Рис. 1. Результаты полногеномного секвенирования штамма бактерии *B. subtilis*-111 препарата «Натурост» на платформе MiSeq (Illumina, Inc.)

Прежде всего установлено, что штамм бактерии *B. subtilis*-111, входящий в препарат «Натурост» имеет в геноме (в категории Secondary Metabolism, подкатегории Auxin biosynthesis) гены биосинтеза ауксинов – гормонов роста растений (фитогормонов), в т.ч. важнейшего предшественника ауксинов – триптофана.

Известно, что биосинтез ауксинов бактериями является одним из наиболее важных механизмов стимуляции роста и развития растений [21]. Индолил-3-уксусная кислота (ИУК), является наиболее распространенным ауксином, предшественником образования которой является триптофан, выявленный в метаболических путях штамма препарата «Натурост». Ранее было показано, что к бактериям PGPB (Plant Growth-Promoting Bacteria), стимулирующим рост растений, помимо *Bacillus subtilis*, относят также такие виды, как *Azotobacter chroococcum*, *Pseudomonas fluorescens*, родов *Serratia* и пр. [14, 16].

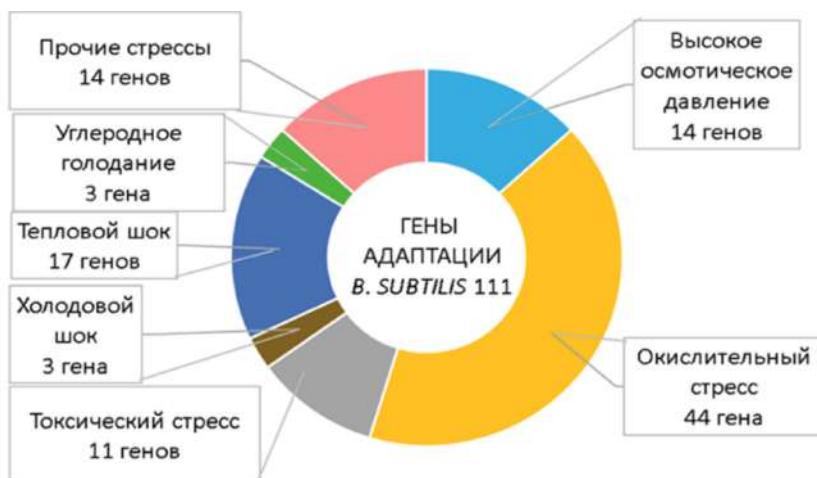


Рис. 2. Гены адаптации к стрессам у *B. subtilis*-111

Помимо этого, в составе генома при проведении полногеномного секвенирования штамма *B. subtilis*-111 препарата «Натурост» был детектирован спектр различных защитных механизмов, способствующих выживанию в природной среде, в т.ч. ризосфере растений. Показано, что значительная часть генома приходится на долю генов, связанных с повышенной устойчивостью к неблагоприятным факторам внешней среды. Расшифровка генома с использованием базы данных RAST продемонстрировала присутствие в геноме штамма 106 генов (рис. 2), отвечающих за адаптацию к неблагоприятным внешним воздействиям, включающим повышенный окислительный и токсический стресс, тепловой и холодовой шок, осмотическое давление, снижение питательных веществ. Очевидно, что в наличие указанных метаболических путей у исследуемого штамма

приводит не только к высокой его сохранности и выживаемости, но и к активности в ризосфере растений.

При проведении полногеномного секвенирования оказалось, что геном штамма *B. subtilis*-111 также содержит массив групп генов, которые отвечают за производство бактериоцинов с выраженной антимикробной активностью. Широкий спектр антибактериального действия (в отношении бактериоидов, клостридий, энтеробактерий, фузобактерий) объясняется синтезом бактериоцинов диффицидина, бициллина, макролактина, бацилизина, бациллибактина. Активность штамма в отношении плесневых грибов – продуцентов микотоксинов – обусловлена, главным образом, синтезом вещества фенгицина. Известно, что развитие аэробных микроорганизмов, прежде всего дрожжей и плесневых токсинопродуцирующих грибов, снижает продуктивность и питательные свойства растений [20]. Интересно, что полученные результаты были подтверждены методом газожидкостной хромато-масс-спектрометрии (ГЖХ-МС). Было подтверждено, что экстракт культуральной жидкости штамма бактерии *B. subtilis*-111 содержит 62 различных биологически активных вещества, обладающих антимикробными свойствами. Таким образом штамм бактерии *B. subtilis*-111 обладает определенным биотехнологическим потенциалом для использования в практике растениеводства и дальнейшие исследования его действия на ростовые и продуктивные качества культур целесообразны.

На основании полученных трёхлетних результатов исследования, можно отметить, что обработка растений ячменя сорта Сонет экспериментальным препаратом «Натурост», в целом, способствовала увеличению ростовых параметров культуры (таблица 2). Например, в 2019 и 2022 гг. наблюдалось ощутимое превосходство относительно контроля в фазу кущения сырой и сухой массы на 26-37% и 29-30%, в фазу трубкования – на 55-68% и 30-33% соответственно. В 2020 году масса опытных растений в фазу кущения существенно не отличалась от контроля, а в фазу трубкования превосходила контроль на 7%. Вероятно, чрезмерно сырые условия мая, когда проводились посевные работы, негативно сказались на жизнедеятельности бактерий.

Основной функцией хлорофилла является его участие в фотохимическом синтезе органического вещества, в ряде работ имеются данные что продуктивность фотосинтеза коррелирует с содержанием и соотношением фотосинтетических пигментов [9]. В нашем случае содержание фотосинтетических пигментов в листьях ячменя в ходе онтогенеза закономерно увеличивалось (таблица 3). При этом использование экспериментального препарата привело к большим значениям содержания пигментов.

Таблица 2.

Морфометрические параметры *H. vulgare* L.

Показатель	2019		2020		2022	
	Контроль	Натурост	Контроль	Натурост	Контроль	Натурост
<i>фаза кущения</i>						
Количество листьев, шт.	5,1±0,1	6,5±0,2*	5,6±0,2	5,2±0,2	7,4±0,2	6,4±0,3
Масса сырая одного растения, г	0,81±0,04	1,11±0,08*	0,52±0,03	0,52±0,06	0,91±0,08	1,15±0,12
Масса сухая одного растения, г	0,178±0,012	0,230±0,014*	0,113±0,006	0,117±0,007	0,200±0,020	0,260±0,013
<i>фаза трубкования</i>						
Кустистость, шт.	4,0±0,4	5,8±0,5	1,5±0,2	1,8±0,4	1,5±0,5	1,5±0,5
Количество листьев, шт.	12,1±1,1	19,2±1,2*	8,0±0,5	8,7±1,3	7,7±0,1	8,1±0,1
Масса сырая одного растения, г	3,56±0,23	5,51±0,30*	3,70±0,22	3,95±0,19	2,54±0,10	3,37±0,20
Масса сухая одного растения, г	0,964±0,045	1,669±0,072*	0,825±0,046	0,883±0,046	0,634±0,038	0,906±0,083

Примечание: * – разница по сравнению с контролем статистически достоверна при $P < 0,05$.

Так в 2019 году в фазе кущения концентрация хлорофилла *a* в листьях опытных растений выше по сравнению с контролем на 5%, хлорофилла *b* – на 16%, суммы хлорофиллов (*a+b*) – на 10%, каротиноидов – на 9%. В фазу трубкования в листьях растений опытных вариантов содержание хлорофиллов по-прежнему больше контроля (на 6-9%), а содержание каротиноидов на уровне контроля. В фазу колошения содержание фотосинтетических пигментов опытных растений превосходило контроль на 3-13%.

Подтверждением ростостимулирующего действия *B. subtilis*-111 является и наблюдаемое увеличение среднесуточных приростов (таблица 4). Например, между фазами третьего листа и кущения в опыте 2022 сырая масса опытных растений увеличивалась интенсивнее контроля на 15%, сухая – на 22%. За период между фазами кущения и трубкования прирост по сырой и сухой массе опытных вариантов относительно контроля был ощутимее, разница составила 43-48%.

Таблица 3.

Содержание фотосинтетических пигментов в листьях *H. vulgare* L.

Показатель	Фаза развития растения	Контроль	Натурост
Хлорофилл <i>a</i> , мг/г сыр. массы	фаза кущения	0,613±0,027	0,641±0,037
Хлорофилл <i>b</i> , мг/г сыр. массы		0,193±0,011	0,224±0,012*
Сумма хлорофиллов <i>a</i> и <i>b</i> , мг/г сух. массы		0,805±0,045	0,885±0,072
Каротиноиды, мг/г сыр. массы		0,367±0,037	0,381±0,038
Хлорофилл <i>a</i> , мг/г сыр. массы	фаза трубкования	0,750±0,025	0,819±0,007*
Хлорофилл <i>b</i> , мг/г сыр. массы		0,284±0,066	0,297±0,008
Сумма хлорофиллов <i>a</i> и <i>b</i> , мг/г сыр. массы		1,056±0,107	1,124±0,014*
Каротиноиды, мг/г сыр. массы		0,562±0,099	0,545±0,028
Хлорофилл <i>a</i> , мг/г сыр. массы	фаза колошения	1,204±0,037	1,360±0,047*
Хлорофилл <i>b</i> , мг/г сыр. массы		0,410±0,018	0,424±0,021
Сумма хлорофиллов <i>a</i> и <i>b</i> , мг/г сыр. массы		1,622±0,075	1,781±0,068*
Каротиноиды, мг/г сыр. массы		0,766±0,015	0,822±0,024

Примечание: * – разница по сравнению с контролем статистически достоверна при $P < 0,05$.

Таблица 4.

Среднесуточные приросты *H. vulgare* L.

Среднесуточный прирост, мг/сут.	Временной интервал	Контроль	Натурост
Сырой массы	фаза третьего лист – фаза кущения	149,5±16,7	172,2±20,6
Сухой массы		184,5±19,6	224,5±25,8
Сырой массы	фаза кущения – фаза трубкования	120,9±13,0	173,3±28,7*
Сухой массы		154,6±15,6	228,9±36,2*

Примечание: * – разница по сравнению с контролем статистически достоверна при $P < 0,05$.

Любые изменения физиологических процессов растений, в том числе и на ранних этапах онтогенеза (кущение, выход в трубку), сказываются и на зерновой продуктивности [4, 22], что наблюдается и в нашем эксперименте. Исходя из данных таблицы 5, в конце вегетации 2019 года опытные растения относительно контрольных имели больше продуктивных побегов (на 8%), массу отдельной зерновки (на 5%), что в конечном счете привело к увеличению зерновой урожайности на 13%. В 2020 год при действии экс-

периментального препарата «Натурост» также наблюдалось увеличение количества продуктивных побегов (на 10%), и некоторое увеличение массы зерновки, в итоге зерновая урожайность превосходила контроль на 7%. В 2022 году различия по зерновой урожайности опытных и контрольных растений были максимальными, и достигли 19%, при этом зерновая продуктивность растений увеличивалась как за счет некоторого возрастания продуктивной кустистости, так и массы зерновки (на 11%).

Таблица 5.

Хозяйственная продуктивность *H. vulgare* L.

Показатель	2019		2020		2022	
	Контроль	Натурост	Контроль	Натурост	Контроль	Натурост
Продуктивная кустистость, шт.	3,9±0,2	4,2±0,1	1,1±0,1	1,2±0,1	1,1±0,1	1,2±0,1
Количество зерновок в колосе, шт.	14,0±0,3	14,3±0,3	17,5±3,2	17,7±2,7	15,5±1,5	17,5±1,3
Масса 1000 зерновок, г	40,7±0,84	42,6±0,90	51,4±1,28	52,8±0,14	44,2±1,30	49,2±1,28*
Масса зерна с м ² , г	278,1±14,0	315,2±18,3*	209,0±6,0	224,0±7,1*	180,0±5,8	213,0±4,4*

Примечание: * – разница по сравнению с контролем статистически достоверна при $P < 0,05$.

Учитывая ощутимое стабильное ростстимулирующее действия экспериментального препарата «Натурост» на ячмень сорта Сонет в условиях мелкоделяночных полевых опытов, в 2022 году был поставлен производственный эксперимент (таблица 6).

Независимо от фазы развития ячменя наблюдалось увеличение высоты опытных растений относительно контроля на 14-26%. Данный показатель может косвенно указывать на большую потенциальную ассимиляционную поверхность и, тем самым, на энергообеспеченность опытных растений. Что подтверждают и результаты по накоплению вещества: в фазу кущения сырая и сухая масса в вариантах с внесением препарата «Натурост» возрастала на 35-46%, в фазу трубкования – на 14-16%, в фазу колошения – на 35-40%.

В производственном опыте зерновая продуктивность ячменя сорта Сонет при внесении биопрепарата «Натурост» возросла на 14% (рис. 3). Зерновая продуктивность увеличивалась как за счет некоторого возрастания продуктивной кустистости, так и массы зерновки (на 8%), при этом озерненность колоса в контроле и опыте оставалась на одном уровне.

Таблица 6.

Результаты оценки ростовых параметров *H. vulgare* L. в производственном опыте на полях СПК (Колхоз) «Племзавод Пригородный» в 2022 году

Вариант	Кустистость, шт.	Высота, см	Сырая масса 1 растения, г	Сухая масса 1 растения, г
<i>фаза кущения</i>				
Контроль	2,1±0,1	22,6±2,7	2,50±0,33	0,41±0,05
Натурост	2,3±0,1	28,5±3,0*	3,64±0,48*	0,56±0,07
% относительно контроля	110	126	146	135
HCP ₀₅		4,26	0,831	0,113
<i>фаза трубкования</i>				
Контроль	2,8±0,2	45,5±2,6	5,62±0,49	1,29±0,12
Натурост	3,0±0,2	53,8±3,0*	6,47±0,51	1,50±0,16
% относительно контроля	107	118	115	116
HCP ₀₅		5,62	1,623	0,434
<i>фаза колошения</i>				
Контроль	2,1±0,1**	58,2±,3	5,77 ± 0,47	1,68 ± 0,15
Натурост	2,2±0,1**	66,4±3,5*	8,06±0,49*	2,27±0,17*
% относительно контроля	105	114	140	135
HCP ₀₅		6,17	1,082	0,493

Примечание: * – Разница с контролем статистически достоверна при $P < 0,5$;
** – продуктивная кустистость.

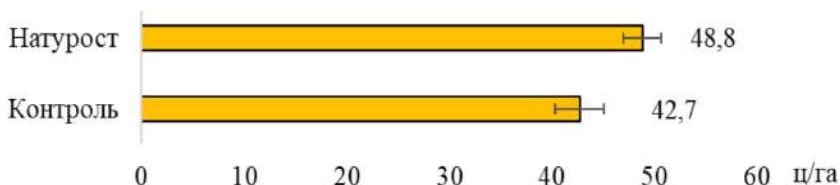


Рис. 3. Результаты зерновой продуктивности ячменя в производственном опыте на полях СПК (Колхоз) «Племзавод Пригородный» в 2022 году

При анализе зерновой продуктивности обращает на себя внимание факт, что в условиях сельскохозяйственного предприятия она существенно выше, чем в условиях мелкоделяночного эксперимента. Это можно объяснить тем, что при выращивании ячменя в СПК (Колхоз) «Племзавод Пригородный» соблюдалась интенсивная технология возделывания, включающая в себя использование минеральных удобрений, фунгицидов и гербицидов.

Заключение

Экспериментальный препарат, созданный на основе живых бактерий *B. subtilis* штамма №111, оказал стимулирующее влияние на рост и продуктив-

ность ячменя обыкновенного сорта Сонет в условиях Вологодской области. За три года исследований в условиях мелкоделяночного эксперимента зерновая продуктивность культуры, при использовании биопрепарата возрастала на 7-19%, а в условиях производственного эксперимента продуктивность ячменя в опытном варианте оказалась выше на 14%. Возрастание зерновой продуктивности растений происходило за счет увеличения массы зерновки и некоторого увеличения продуктивной кустистости растений.

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

Список литературы

1. Васильева Е.Н., Ахтемова Г.А., Жуков В.А. Тихонович И.А. Эндوفитные микроорганизмы в фундаментальных исследованиях и сельском хозяйстве // Экологическая генетика. 2019. № 1 (17). С. 19-32. <https://doi.org/10.17816/ecogen17119-32>
2. Веселова С.В., Бурханова Г.Ф., Румянцев С.Д., Благова Д.К., Максимов И.В. Бактерии рода *Bacillus* в регуляции устойчивости пшеницы к обыкновенной злаковой тле *Schizaphis graminum* Rond. // Прикладная биохимия и микробиология. 2019. № 1 (55). С. 56-63. <https://doi.org/10.1134/S0555109919010185>
3. Максимов И.В., Сингх Б.П., Черепанова Е.В. А., Бурханова Г. Ф., Хайруллин Р. М. Перспективы применения бактерий – продуктов липопептидов для защиты растений (обзор) // Прикладная биохимия и микробиология. 2020. № 56 (1). С. 19-34. <https://doi.org/10.31857/S0555109920010134>
4. Павловская Н.Е., Тимаков А.Г., Яковлева И.В., Мамеев В.В. Изучение эффективности применения биопрепаратов на фотосинтетическую деятельность и урожай ячменя // Вестник ИРГСХА. 2019. № 90. С. 44-50.
5. Рассохина И.И., Платонов А.В. Проблема повышения продуктивности зерновых культур Вологодской области // Молодые ученые - экономике региона: Материалы XX международной научно-практической конференции, Вологда, 25-27 ноября 2020 года. 2021. С. 337-341.
6. Сельское хозяйство, охота и лесное хозяйство / Территориальный орган Федеральной службы статистики Российской Федерации [Электронный ресурс]. 1999-2023. Режим доступа: <https://35.rosstat.gov.ru/sel'skoe%20hozyajstvo> (дата обращения: 01.07.2023).
7. Сумина А.В., Полонский В.И., Количенко А.А. Кормовая ценность зерна ячменя, выращенного в условиях юга Сибири // Вестник Хакасского государственного университета им. Н.Ф. Катанова. 2020. № 3 (33). С. 36-39.

8. Чеботарь В.К., Заплаткин А.Н., Щербаков А.В., Мальфанова Н.В., Старцева А.А., Костин Я. В. Микробные препараты на основе эндофитных и ризобактерий для повышения продуктивности овощных культур и ярового ячменя (*Hordeum vulgare* L.) и эффективности использования минеральных удобрений // Сельскохозяйственная биология. 2016. № 51 (3). С. 335-342. <https://doi.org/10.15389/agrobiology.2016.3.335rus>
9. Шимко В.Е., Кульминская И.В., Калитухо Л.Н., Гордей И.А. Сравнительный анализ показателей фотосинтеза и продуктивности у гибридов F2 озимой ржи // Физиология растений. 2009. № 56 (1). С. 139-146.
10. Шулико Н.Н., Хамова О.Ф., Воронкова Н.А., Тукмачева Е.В., Дороненко В.Д. Влияние комплексного применения удобрений и биопрепаратов на эффективное плодородие чернозема выщелоченного и продуктивность ячменя // Агрохимия. 2019. № 2. С. 13-20. <https://doi.org/10.1134/S0002188119020133>
11. Blake C., Christensen M.N., Kovács Á.T. Molecular aspects of plant growth promotion and protection by *Bacillus subtilis* // Molecular Plant-Microbe Interactions, 2021, vol. 34, № 1, pp. 15-25. <https://doi.org/10.1094/MPMI-08-20-0225-CR>
12. Hashem A., Tabassum B., Abd-Allah E.F. *Bacillus subtilis*: A plant-growth promoting rhizobacterium that also impacts biotic stress // Saudi Journal of Biological Sciences, 2019, vol. 26, № 6, pp. 1291-1297. <https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2019.05.004>
13. Höflich G., Wiehe W., Kühn G. Plant growth stimulation by inoculation with symbiotic and associative rhizosphere microorganisms // Experientia, 1994, vol. 50, № 10, pp. 897–905. <https://doi.org/10.1007/BF01923476>
14. Majeed A., Muhammad Z., Ahmad H. Plant growth promoting bacteria: Role in soil improvement, abiotic and biotic stress management of crops // Plant cell reports, 2018, vol. 37, № 12, pp. 1599-1609. <https://doi.org/10.1007/s00299-018-2341-2>
15. Moya P., Barrera V., Cipollone J., Bedoya C., Kohan L., Toledo A., Sisterina M. New isolates of *Trichoderma* spp. as biocontrol and plant growth-promoting agents in the pathosystem *Pyrenophora teres*-barley in Argentina // Biological Control., 2020, № 141, pp. 104–152. <https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2019.104152>
16. Naz I., Bano A., Ul-Hassan T. Isolation of phytohormones producing plant growth promoting rhizobacteria from weeds growing in Khewra salt range, Pakistan and their implication in providing salt tolerance to *Glycine max* L. // African Journal of Biotechnology, 2009, vol. 8, № 21, pp. 5762-5768. <https://doi.org/10.5897/AJB09.1176>

17. Platonov A.V., Rassokhina I.I., Laptev G.Y., Bolshakov V.N. Preparations use based on bacteria of the genus *Bacillus* to increase the yield of oats (*Avena sativa* L.) // AGRIVITA: Journal of Agricultural Science, 2023, vol. 45, № 1, pp. 48-56. <http://doi.org/10.17503/agrivita.v45i1.3757>
18. Sabaté D.C., Petroselli G., Erra-Balsells R., Audisio M.C., Pérez Brandan C. Beneficial effect of *Bacillus* sp. P12 on soil biological activities and pathogen control in common bean // Biological Control., 2020, № 141, pp. 1-8. <https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2019.104131>
19. Sansinenea E. *Bacillus* spp.: As plant growth-promoting bacteria // Secondary Metabolites of Plant Growth Promoting Rhizomicroorganisms, 2019. https://doi.org/10.1007/978-981-13-5862-3_11
20. Sweany R.R., Breunig M., Opoku J., Clay K., Spatafora J.W., Drott M.T., Baldwin T.T., Fountain J.C. Why do plant-pathogenic fungi produce mycotoxins? Potential roles for mycotoxins in the plant ecosystem // Phytopathology, 2022, vol. 112, № 10, pp. 2044-2051. <https://doi.org/10.1094/PHYTO-02-22-0053-SYM>
21. Tewari S., Arora N.K. Role of salicylic acid from *Pseudomonas aeruginosa* PF23^{EPS+} in growth promotion of sunflower in saline soils infested with phytopathogen *Macrophomina phaseolina* // Environmental Sustainability, 2018, № 1, pp. 49-59. <https://doi.org/10.1007/s42398-018-0002-6>
22. Yasir T.A., Wasaya A., Hussain M., Ijaz M., Farooq M., Farooq O., Nawaz A., Hu Y.-G. Evaluation of physiological markers for assessing drought tolerance and yield potential in bread wheat // Physiology and Molecular Biology of Plants, 2019, № 25, pp. 1163-1174. <https://doi.org/10.1007/s12298-019-00694-0>

References

1. Vasil'yeva Ye.N., Akhtemova G.A., Zhukov V.A. Tikhonovich I.A. En-dofitnyye mikroorganizmy v fundamental'nykh issledovaniyakh i sel'skom khozyaystve [Endophytic microorganisms in fundamental research and agriculture]. *Ekologicheskaya genetika*, 2019, no. 1 (17), pp. 19-32. <https://doi.org/10.17816/ecogen17119-32>
2. Veselova S.V., Burkhanova G.F., Rumyantsev S.D., Blagova D.K., Maksimov I.V. Bakterii roda *Bacillus* v regulyatsii ustoychivosti pshenitsy k obyknovennoy zlakovoy tle *Schizaphis graminum* Rond [Bacteria of the genus *Bacillus* in the regulation of wheat resistance to the common cereal aphid *Schizaphis graminum* Rond]. *Prikladnaya biokhimiya i mikrobiologiya*, 2019, no. 1 (55), pp. 56-63. <https://doi.org/10.1134/S0555109919010185>
3. Pavlovskaya N.Ye., Timakov A.G., Yakovleva I.V., Mameyev V.V. Izucheniye effektivnosti primeneniya biopreparatov na fotosinteticheskuyu deyatel'nost'

- i urozhay yachmenya [The study of the effectiveness of the use of biological products for photosynthetic activity and barley yield]. *Vestnik IRGSKHA*, 2019, no. 90, pp. 44-50.
4. Maksimov I.V., Singkh B.P., Cherepanova Ye.V.A., Burkhanova G. F., Khayrul-lin R. M. Perspektivy primeneniya bakteriy – produktov lipopeptidov dlya zashchity rasteniy (obzor) [Prospects for the use of bacteria - products of lipopeptides for plant protection (review)]. *Prikladnaya biokhimiya i mikrobiologiya*, 2020, no. 56 (1), pp. 19-34. <https://doi.org/10.31857/S0555109920010134>
 5. Rassokhina I.I., Platonov A. V. Problema povysheniya produktivnosti zernovykh kul'tur Vologodskoy oblasti [The problem of increasing the productivity of grain crops in the Vologda region]. *Young Scientists - the economy of the region: Proceedings of the XX International Scientific and Practical Conference, Vologda, November 25-27, 2020*. 2021, pp. 337-341.
 6. Agriculture, hunting and forestry / Territorial body of the Federal Statistics Service of the Russian Federation. 1999-2023. URL: <https://35.rosstat.gov.ru/sel'skoye%20khozyaystvo> (accessed 01.07.2023)
 7. Sumina A.V., Polonskiy V.I., Kolichenko A.A. Kormovaya tsennost' zerna yachmenya, vyrashchennogo v usloviyakh yuga Sibiri [Fodder value of barley grain grown in the south of Siberia]. *Vestnik Khakasskogo gosudarstvennogo universiteta im. N.F. Katanova*, 2020, no. 3 (33), pp. 36-39.
 8. Chebotar' V.K., Zaplatkin A.N., Shcherbakov A.V., Mal'fanova N.V., Startseva A.A., Kostin Ya.V. Microbial preparations on the basis of endophytic and rhizobacteria to increase the productivity in vegetable crops and spring barley (*Hordeum vulgare* L.), and the mineral fertilizer use efficiency. *Agricultural Biology*, 2016, vol. 51, no. 3, pp. 335-342. <http://dx.doi.org/10.15389/agrobiol-ogy.2016.3.335eng>
 9. Shimko V.Ye., Kul'minskaya I.V., Kalitukho L.N., Gordey I.A. Sravnitel'nyy analiz pokazateley fotosinteza i produktivnosti u gibridov F2 ozimoy rzhii [Comparative analysis of indicators of photosynthesis and productivity in F2 hybrids of winter rye]. *Fiziologiya rasteniy*, 2009, no. 56 (1), pp. 139-146.
 10. Shuliko N.N., Khamova O.F., Voronkova N.A., Tukmacheva Ye.V., Doronenko V.D. Vliyaniye kompleksnogo primeneniya udobreniy i biopreparatov na effektivnoye plodorodiye chernozema vyshchelochennogo i produktivnost' yachmenya [Influence of complex application of fertilizers and biological preparations on effective fertility of leached chernozem and barley productivity]. *Agrokimiya*, 2019, no. 2, pp. 13-20. <https://doi.org/10.1134/S0002188119020133>
 11. Blake C., Christensen M.N., Kovács Á.T. Molecular aspects of plant growth promotion and protection by *Bacillus subtilis*. *Molecular Plant-Microbe Inter-*

- actions, 2021, vol. 34, no. 1, pp. 15-25. <https://doi.org/10.1094/MPMI-08-20-0225-CR>
12. Hashem A., Tabassum B., Abd-Allah E.F. *Bacillus subtilis*: A plant-growth promoting rhizobacterium that also impacts biotic stress. *Saudi Journal of Biological Sciences*, 2019, vol. 26, no. 6, pp. 1291-1297. <https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2019.05.004>
 13. Höflich G., Wiehe W., Kühn G. Plant growth stimulation by inoculation with symbiotic and associative rhizosphere microorganisms. *Experientia*, 1994, vol. 50, no. 10, pp. 897-905. <https://doi.org/10.1007/BF01923476>
 14. Majeed A., Muhammad Z., Ahmad H. Plant growth promoting bacteria: Role in soil improvement, abiotic and biotic stress management of crops. *Plant cell reports*, 2018, vol. 37, no. 12, pp. 1599-1609. <https://doi.org/10.1007/s00299-018-2341-2>
 15. Moya P., Barrera V., Cipollone J., Bedoya C., Kohan L., Toledo A., Sisterina M. New isolates of *Trichoderma* spp. as biocontrol and plant growth-promoting agents in the pathosystem *Pyrenophora teres*-barley in Argentina. *Biological Control*, 2020, no. 141, pp. 104-152. <https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2019.104152>
 16. Naz I., Bano A., Ul-Hassan T. Isolation of phytohormones producing plant growth promoting rhizobacteria from weeds growing in Khewra salt range, Pakistan and their implication in providing salt tolerance to *Glycine max* L. *African Journal of Biotechnology*, 2009, vol. 8, no. 21, pp. 5762-5768. <https://doi.org/10.5897/AJB09.1176>
 17. Platonov A.V., Rassokhina I.I., Laptev G.Y., Bolshakov V.N. Preparations use based on bacteria of the genus *Bacillus* to increase the yield of oats (*Avena sativa* L.). *AGRIVITA: Journal of Agricultural Science*, 2023, vol. 45, no. 1, pp. 48-56. <http://doi.org/10.17503/agrivita.v45i1.3757>
 18. Sabaté D.C., Petroselli G., Erra-Balsells R., Audisio M.C., Pérez Brandan C. Beneficial effect of *Bacillus* sp. P12 on soil biological activities and pathogen control in common bean. *Biological Control*, 2020, no. 141, pp. 1-8. <https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2019.104131>
 19. Sansinenea E. *Bacillus* spp.: As plant growth-promoting bacteria. *Secondary Metabolites of Plant Growth Promoting Rhizomicroorganisms*, 2019. https://doi.org/10.1007/978-981-13-5862-3_11
 20. Sweany R.R., Breunig M., Opoku J., Clay K., Spatafora J.W., Drott M.T., Baldwin T.T., Fountain J.C. Why do plant-pathogenic fungi produce mycotoxins? Potential roles for mycotoxins in the plant ecosystem. *Phytopathology*, 2022, vol. 112, no. 10, pp. 2044-2051. <https://doi.org/10.1094/PHYTO-02-22-0053-SYM>

21. Tewari S., Arora N.K. Role of salicylic acid from *Pseudomonas aeruginosa* PF23^{EPS+} in growth promotion of sunflower in saline soils infested with phytopathogen *Macrophomina phaseolina*. *Environmental Sustainability*, 2018, no. 1, pp. 49-59. <https://doi.org/10.1007/s42398-018-0002-6>
22. Yasir T.A., Wasaya A., Hussain M., Ijaz M., Farooq M., Farooq O., Nawaz A., Hu Y.-G. Evaluation of physiological markers for assessing drought tolerance and yield potential in bread wheat. *Physiology and Molecular Biology of Plants*, 2019, no. 25, pp. 1163-1174. <https://doi.org/10.1007/s12298-019-00694-0>

ВКЛАД АВТОРОВ

Все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку статьи для публикации.

AUTHOR CONTRIBUTIONS

The authors contributed equally to this article.

ДАнные ОБ АВТОРАХ

Платонов Андрей Викторович, кандидат биологических наук, доцент, ведущий научный сотрудник лаборатории биоэкономики и устойчивого развития; доцент
ФГБУН «Вологодский научный центр РАН»; ФКОУ ВО «Вологодский институт права и экономики» ФСИН России
ул. Горького, 56а, г. Вологда, 160014, Российская Федерация; ул. Щетинина, 2, г. Вологда, 160002, Российская Федерация
platonov70@yandex.ru

Рассохина Ирина Игоревна, научный сотрудник лаборатории биоэкономики и устойчивого развития
ФГБУН «Вологодский научный центр РАН»
ул. Горького, 56а, г. Вологда, 160014, Российская Федерация
rasskhinairina@mail.ru

Ильина Лариса Александровна, доктор биологических наук, профессор кафедры крупного животноводства
ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный аграрный университет»
Петербургское шоссе, 2, г. Санкт-Петербург, Пушкин, 196601, Российская Федерация
ilina@spbgau.ru

Йылдырым Елена Александровна, доктор биологических наук, профессор кафедры крупного животноводства
ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный аграрный университет»
Петербургское шоссе, 2, г. Санкт-Петербург, Пушкин, 196601, Российская Федерация
deniz@biotrof.ru

Лаптев Георгий Юрьевич, доктор биологических наук, профессор кафедры крупного животноводства
ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный аграрный университет»
Петербургское шоссе, 2, г. Санкт-Петербург, Пушкин, 196601, Российская Федерация
georg-laptev@rambler.ru

DATA ABOUT THE AUTHORS

Andrey V. Platonov, Candidate of Biological Sciences, Associate Professor, Leading Researcher of the Laboratory for Bioeconomics and Sustainable Development; Associate Professor
Vologda Research Center of the Russian Academy of Sciences; Vologda Institute of Law and Economics of the Federal Penitentiary Service of Russia
56a, Gorky Str., Vologda, 160014, Russian Federation; 2, Shchetinin Str., Vologda, 160002, Russian Federation
platonov70@yandex.ru
SPIN-code: 9123-2449
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1110-7116>
Scopus Author ID: 57216410424

Irina I. Rassokhina, Researcher of the Laboratory for Bioeconomics and Sustainable Development
Vologda Research Center of the Russian Academy of Sciences
56a, Gorky Str., Vologda, 160014, Russian Federation
rasskhinairina@mail.ru
SPIN-code: 8216-9895
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6129-6912>
Scopus Author ID: 58154567100

Larisa A. Ilina, Doctor of Biological Sciences, Professor of the Department of Large Animal Husbandry
Saint-Petersburg State Agrarian University
2A, Peterburgskoe sh., St. Petersburg, Pushkin, 196601, Russian Federation
ilina@spbgau.ru
SPIN-code: 5826-7525
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2789-4844>
Scopus Author ID: 57060452100

Elena A. Yildirim, Doctor of Biological Sciences, Professor of the Department of Large Animal Husbandry
Saint-Petersburg State Agrarian University
2A, Peterburgskoe sh., St. Petersburg, Pushkin, 196601, Russian Federation
deniz@biotrof.ru
SPIN-code: 4479-7509
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5846-5105>
Scopus Author ID: 57059948100

Georgij Yu. Laptev, Doctor of Biological Sciences, Professor of the Department of Large Animal Husbandry
Saint-Petersburg State Agrarian University
2A, Peterburgskoe sh., St. Petersburg, Pushkin, 196601, Russian Federation
georg-laptev@rambler.ru
SPIN-code: 3600-5295
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8795-6659>
Scopus Author ID: 54414368800

Поступила 24.08.2023

После рецензирования 10.09.2023

Принята 18.09.2023

Received 24.08.2023

Revised 10.09.2023

Accepted 18.09.2023

САДОВОДСТВО И ЛЕСОВОДСТВО

HORTICULTURE AND FORESTRY

DOI: 10.12731/2658-6649-2024-16-2-1076

UDC 631.811.98+581.091



Original article

**THE PROLONGED INFLUENCE
OF ROOT DRESSING OF CAJANDER LARCH
(*LARIX CAJANDERY* MAYR.) ANNUAL AND BIENNIAL
SEEDLINGS WITH THE GROWTH STIMULANTS
ZIRCON AND EPIN ON THEIR GROWTH
AT FIFTEEN YEARS OF AGE**

V.Yu. Ostroshenko, L.Yu. Ostroshenko

*Cajander larch (*Larix cajandery* Mayr.) is the eastern race of Gmelin larch, the main forest-forming species in the Amur Region and the Primorsky Territory. It is widely used in the national economy. It is promising for landscaping. However, as a result of improper felling and forest fires, the area and stocks of larch have been significantly reduced. Its accelerated artificial restoration is necessary. One of the ways to solve this problem is the use of growth stimulants. The aim of the research was to study the stimulating effect of aqueous solutions of growth stimulants Zircon and Epin at various concentrations of solutions on biometric indicators of annual seedlings and mature Cajander larch trees at the age of 15. In the spring of 2009, grown larch seedlings were transplanted into the previously prepared soil of school department of the nursery with the placement of 0.5 × 0.6 m. During the growing season they were fed twice with Zircon and Epin in concentrations of 0.01 and 0.001%. Seedlings that were not subjected to any treatment were taken as a control sample. Seedlings were measured in terms of height, height gain, diameter of the root neck, root length and dry weight. In the spring of 2012, in the vicinity of the Mountain-taiga station named after V.L. Komarov, an alley was created from a part of Cajander larch seedlings along the road system. 10 years after the transplantation*

of seedlings, in June 2022, the state of larch cultures was assessed according to the scale given in the rules of sanitary safety [26], and the heights and diameters of the trunk at chest height were measured. The studies showed that root dressing with Epin solution at a concentration of 0.01% has the greatest effect on the growth of seedlings and mature larch trees.

Keywords: *Cajander larch; growth stimulants; Zircon; Epin; seedlings; height; height gain; diameter of root collar; length of roots; dry mass*

For citation. *Ostroshenko V.Yu., Ostroshenko L.Yu. The Prolonged Influence of Root Dressing of Cajander larch (Larix cajandery Mayr.) Annual and Biennial Seedlings with the growth Stimulants Zircon and Epin on their Growth at Fifteen Years of Age. Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture, 2024, vol. 16, no. 2, pp. 292-313. DOI: 10.12731/2658-6649-2024-16-2-1076*

Научная статья

ПРОЛОНГИРОВАННОЕ ВЛИЯНИЕ КОРНЕВОЙ ПОДКОРМКИ СТИМУЛЯТОРАМИ РОСТА ЦИРКОН И ЭПИН ОДНО-ДВУЛЕТНИХ САЖЕНЦЕВ ЛИСТВЕННИЦЫ КАЯНДЕРА (*LARIX CAJANDERY* MAYR.) НА ИХ РОСТ В 15-ЛЕТНЕМ ВОЗРАСТЕ

В.Ю. Острошенко, Л.Ю. Острошенко

Лиственница Каяндера (Larix cajandery Mayr.) – восточная раса лиственницы Гмелина, основная лесообразующая порода в Приамурье и Приморском крае. Широко используется в народном хозяйстве. Перспективна для озеленения. Однако в результате неправильных вырубок и лесных пожаров площади и запасы лиственницы значительно сократились. Необходимо ее ускоренное искусственное восстановление. Одним из способов решения этой проблемы является применение стимуляторов роста. Целью исследований являлось изучение стимулирующего эффекта водных растворов стимуляторов роста Циркон и Эпин в различных концентрациях растворов на биометрические показатели одно-двулетних саженцев и взрослых деревьев лиственницы Каяндера в 15-летнем возрасте. Весной 2009 года выращенные сеянцы лиственницы пересадили в заранее подготовленную почву школьного отделения питомника с размещением 0,5 × 0,6 м. За вегетационный период их дважды подкармливали препаратами Циркон и

Эпин в концентрациях 0,01 и 0,001%. За контрольный образец принимали саженцы, не подвергавшиеся какой-либо обработке. Проводили замеры саженцев по показателям высоты, прироста по высоте, диаметра шейки корня, длины корней и сухой массы. Весной 2012 года в окрестностях Горнотаежной станции им. В.Л. Комарова из части саженцев лиственницы Каяндера вдоль дорожной системы была создана аллея. Через 10 лет после пересадки саженцев, в июне 2022 г., проведена оценка состояния культур лиственниц по шкале, приведенной в правилах санитарной безопасности [26], а также измерены высоты и диаметры ствола на высоте груди. Проведенные исследования показали, что на рост саженцев и взрослых деревьев лиственницы наибольший эффект оказывает корневая подкормка раствором Эпина концентрацией 0,01%.

Ключевые слова: лиственница Каяндера; стимуляторы роста; Циркон; Эпин; саженцы; высота; прирост по высоте; диаметр шейки корня; длина корня; сухая масса

Для цитирования. Острошенко В.Ю., Острошенко Л.Ю. Пролонгированное влияние корневой подкормки стимуляторами роста циркон и эпин одно-двухлетних саженцев лиственницы Каяндера (*Larix cajandery* Mayr.) на их рост в 15-летнем возрасте // *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*. 2024. Т. 16, №2. С. 292-313. DOI: 10.12731/2658-6649-2024-16-2-1076

Introduction

Larch forests – is the most common forest formation of the Far East with an area of 59,2 ha and a growing stock of 61,2% among other Far Eastern forests [9].

The areal of larch is huge and geographically stretches from Southern Primorye to the Northern limit of woody vegetation distribution – almost to 71 ° N. lat. [9].

Larch is a large tree reaching a height of 35-40 m and more than 1 m in trunk diameter. It grows for a long time, 300-400 years. Its characteristic features are rapid growth, durability and the ability to withstand various damage caused by the activity of fungi and insects. This tree species tolerates the adverse effects of climate. The wood is durable, resistant to decay. So, in Venice, many houses are built on larch piles. St. Isaac's Cathedral in St. Petersburg also stands on larch piles. Larch is widely used for various hydraulic structures. Larch firewood is the best in terms of calorie content and heat productivity. The scope of larch is quite extensive. It is actively used for the manufacture of building materials such as fiberboard, etc. Its raw materials are of high value for pulp and paper and hydrolysis production, obtaining high-quality varnishes, turpentine, camphor oil, as well as other valuable forest products. As a valuable and

fast-growing species, larch has been used in forestry production since historical times. Rapid growth, beautiful appearance, resistance to harmful gases and good survival rate put this tree species in one of the first places for landscaping [9].

Larch grows on the vast territory of the Russian Far East, forming forests in various geographical and climatic zones, which has left an imprint on its silvicultural properties. At the same time, the boundaries of the ranges of some of its species are not yet clearly defined due to the formation of hybrids that create a polymorphic group of plants.

East of the Lena River, in the basin of its tributary the Aldan River, east of its outlet to the coast of the Sea of Okhotsk, Cajander larch (*Larix cajandery* Mayr.) is widespread. It is the eastern race of Gmelin larch, the main forest-forming species in the Amur Region and Primorsky Krai [30].

On the territory of Primorsky Krai, larch occupies 918.2 thousand hectares [18].

In recent decades, the Far East has been intensively developing all natural resources. Timber harvesting, including larch, is carried out at a particularly rapid pace. As a result of improper logging and forest fires, the area and stocks of larch have been significantly reduced. It is necessary to accelerate its artificial restoration. One of the ways to solve this problem is the use of growth stimulants at various stages of growing planting material. Experimental work on the use of growth stimulants in the cultivation of various tree species has shown their effectiveness [1, 2, 5, 7-8, 10-14, 16-17, 19-23, 26, 28, 31-39].

The scientific novelty of this study lies in the fact that for the first time on seedlings and mature trees of Cajander larch in condition of Primorsky Krai, the effect of two environmentally friendly growth stimulants Epin and Zircon at different concentrations was investigated.

Objective

The object of the research was to study the stimulating effect of aqueous solutions of growth stimulants Zircon and Epin in different concentrations of solutions on the biometric parameters of one-two-year-old seedlings and mature trees of Cajander larch at the age of 15.

Materials and methods

The object of the research was one-two-year-old seedlings, as well as mature trees of Cajander larch. Experimental plants were grown in the nursery of the Komarov Mountain Taiga Station of the Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences. Seeds are collected in the Nikolaev forestry of the Khabarovsk Territory.

The area in which the nursery is located is characterized by special forest conditions, the presence of podzolic soils and mountain-forest brown soils.

Soil preparation consisted of spring plowing with a walk-behind tractor at a depth of 25 to 28 cm. After plowing, manual harrowing was carried out.

In the spring of 2009, the grown seedlings were transplanted into the pre-prepared soil of school department of the nursery with a placement of 0.5×0.6 m.

During the growing season, they were fed twice with Zircon and Epin in concentrations of 0.01 and 0.001%. The solutions were prepared before the feeding process itself.

Seedlings that have not been subjected to any treatment were taken as a control sample. In total, 25 seedlings were planted for control and experiment in triple repetition.

Observation of experimental and control specimens was carried out during 2 growing seasons.

After the end of the growing season, the method of continuous accounting was used to measure experimental and control plants according to the following indicators: stem height, height gain. In 25 selected plants, the diameter of root collar was measured using an electronic caliper. The length of roots was determined using a ruler.

The seedlings were dried to an air-dry state. Then the stems, needles and root system were weighed separately. The data obtained were compared according to the variants of the experiment.

In the spring of 2012, in the vicinity of the V.L. Komarov Mountain Taiga Station, an alley was created from part of the Cajander larch seedlings along the road system.

In June 2022, 10 years after transplanting the seedlings, the condition of larch crops was assessed according to the scale given in the sanitary safety rules [15], and the heights were measured using an altimeter and trunk diameters at chest height were measured using a measuring fork.

The research materials were subjected to statistical processing in Microsoft Excel 2007. The significance of the differences with the control was calculated using the Student's t-test.

Results and discussion

Zircon is a natural growth stimulant that is safe for both humans and animals. This drug is based on hydroxycinnamic acids. This stimulant does not pollute groundwater. It has a positive effect on root formation, growth, flowering. It has antiviral activity and activates the processes associated with the synthesis of chlorophyll [29].

Epin also provides enhanced plant growth, but unlike Zircon it is a synthetic drug. Its constituent is presented by epibrassinolide. It activates its own natural phytohormones in plants, necessary for their development. It reduces the content of nitrates, salts of heavy metals and radionuclides in plants [29].

Thanks to the use of these stimulants, it is possible to increase seed germination, accelerate growth, flowering, root formation, activate the process of chlorophyll synthesis, as well as enhance the protective function of plants, thereby improving their disease resistance to various phytopathogens and climatic factors.

The authors who conducted experiments on the use of the growth stimulants Zircon and Epin-Extra with various agricultural crops showed their positive effect. Thus, Gladysheva O.V. revealed that the treatment of tomato seeds with Epin-Extra and Zircon contributed to an increase in the sowing qualities of seeds. An increase in the energy of germination and laboratory germination of seeds was observed with the joint use of drugs [6]. Reshetnik G.V. also described the stimulating effect of Epin-Extra on the physiological parameters of winter wheat (*Triticum aestivum*) [25]. It has been proven that the use of Epin-Extra has a positive effect on the germination of seeds of victorious onion (*Allium victorialis* L.) and bear onion (*Allium ursinum* L.) [27]. Peregudov S.V. et al. noted the activation of carrot growth processes with triple spraying with Epin-Extra and Zircon [24]. The anti-stress effect of stimulants Zircon and Epin-Extra on white cabbage was established by Vakulenko V.V. The author noted the positive effect of these drugs on increasing seed germination, the volume of the root system, survival after planting in the field, as well as yield and product quality [3]. It was revealed that the use of Zircon and Epin-Extra in combination with mineral fertilizers leads to an increase in potato yields. These stimulants inhibit the development of diseases, increase resistance to late blight by 4.6-6.5% [4].

In forestry, the effectiveness of the use of the stimulants Zircon and Epin-Extra has been studied experimentally. Thus, Ustinova T.S. proved the positive effect of the stimulator Epin-Extra on root growth in seedlings of Scots pine (*Pinus silvestris* L.) [32]. Pentelkina N.V., Pentelkina Y.S. found a significant effect of foliar feeding with Zircon on the growth and development of seedlings of Crimean pine (*Pinus nigra* subsp. *pallasiana*) and Scots pine, Siberian larch (*Larix sibirica* Ledeb.) and Siberian pine (*Pinus sibirica* Du Tour.). An increase in the height of the seedlings and an increase in the biomass of their aerial part, as well as an increase in the length of roots and their biomass were noted [22-23]. The active effect of Epin-Extra and Zircon on the cultivation of seedlings of Khingan fir (*Abies nephrolepis* (Trautv.) Maxim.) was revealed.

They had active root formation, an increase in height and biomass, the development of lateral shoots and the formation of the crown of plants. The possibility of reducing the period of cultivation of planting material by 1 year has been established [16]. Chukarina A.V. tested various growth stimulants, including Zircon in the cultivation of Scots pine and Crimean pine. It has been established that the effectiveness of the stimulant Zircon increases in combination with the drug Tsitovit [34].

Based on all of the above, it can be concluded that these growth stimulants are effective and actively used as preparations for pre-sowing seed treatment and root and foliar feeding of a wide variety of agricultural and forest crops, in order to increase growth rates and resistance to various diseases and climatic conditions. These stimulants are included in the List of pesticides and agrochemicals that are approved for use in Russia [29].

The results of the studies varied and depended on weather conditions, which differed significantly from the long-term average indicators.

The studies have shown, that root feeding of larch seedlings with the stimulants during the first two years of growth in the school department of the nursery had a positive effect on their growth and depended on the drug used and the concentration of its solution.

The experiments showed a significant increase in the height of the experimental seedlings in relation to the control by 11.9–26.9% in the 1st year of growth and by 16.3–54.3% in the 2nd year (Tables 1, 2).

Table 1.

The influence of the stimulator Zircon on the height and height gain of Cajander larch seedlings at the first 2 years of growth in the nursery school department

№ n/n	Growth parameters	Height, cm M±m		Height gain, cm	
		1 st year of growth	2 nd year of growth	1 st year of growth	2 nd year of growth
1.	Control	41.2 ± 1.1	52.7 ± 2.0	10.1 ± 0.1	12.5 ± 0.6
2.	C (coefficient of variability), %	13.1	18.5	11.3	22.0
3.	P (accuracy of experiment), %	2.6	3.7	2.3	4.5
Solution concentration 0.001%					
4.	Experimental seedlings	46.1 ± 0.5*	61.3 ± 1.1*	15.0 ± 0.9*	15.6 ± 0.4*
5.	Excess to control, %	+11.9	+16.3	+48.5	+24.8
6.	C (coefficient of variability), %	18.6	9.5	15.2	11.7
7.	P (accuracy of experiment), %	3.7	1.9	3.0	2.3

Solution concentration 0.01%					
9.	Experimental seedlings	49.2 ± 0.4*	76.4 ± 1.1*	18.1 ± 0.3*	26.3 ± 1.2*
10.	Excess to control, %	+19.4	+45.0	+79.2	+110.4
11.	C (coefficient of variability), %	16.7	7.5	11.2	20.0
12.	P (accuracy of experiment), %	3.3	1.5	2.2	4.4

Note: * – differences with the control are significant according to the t-test

Table 2.

The influence of the stimulator Epin on the height and height gain of Cajanderlarch seedlings at the first 2 years of growth in the nursery school department

№ n/n	Growth parameters	Height, cm M±m		Height gain, cm	
		1 st year of growth	2 nd year of growth	1 st year of growth	2 nd year of growth
1.	Control	41.2 ± 1.1	52.7 ± 2.0	10.1 ± 0.1	12.5 ± 0.6
2.	C (coefficient of variability), %	18.1	18.5	11.3	22.7
3.	P (accuracy of experiment), %	2.6	3.7	2.3	4.5
Solution concentration 0.001%					
4.	Experimental seedlings	48.7 ± 0.5*	65.7 ± 1.0*	17.6 ± 0.2*	17.7 ± 0.6*
5.	Excess to control, %	+18.2	+24.7	+74.3	+41.6
6.	C (coefficient of variability), %	14.9	7.2	14.1	16.4
7.	P (accuracy of experiment), %	3.0	1.4	2.8	3.3
Solution concentration 0.01%					
9.	Experimental seedlings	52.3 ± 1.2*	81.3 ± 2.2*	19.4 ± 1.5*	28.8 ± 1.0*
10.	Excess to control, %	+26.9	+54.3	+92.1	+130.4
11.	C (coefficient of variability), %	14.1	13.8	11.4	20.2
12.	P (accuracy of experiment), %	2.8	2.8	2.3	4.0

The accuracy of the experiment was in the range of 1.4-3.7%. The differences with the control are significant: $t_{\text{fact}} > t_{\text{fact}}$ at $p < 0.05$. The height gain of the seedlings was 15-19.4 cm in the 1st year and, accordingly, 15.6-28.8 cm in the 2nd year, exceeding the control indicators by 48.5-92.1% and 24.8-130.4%, respectively. Higher rates of height and height gain were noted when feeding seedlings with a stimulator Epin with a solution concentration of 0.01%. When using the drug Zircon with a concentration of 0.001%, a less positive effect was observed.

Experimental seedlings had active root formation. So, in the 1st year the length of roots of experimental seedlings increased the parameters on the control by 1.6-14.3% (Fig. 1), in the 2nd year – by 18.1-47.8% (Fig. 2).

During the 1st year of seedling growth, the highest parameters of roots length were noted when fertilizing by the stimulator Zircon with a solution concentration of 0.01%. This is probably due to the fact that the hydroxycinnamic acids included in the stimulator contribute to the active root formation of plants.

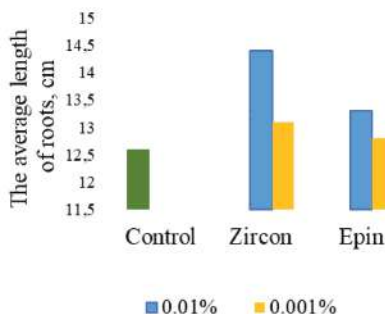


Fig. 1. Influence of the growth stimulants Zircon and Epin on the growth of Cajander larch annual seedlings along the length of roots

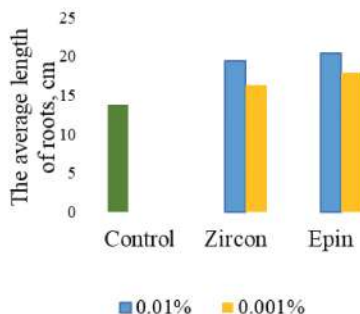


Fig. 2. Influence of the growth stimulants Zircon and Epin on the growth of Cajander larch biennial seedlings along the length of roots

The diameter of the root neck exceeded the control, respectively: by 6.7–11.2% in the 1st year of growth (Fig. 3) and by 17.1–63.8% in the 2nd year (Fig. 4). Epin with a solution concentration of 0.01% had a higher effect.

The mass of the root system of the seedlings in the air-dry state significantly exceeded the control by 80.8–115.4% in the 1st year of growth (Fig. 5) and by 98.1–173.1% in the 2nd year (Fig. 6) and amounted to 4.7–5.6 g and, accordingly, 10.3–14.2 g.

It can be seen from the presented graphs, that the total dry weight of experimental seedlings exceeded the control by 66.7–98.8% in the 1st year of growth and, accordingly, by 89.9–145.3% in the 2nd year.

In the place of growth of 15-year-old crops of Cajander larch, the soils are mountain-forest. The terrain is slightly undulating with a minimum slope. The climate in the research area is monsoonal. The temperature in July-August reaches 30-35 °C. The distribution of precipitation is uneven. Their average number here is about 80% in the warm season and only 20% in winter. The greatest number of them falls in July-October (about 50-57%), when heavy rains are observed. In winter, snow is observed every three years, which leads to the death of plants. The dynamics of changes in air humidity is peculiar. In summer, it reaches the highest values (more than 80%), in April-May - the lowest (50-70%).

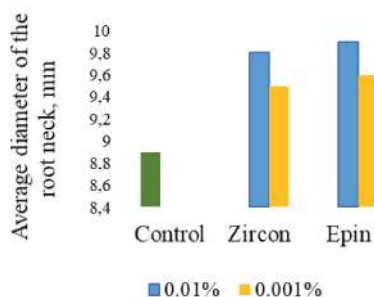


Fig. 3. Influence of the growth stimulants Zircon and Epin on the growth of Cajander larch annual seedlings along the diameter of the root neck

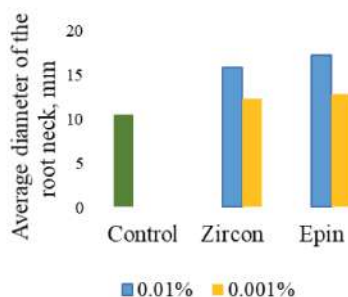


Fig. 4. Influence of the growth stimulants Zircon and Epin on the growth of Cajander larch biennial seedlings along the diameter of the root neck

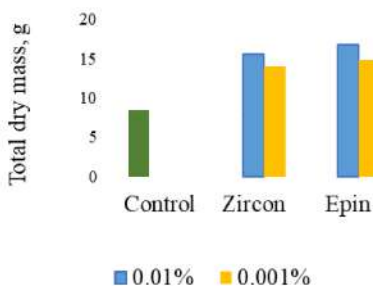


Fig. 5. Influence of the growth stimulants Zircon and Epin on the growth of Cajander larch annual seedlings dry mass

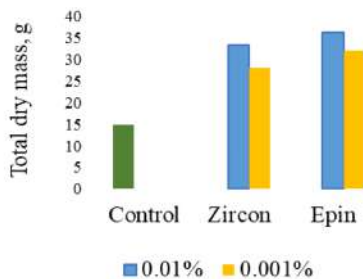


Fig. 6. Influence of the growth stimulants Zircon and Epin on the growth of Cajander larch biennial seedlings dry mass

The main area of the forest fund is occupied by oak and oak-deciduous communities, which are typical for the south-west of Primorye. The species composition of the grass cover includes Amur anemone (*Anemone amurensis* Kom.), single-pair vetch (*Vicia unijuga* A.Br.), eared kalali (*Cacalia auriculata* D.C.), meadowsweet (*Filipendula palmate* Maxim.), pink maryannik (*Melampyrum roseum* Maxim.), Ussuri sedge (*Carex ussuriensis* Kom.), Daurian bedstraw (*Galium davuricum* Turcz. ex Ledeb.), wheatgrass (*Elytrigia* sp.), dandelion (*Taraxacum officinale* (L.) Webb ex F. H. Wigg.), creeping clover (*Trifolium repens* L.), stinging nettle (*Urticaurens* L.), burdock (*Arctium* sp.).

The survival rate of larch crops was within 99%. Among the rooted crops, the trees are predominantly healthy. The fall away is insignificant. The reasons

for the fall are probably connected with damage by pests (larch fly) and with the significant amount of dust and gaseous pollutants, which causes some harm to plants.

Based on the results of tree measurements, it was found that the effect of the use of growth stimulants is preserved (Table 3).

The greatest positive effect was exerted by root feeding of one-two-year-old seedlings of Cajander larch with stimulator Epin, where the average height was in the range of 10.1–10.2 m, exceeding the control indicators by 119.6% (at a concentration of 0.001%) and by 121.7% (at a concentration of 0.01% of water).

When fertilizing seedlings with Zircon, the height indicators were 5.6 m at a concentration of 0.001% and 9.8 m at a concentration of 0.01% (excess to the control - 21.7 and 113%). The significance of the differences with the control was noted: $t_{\text{fact}} > t_{\text{tabl}}$ at $p < 0.05$.

Table 3.

Influence of the stimulants Zircon and Epin on the growth of the average parameters of the height and diameter of the trunk of fifteen-year-old Cajander larch trees

№ п/п	Growth indicators	Biometric parameters of 15-year-old Cajander larch trees	
		Height, m	Diameter of the trunk, cm
1.	Control	4,6 ± 0,1	10,0 ± 0,6
Zircon			
Solution concentration 0.001%			
2.	Experimental seedlings	5,6 ± 0,1*	12,8 ± 0,5*
3.	Excess to control, %	+21,7	+28,0
Solution concentration 0.01%			
4.	Experimental seedlings	9,8 ± 0,5*	17,0 ± 0,1*
5.	Excess to control, %	+113,0	+70,0
Epin			
Solution concentration 0.001%			
6.	Experimental seedlings	10,1 ± 0,1*	20,1 ± 0,1*
7.	Excess to control, %	+119,6	+101,0
Solution concentration 0.01%			
8.	Experimental seedlings	10,2 ± 0,1*	21,0 ± 0,1*
9.	Excess to control, %	+121,7	+110,0

Note: * - differences with the control are significant according to the t-test

When using the drug Epin, the diameter of the root neck increased by 2 times, compared with the control, amounting to 20.1–21 cm, exceeding the

control by 101–110%. Zircon is less effective. Excess to the control group was within 28–70%. The differences with the control are significant: $t_{\text{fact}} > t_{\text{tabl}}$ at $p < 0.05$. The significant effect of the stimulant Epin on the growth and development of Cajander larch is probably associated with its constituent epibrassinolide, which has a positive effect on the growth processes of plants.

Conclusion

Thus, it has been established that the growth stimulants Zircon and Epin have a positive effect on the growth of seedlings and mature trees of Cajander larch. It was revealed that the effect of root feeding with Epin solution, in comparison with Zircon, is higher in individual growth indicators. Thus, the height of larch seedlings treated with the stimulator Epin in the first year of growth exceeded the control by 18.2–26.9% and in the second year, respectively, by 24.7–54.3%. The height gain exceeded the control by 74.3–92.1% and, accordingly, by 41.6–130.4%. The diameter of the root neck and dry mass exceeded the control by 7.9–11.2, 22.9–65.8 and 76.2–98.8 and 116.2–145.3%. However, it was noted that the length of the roots in the first year of growth, to a greater extent, was influenced by Zircon, exceeding the indicators of the control group by 4–14.3% and 29–47.8% and in the second year a significant effect was produced by Epin.

Epin also had a positive effect on the height and diameter of the trunk of 15-year-old larch trees. Exceedances in relation to the control amounted to 119.6–121.7% and 101–110%.

The use of a higher concentration of solutions (0.01%) gives a more significant effect in comparison with a lower one (0.001%).

Funding. The research was carried out within the state assignment of Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation (theme No. 124012200183-8).

References

1. Aliev E.V., Sivolapov A.I. Vliyanie predposevnoy obrabotki semyan na vskhozhest' i rost seyantsev sosny obyknovennoy rostovymi veshchestvami [Impact of growth substances on Scotch pine seed pretreatment]. *Sovremennye problemy nauki i obrazovaniya* [Modern problems of science and education], 2013, no. 4, p. 369.
2. Baryshnikova S.V., Mukhina M.A. Vliyanie kompleksnykh preparatov na rost i razvitiye seyantsev tui koreyskoy (*Thuja koraiensis* Nakai) [Influence of complex

- preparations on growth and development of seedlings of Korean thuja (*Thuja koraiensis* Nakai)]. *Byulleten' botanicheskogo sada Saratovskogo gosudarstvennogo universiteta* [Bulletin of the Botanical Garden of the Saratov State University], 2013, no. 11, pp. 111-114.
3. Vakulenko V.V. Epin-ekstra i Tsirkon effektivny na kapuste [Epin-Extra and Circon are effective on cabbage]. *Kartofel' i ovoshchi* [Potato and vegetables], 2014, no. 4, pp. 14-15.
 4. Gazdanova I.O., Gerieva F.T., Morgoev T.A. Effektivnost' primeneniya biostimulyatorov "Epin-ekstra" i "Tsirkon" na posadkakh kartofelya v agroekologicheskikh usloviyakh RSO-Alaniya [Efficiency of application of "Epin-extra" and "Zircon" biostimulants on potato landings in agroecological conditions of Republic of North Ossetia-Alania]. *Agrarnyy vestnik Urala* [Agrarian bulletin of the Urals], 2020, no. 8 (199), pp. 2-8. <https://doi.org/10.32417/1997-4868-2020-199-8-2-8>
 5. Galdina T.E., Shevchenko K.V. Otsenka vliyaniya biostimulyatorov na sostoyanie i kachestvo seyantsev eli evropeyskoy (*Picea abies*) [Evaluation of the impact of biostimulants on the condition and quality of European spruce seedlings (*Picea abies*)] [Electronic resource]. "*Studencheskiy nauchnyy forum*": *IV mezhdunar. stud. elektron. nauch. konf.* ["Student Scientific Forum": mater. IV Int. stud. electron. sci. conf.] (Moscow, 15 February-31 March 2021): The Russian Academy of Natural Sciences, 2012, no. 7. <https://www.rae.ru/forum/2012/13/559> (accessed 15 November 2022).
 6. Gladysheva O.V. Vliyanie Epin-Ekstra i Tsirkona na energiyu prorastaniya i laboratornuyu vskhozhest' semyan nekotorykh sortov tomatov [Effect of Epin-Extra and Zircon on germination energy and laboratory germination of seeds of some tomato varieties]. *Nauchnyy al'manakh* [Scientific almanac], 2019, no. 2-2 (52), pp. 115-118. <https://doi.org/10.17117/na.2019.02.02.115>
 7. Gukov G.V., Ostroshenko V.V., Morozov S.A., Ostroshenko L.Yu. Predposlevnaya obrabotka semyan khvoynykh stimulyatorami rosta [Presowing treatment of coniferous seeds with growth stimulators]. *Trudy mezhdunar. foruma po problemam nauki, tekhniki i obrazovaniya* [Proc. of int. forum on problems of science, technology and education], 2002, pp. 75-77.
 8. Gukov G.V., Ostroshenko V.V., Ostroshenko L.Yu. Novaya tekhnologiya vossstanovleniya khvoynykh lesov Dal'nego Vostoka [New technology for the restoration of coniferous forests in the Far East]. *Lesnoe khozyaystvo* [Forestry], 2006, no. 4, pp. 35-37.
 9. Gukov G.V. *Listvennitsy i listvennichnye lesa rossiyskogo Dal'nego Vostoka* [Larch and larch forests of the Russian Far East]. Vladivostok: GTS DVO RAN, 2009, 350 p.

10. Kabanova S.A., Danchenko M.A., Kochegarov I.S., Kabanov A.N. Opyt intensivnogo vyrashchivaniya odnoletnikh seyantsev sosny obyknovennoy v Pavlodarskoy oblasti Respubliki Kazakhstan [The experience of intensive cultivation of one-year-old seedlings of *Pinus sylvestris* L. in Pavlodar region of the republic of Kazakhstan]. *Lesnoy zhurnal* [Russian Forestry Journal], 2019, no. 6, pp. 104-117. <https://doi.org/10.17238/issn0536-1036.2019.6.104>
11. Kirienko M.A., Goncharova I.A. Vliyanie kontsentratsii stimulyatorov rosta na gruntovuyu vskhozhest' semyan i sokhrannost' seyantsev glavnykh lesobrazuyushchikh vidov Sredney Sibiri [Influence of the concentration of growth stimulants on the soil germination of seeds and the safety of seedlings of the main forest-forming species of Central Siberia]. *Sibirskiy lesnoy zhurnal* [Siberian Journal of Forest Science], 2016, no. 1, pp. 39-45. <https://doi.org/10.15372/SJFS20160104>
12. Larionova N.A. Primenenie gormonal'nykh veshchestv dlya uluchsheniya kachestva semyan i rosta seyantsev khvoynykh porod v Krasnoyarskom krae [The use of hormonal substances to improve the quality of seeds and the growth of seedlings of coniferous species in the Krasnoyarsk Territory]. *Lesnoe khozyaystvo* [Forestry], 1997, no. 6, pp. 28-30.
13. Mustaev F.A. Effektivnost' novogo stimulyatora rosta Navruz [The effectiveness of the new growth stimulator Navruz]. *Zashchita i karantin rasteniy* [Plant protection and quarantine], 2008, no. 10, p. 28.
14. Nikitenko E.A., Gul L.P., Korol L.A. Izuchenie stimulyatorov rosta pri vyrashchivanii posadochnogo materiala dal'nevostochnykh drevesnykh porod [The study of growth stimulants in the cultivation of planting material of the Far Eastern tree species]. *Subtropicheskoe i yuzhnoe sadovodstvo Rossii* [Subtropical and southern gardening of Russia], 2005, no. 38, p. 171.
15. On the approval of the Rules of sanitary safety in forests. Decree of the Government of the Russian Federation № 2047 from 09.12.2020. URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_370645/ (accessed 05.05.2023).
16. Ostroshenko V.V., Ostroshenko L.Yu., Ostroshenko V.Yu. Vliyanie kornevoy podkormki stimulyatorami rosta odno-dvuletnikh seyantsev pikhty pochkocheshuynoy na ikh dal'neyshiy rost [The influence of the root additional fertilizing by the growth stimulants of the annual-biennial Khingam fir seedlings on their following growth]. *Vestnik KrasGAU* [The Bulletin of KrasGAU], 2015, no. 10, pp. 160-167.
17. Ostroshenko V.Yu., Ostroshenko L.Yu. Effektivnost' primeneniya stimulyatorov rosta pri vyrashchivanii seyantsev pikhty tsel'nostnoy (*Abies holophylla* Maxim.) [The effectiveness of the application of growth stimulants in grow-

- ing Manchurian fir (*Abies holophylla* Maxim.]). *Uspekhi sovremennogo estestvoznaniya* [Advances in current natural sciences], 2020, no. 4, pp. 41-47. <https://doi.org/10.17513/use.37360>
18. Official site of the Administration of the Primorsky Territory and executive authorities of the Primorsky Territory. URL: https://www.primorsky.ru/authorities/executive-agencies/departments/forestry/folder_2/index.php (accessed 01.03.2021).
 19. Pentelkin S.K. Primenenie Agata-25K v lesnom khozyaystve [Agata-25K application in forestry]. *Lesnoe khozyaystvo* [Forestry], 2001, no. 2, pp. 41-43.
 20. Pentelkin S.K. Itogi izucheniya stimulyatorov rosta i polimerov v lesnom khozyaystve za poslednie 20 let [Results of the study of growth stimulants and polymers in forestry over the past 20 years]. *Lesokhozyaystvennaya informatsiya* [Forestry information], 2003, no. 11, 20 p.
 21. Pentelkina N.V. Ekologicheski chistye tekhnologii na osnove ispol'zovaniya stimulyatorov rosta [Environmentally friendly technologies based on the use of growth stimulants]. *Ekologiya, nauka, obrazovanie, vospitanie* [Ecology, science, education, upbringing], 2002, vol. 3, pp. 69-71.
 22. Pentelkina N.V., Pentelkina Yu.S. Stimuliruyushchee deystvie tsirkona na rost seyantsev khvoynykh introdutsentov [Stimulating effect of zircon on the growth of seedlings of coniferous introducents]. *Lesnoy vestnik* [Forestry bulletin], 2002, no. 2, pp. 24-28.
 23. Pentelkina Yu.S. Ispol'zovanie stimulyatorov rosta pri vyrashchivanii tsennogo introdutsenta [The use of growth stimulants in the cultivation of a valuable introducent]. *Aktual'nye problemy lesnogo kompleksa* [Actual problems of the forest complex], 2005, vol. 10, pp. 121-125.
 24. Peregudov S.V., Talanova L.A., Peregudova A.V. Otsenka deystviya preparatov Epin-Ekstra i tsirkona na rost i produktivnost' morkovi [Estimation of efficiency of Epina-Ekstra and Zircon preparations' action on growth and productivity of carrot]. *Agrokhimicheskiiy vestnik* [Agrochemical Herald], 2010, no. 2, pp. 30-31.
 25. Reshetnik G.V., Zaichenko O.S. Vliyanie sinteticheskikh regulyatorov rosta Siliplant i Epin-Ekstra na fiziologicheskie parametry ozimoy pshenitsy (*Triticum aestivum* L.) i yachmenya (*Hordeum vulgare* L.) na rannikh etapakh ontogeneza [Influence of synthetic growth regulators Siliplant and Epin-Extra on the physiological parameters of winter wheat (*Triticum aestivum* L.) and barley (*Hordeum vulgare* L.) at the early stages of ontogenesis]. "Biologicheskaya zashchita rasteniy – osnova stabilizatsii agroekosistem": mater. mezhdunar. nauch. - prakt. konf. [“Biological protection of plants – the basis for the

- stabilization of agroecosystems”: mater. international scientific - pract. conf.] (Krasnodar, 11-13 September 2018): The Printing House “Granat”, 2018, pp. 277-280.
26. Rodin S.A., Prokazin N.E., Kazakov V.I., Lobanova E.N., Pentelkina N.V. Otsenka tselesoobraznosti primeneniya rostovykh preparatov pri vyrashchivanii seyantsev khvoynykh porod [Evaluation of the expediency of using growth preparations in the cultivation of seedlings of coniferous species]. “*Lesnaya Rossiya: politika, promyshlennost', nauka, obrazovanie*”: mater. vtoroy mezhdunar. nauch. - tekhn. konf. [“Forests of Russia: politics, industry, science, education”: mater. of the second int. sci. - techn. conf.] (St. Petersburg, 24-26 May 2017): Saint Petersburg State Forest Technical University named after S.M. Kirova, 2017, pp. 134-136.
27. Savchenko O.M., Malankina E.L., Kozlovskaya L.N. Vliyanie reguljatorov rosta na prorastanie semjan luka pobednogo (*Allium victorialis* L.) i luka medvezh'ego (*Allium ursinum* L.) [Effect of growth regulators on seed germination of victorious onion (*Allium victorialis* L.) and bear onion (*Allium ursinum* L.)]. *Izvestiya TSKhA* [Izvestiya of Timiryazev Agricultural Academy], 2010, issue 6, pp. 61-66.
28. Saltsevich Yu.V. Primenenie biopreparatov pri vyrashchivanii sazhentsev eli sibirskoy v otkrytom grunte [The use of biopreparations in the cultivation of seedlings of Siberian spruce in open ground]. “*Lesnoy i khimicheskiy kompleksy – problemy i resheniya*”: sb. mater. po itogam Vseros. nauch. - prakt. konf. [“Forestry and chemical complexes - problems and solutions”: coll. of mater. according to the results of the All-Russian sci. - pract. conf.] (Krasnoyarsk, 02–04 September 2019. Reshetnev Siberian State University of Science and Technology, 2019, pp. 110-112.
29. Pesticide guide 2023. URL: <https://www.Agro-xxi.ru/goshandbook> (accessed 30.07.2023).
30. Usenko N.V. *Derev'ya, kustarniki i liany Dal'nego Vostoka* [Trees, shrubs and lianas of the Far East]. Khabarovsk, Priamurskiye Vedomosti Publ., 2009, 272 p.
31. Ustinova T.S., Plotnikova G.P. Primenenie stimulyatorov pri vyrashchivanii khvoynykh porod [The use of stimulants in the cultivation of conifers]. *Aktual'nye problemy lesnogo kompleksa* [Actual problems of the forest complex], 2006, issue 13, pp. 249-250.
32. Ustinova T.S., Chmurova I.M. Vliyanie preparata Epin-Ekstra na rostovye protsessy sosny obyknovennoy [Effect of Epin-Extra on the growth processes of Scots pine]. *Aktual'nye problemy lesnogo kompleksa* [Actual problems of the forest complex], 2011, issue 28, pp. 153-155.

33. Chilimov A.I., Pentelkin S.K., Pentelkina N.V. Ispol'zovanie stimulyatorov rosta dlya adaptatsii seyantsev eli posle vesennikh zamorozkov [The use of growth stimulants for the adaptation of spruce seedlings after spring frosts] *Lesnoe khozyaystvo* [Forestry], 1996, no. 1, pp. 38-40.
34. Chukarina A.V. Regulyatory rosta i agrokhimikaty, ikh rol' pri vyrashchivanii posadochnogo materiala dlya iskusstvennykh lesov Rostovskoy oblasti [Growth regulators and agrochemicals, their role in growing planting material for artificial forests in the Rostov region]. *Aktual'nye problemy lesnogo kompleksa* [Actual problems of the forest complex], 2014, vol. 39, pp. 99-102.
35. Fraga H.P.F., Vieira L.N., Heringer A.S., Puttkammer C.C., Silveira V., Guerra M.P. DNA methylation and proteome profiles of *Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze embryogenic cultures as affected by plant growth regulators supplementation. *Plant Cell Tiss Organ Cult*, 2016, vol. 125, no. 2, pp. 353-374. <https://doi.org/10.1007/s11240-016-0956-y>
36. Kuneš I., Baláš M., Linda R., Gallo J., Nováková O. Effects of brassinosteroid application on seed germination of Norway spruce, Scots pine, Douglas fir and English oak. *iForest*, 2016, vol. 10, pp. 121-127. <https://doi.org/10.3832/ifer1578-009>
37. Ostroshenko V., Ostroshenko L. Efficiency of the Application of Growth Stimulants Ribav-Extra and Zircon in the Germination of Manchurian Fir (*Abies holophylla* Maxim.) Seeds. *Fundamental and Applied Scientific Research in the Development of Agriculture in the Far East (AFE-2021)*. *AFE 2021. Lecture Notes in Networks and Systems*, 2022, vol. 353, Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-91402-8_71
38. Ostroshenko V.Yu., Ostroshenko L.Yu. Influence of growth stimulants Ribav-Extra and Epin-Extra on the germination of seeds of Khinghan Fir (*Abies nephrolepis* (Trautv.) Maxim.). *Siberian journal of life sciences and agriculture*, 2022, vol. 14, no. 5, pp. 111-133. <https://doi.org/10.12731/2658-6649-2022-14-5-111-133>
39. Truřa A.M., Viman O., Dohotar V.D., Singeorzan S., Truřa P., & Holonec L. The influence of certain types of substrate and biochemical substances in seed germination and plant development of spruce (*Picea abies*). *Bulletin of University of Agricultural Sciences and Veterinary Medicine Cluj-Napoca. Horticulture*, 2020, vol. 77, no. 1, pp. 128-135. <https://doi.org/10.15835/buasvmcn-hort:2020.0010>

Список литературы

1. Алиев Э.В., Сиволапов А.И. Влияние предпосевной обработки семян на всхожесть и рост сеянцев сосны обыкновенной ростовыми веществами // Современные проблемы науки и образования. 2013. № 4. С. 369.

2. Барышникова С.В., Мухина М.А. Влияние комплексных препаратов на рост и развитие семян туи корейской (*Thuja koraiensis* Nakai) // Бюллетень ботанического сада Саратовского государственного университета. 2013. № 11. С. 111-114.
3. Вакуленко В.В. Эпин-экстра и Циркон эффективны на капусте // Картофель и овощи. 2014. № 4. С. 14-15.
4. Газданова И.О., Гериева Ф.Т., Моргоев Т.А. Эффективность применения биостимуляторов «Эпин-экстра» и «Циркон» на посадках картофеля в агроэкологических условиях РСО-Алания // Аграрный вестник Урала. 2020. № 8 (199). С. 2-8. <https://doi.org/10.32417/1997-4868-2020-199-8-2-8>
5. Галдина Т.Е., Шевченко К.В. Оценка влияния биостимуляторов на состояние и качество семян ели европейской (*Picea abies*) [Электронный ресурс] // «Студенческий научный форум»: матер. IV междунар. студ. электрон. науч. конф. (Москва, 15 февраля - 31 марта 2021 г.). Москва: Российская Академия Естествознания, 2012. № 7. URL: <https://www.rae.ru/forum/2012/13/559>
6. Гладышева О.В. Влияние Эпин-Экстра и Циркона на энергию прорастания и лабораторную всхожесть семян некоторых сортов томатов // Научный альманах. 2019. № 2-2 (52). С. 115-118. <https://doi.org/10.17117/na.2019.02.02.115>
7. Гуков Г.В., Острошенко В.В., Морозов С.А., Острошенко Л.Ю. Предпосевная обработка семян хвойных стимуляторами роста // Тр. междунар. форума по проблемам науки, техники и образования. Москва: АНЗ, 2002. С. 75-77.
8. Гуков Г.В., Острошенко В.В., Острошенко Л.Ю. Новая технология восстановления хвойных лесов Дальнего Востока // Лесное хозяйство. 2006. № 4. С. 35-37.
9. Гуков Г.В. Лиственницы и лиственничные леса российского Дальнего Востока. Владивосток: ГТС ДВО РАН, 2009. 350 с.
10. Кабанова С.А., Данченко М.А., Кочегаров И.С., Кабанов А.Н. Опыт интенсивного выращивания однолетних семян сосны обыкновенной в Павлодарской области Республики Казахстан // Известия высших учебных заведений. Лесной журнал. 2019. № 6. С. 104-117. <https://doi.org/10.17238/issn0536-1036.2019.6.104>
11. Кириенко М.А., Гончарова И.А. Влияние концентрации стимуляторов роста на грунтовую всхожесть семян и сохранность семян главных лесобразующих видов средней Сибири // Сибирский лесной журнал. 2016. № 1. С. 39-45. <https://doi.org/10.15372/SJFS20160104>

12. Ларионова Н.А. Применение гормональных веществ для улучшения качества семян и роста сеянцев хвойных пород в Красноярском крае // Лесное хозяйство. 1997. № 6. С. 28-30.
13. Мустаев Ф.А. Эффективность нового стимулятора роста Навруз // Защита и карантин растений. 2008. № 10. С. 28.
14. Никитенко Е.А., Гуль Л.П., Король Л.А. Изучение стимуляторов роста при выращивании посадочного материала дальневосточных древесных пород // Субтропическое и южное садоводство России. 2005. № 38. С. 171.
15. Об утверждении Правил санитарной безопасности в лесах. Постановление Правительства РФ от 9 декабря 2020 г. № 2047. 2020. [Электронный ресурс]. URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_370645/ (дата обращения 05.05.2023 г).
16. Острошенко В.В., Острошенко Л.Ю., Острошенко В.Ю. Влияние корневой подкормки стимуляторами роста одно-двулетних сеянцев пихты почкочешуйной на их дальнейший рост // Вестник КрасГАУ. 2015. № 10. С. 160-167.
17. Острошенко В.Ю., Острошенко Л.Ю. Эффективность применения стимуляторов роста при выращивании сеянцев пихты цельнолистной (*Abies holophylla* Maxim.) // Успехи современного естествознания. 2020. № 4. С. 41-47. <https://doi.org/10.17513/use.37360>
18. Официальный сайт Администрации Приморского края и органов исполнительной власти Приморского края. 2021. [Электронный ресурс]. URL: [https://www.primorsky.ru/authorities/executive-agencies/departments/forestry/folder 2/index.php](https://www.primorsky.ru/authorities/executive-agencies/departments/forestry/folder%202/index.php) (дата обращения: 01.03. 2021).
19. Пентелькин С. К. Применение Агата-25К в лесном хозяйстве // Лесное хозяйство. 2001. № 2. С. 41-43.
20. Пентелькин С.К. Итоги изучения стимуляторов роста и полимеров в лесном хозяйстве за последние 20 лет // Лесохозяйственная информация. 2003. № 11. 20 с.
21. Пентелькина Н.В. Экологически чистые технологии на основе использования стимуляторов роста // Экология, наука, образование, воспитание. 2002. Вып. 3. С. 69-71.
22. Пентелькина Н.В., Пентелькина Ю.С. Стимулирующее действие циркона на рост сеянцев хвойных интродуцентов // Лесной вестник (Forestry bulletin). 2002. №. 2. С. 24-28.
23. Пентелькина Ю.С. Использование стимуляторов роста при выращивании ценного интродуцента // Актуальные проблемы лесного комплекса. 2005. Вып. 10. С. 121-125.

24. Перегудов С.В., Таланова Л.А., Перегудова А.В. Оценка действия препаратов Эпин-Экстра и циркона на рост и продуктивность моркови // Агрохимический вестник. 2010. № 2. С. 30-31.
25. Решетник Г.В., Зайченко О.С. Влияние синтетических регуляторов роста Силиплант и Эпин-Экстра на физиологические параметры озимой пшеницы (*Triticum aestivum* L.) и ячменя (*Hordeum vulgare* L.) на ранних этапах онтогенеза // Биологическая защита растений основа стабилизации агроэкосистем: матер. междунар. науч. - практ. конф. (Краснодар, 11-13 сентября 2018 г.). Краснодар: типография «Гранат», 2018. С. 277-280.
26. Родин С.А., Проказин Н.Е., Казаков В.И., Лобанова Е.Н., Пентелькина Н.В. Оценка целесообразности применения ростовых препаратов при выращивании сеянцев хвойных пород // Леса России: политика, промышленность, наука, образование: матер. второй междунар. науч. - техн. конф. (Санкт-Петербург, 24-26 мая 2017 г.). Санкт-Петербург: Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет им. С.М. Кирова, 2017. С. 134-136.
27. Савченко О.М., Маланкина Е.Л., Козловская Л.Н. Влияние регуляторов роста на прорастание семян лука победного (*Allium victorialis* L.) и лука медвежьего (*Allium ursinum* L.) // Известия ТСХА. 2010. Вып. 6. С. 61-66.
28. Салцевич Ю.В. Применение биопрепаратов при выращивании саженцев ели сибирской в открытом грунте // Лесной и химический комплексы – проблемы и решения: сб. матер. по итогам Всерос. науч. - практ. конф. (Красноярск, 02–04 сентября 2019 г.). Красноярск: Сибирский государственный университет науки и технологий имени академика М.Ф. Решетнева, 2019. С. 110-112.
29. Справочник пестицидов 2023. 2023. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.agroxxi.ru/goshandbook> (дата обращения: 30.07.2023).
30. Усенко Н.В. Деревья, кустарники и лианы Дальнего Востока: справочная книга. 3-е изд., перераб. и доп. Хабаровск: Издательский дом «Приамурские ведомости», 2009. 272 с.
31. Устинова Т.С., Плотнокова Г.П. Применение стимуляторов при выращивании хвойных пород // Актуальные проблемы лесного комплекса. 2006. Вып. 13. С. 249-250.
32. Устинова Т.С., Чмурова И.М. Влияние препарата Эпин-Экстра на ростовые процессы сосны обыкновенной // Актуальные проблемы лесного комплекса. 2011. Вып. 28. С. 153-155.
33. Чилимов А.И., Пентелькин С.К., Пентелькина Н.В. Использование стимуляторов роста для адаптации сеянцев ели после весенних заморозков // Лесное хозяйство. 1996. № 1. С. 38-40.

34. Чукарина А.В. Регуляторы роста и агрохимикаты, их роль при выращивании посадочного материала для искусственных лесов Ростовской области // Актуальные проблемы лесного комплекса. 2014. Вып. 39. С. 99-102.
35. Fraga H.P.F., Vieira L.N., Heringer A.S., Puttkammer C.C., Silveira V., Guerra M.P. DNA methylation and proteome profiles of *Araucaria angustifolia* (Ber-tol.) Kuntze embryogenic cultures as affected by plant growth regulators sup-plementation // Plant Cell Tiss Organ Cult, 2016, vol. 125, no. 2, pp. 353-374. <https://doi.org/10.1007/s11240-016-0956-y>
36. Kuneš I., Baláš M., Linda R., Gallo J., Nováková O. Effects of brassinosteroid application on seed germination of Norway spruce, Scots pine, Douglas fir and English oak // iForest, 2016, vol. 10, pp. 121-127. <https://doi.org/10.3832/ifer1578-009>
37. Ostroshenko V., Ostroshenko L. Efficiency of the Application of Growth Stim-ulants Ribav-Extra and Zircon in the Germination of Manchurian Fir (*Abies holophylla* Maxim.) Seeds // Fundamental and Applied Scientific Research in the Development of Agriculture in the Far East (AFE-2021). AFE 2021. Lecture Notes in Networks and Systems, 2022, vol. 353, Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-91402-8_71
38. Ostroshenko V.Yu., Ostroshenko L.Yu. Influence of growth stimulants Rib-av-Extra and Epin-Extra on the germination of seeds of Khinghan Fir (*Abies nephrolepis* (Trautv.) Maxim.) // Siberian journal of life sciences and agriculture, 2022, vol. 14, no. 5, pp. 111-133. <https://doi.org/10.12731/2658-6649-2022-14-5-111-133>
39. Truța A.M., Viman O., Dohotar V.D., Sîngeorzan S., Truța P., & Holonec L. The influence of certain types of substrate and biochemical substances in seed germi-nation and plant development of spruce (*Picea abies*) // Bulletin of University of Agricultural Sciences and Veterinary Medicine Cluj-Napoca. Horticulture, 2020, vol. 77, no. 1, pp. 128-135. <https://doi.org/10.15835/buasvmcn-hort:2020.0010>

DATA ABOUT THE AUTHORS

Valentina Yu. Ostroshenko, Candidate of Agricultural Sciences, Junior Re-searcher at the Dendrology Laboratory
Federal Scientific Center of the East Asia Terrestrial Biodiversity FEB RAS
159, 100th anniversary of Vladivostok Ave., Vladivostok, 690022, Rus-sian Federation
OstroshenkoV@mail.ru
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1970-9293>

Lyudmila Yu. Ostroshenko, Candidate of Biological Sciences, Associate Professor

*Primorsky State Agrarian-Technological University
44, Blyuhera Ave., Ussuriysk, 692510, Russian Federation
OstroshenkoV@mail.ru
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5379-556X>*

ДАННЫЕ ОБ АВТОРАХ

Острошенко Валентина Юрьевна, кандидат сельскохозяйственных наук, младший научный сотрудник лаборатории дендрологии

*Федеральный научный центр Биоразнообразия наземной биоты
Восточной Азии ДВО РАН
пр. 100-летия Владивостока, 159, г. Владивосток, 690022, Российская Федерация
OstroshenkoV@mail.ru*

Острошенко Людмила Юрьевна, кандидат биологических наук, доцент

*Приморский государственный аграрно-технологический университет
пр. Блюхера, 44, г. Уссурийск, 692510, Российская Федерация
OstroshenkoV@mail.ru*

Поступила 04.09.2023

После рецензирования 23.09.2023

Принята 01.10.2023

Received 04.09.2023

Revised 23.09.2023

Accepted 01.10.2023

ЗДРАВООХРАНЕНИЕ И ПРОФИЛАКТИЧЕСКАЯ МЕДИЦИНА

PUBLIC HEALTH AND PREVENTIVE MEDICINE

DOI: 10.12731/2658-6649-2024-16-2-712

УДК 572.087:571.56



Научная статья

ПОЛОВЫЕ ОСОБЕННОСТИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ПОДКОЖНОЙ ЖИРОВОЙ ТКАНИ У СЛАВЯНСКОГО НАСЕЛЕНИЯ ЯКУТИИ 17-35 ЛЕТ

А.Б. Гурьева, А.А. Осинская

Обоснование. Жировая ткань является одним из активных тканевых компонентов и играет важную роль во многих биологических процессах организма человека. Жировой компонент является достаточно нестабильной структурой тела, его вариабельность связана с двигательной активностью, особенностями пищевого поведения, возрастом, полом, регионом проживания и многими другими факторами.

Цель. Определить топографические, половые особенности распределения подкожно-жировой клетчатки у славянского населения 17-35 лет Якутии.

Материалы и методы. Проведено соматометрическое обследование 259 мужчин-славян и 630 женщин-славян Якутии в возрасте от 17 до 35 лет, постоянно проживающих на территории республики. Были измерены длина тела, масса тела, толщина кожно-жировых складок методом калиперометрии. Полученный материал обработан методом вариационной статистики с использованием пакета прикладных программ SPSS для Windows (версия 22,0). Использованы методы параметрической и непараметрической статистики.

Результаты. Установлено, что преимущественное накопление жировой ткани у лиц обоего пола выявлено в области живота. Определены половые различия в распределении подкожного жира. У мужчин выявлены высокие

значения кожно-жировых складок в области спины, а у женщин в области плеча сзади и голени. Достоверно большие величины всех кожно-жировых складок определены у женщин.

Заключение. Настоящее исследование выявило половые и региональные особенности распределения жировой ткани у славян Якутии 17-35 лет.

Ключевые слова: жировая ткань; мужчины; женщины; Якутия; юношеский возраст; первый период зрелого возраста

Для цитирования. Гурьева А.Б., Осинская А.А. Половые особенности распределения подкожной жировой ткани у славянского населения Якутии 17-35 лет // Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture. 2024. Т. 16, №2. С. 314-327. DOI: 10.12731/2658-6649-2024-16-2-712

Original article

SEXUAL CHARACTERISTICS OF THE DISTRIBUTION OF SUBCUTANEOUS ADIPOSE TISSUE IN THE SLAV POPULATION OF YAKUTIA AGED 17-35 YEARS

A.B. Guryeva, A.A. Osinskaya

Background. Adipose tissue is one of the active tissue components and plays an important role in many biological processes of the human body. The fat component is a rather unstable structure of the body, its variability is associated with motor activity, eating habits, age, sex, region of residence and many other factors.

Purpose. To determine the topographic, sexual characteristics of the distribution of subcutaneous fat in the Slav population of 17-35 years of Yakutia.

Materials and methods. A somatometric examination of 259 Slav men and 630 Slav female of Yakutia aged 17 to 35 years, permanently residing in the territory of the republic, was conducted. Body length, body weight, thickness of skin-fat folds were measured by caliperometry. The obtained material is processed by the method of variation statistics using the SPSS application software package for Windows (version 22.0). Methods of parametric and nonparametric statistics were used.

Results. It was found that the predominant accumulation of adipose tissue in persons of both sexes was revealed in the abdominal area. Sex differences in the distribution of subcutaneous fat were determined. In men, high values of skin-fat folds were found in the back area, and in women in the shoulder area from behind and lower leg. Significantly large values of all skin-fat folds were determined in women.

Conclusion. *The study revealed the sexual and regional features of the distribution of adipose tissue among the Slavs of Yakutia aged 17-35 years.*

Keywords: *adipose tissue; men; women; Yakutia; adolescence; the first period of adulthood*

For citation. *Guryeva A.B., Osinskaya A.A. Sexual Characteristics of the Distribution of Subcutaneous Adipose Tissue in the Slav Population of Yakutia Aged 17-35 Years. Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture, 2024, vol. 16, no. 2, pp. 314-327. DOI: 10.12731/2658-6649-2024-16-2-712*

Введение

В последнее время в научных исследованиях возрастает интерес к морфологическим особенностям жировой ткани [6, 19]. Известно, что жировая ткань является одним из активных тканевых компонентов и играет важную роль во многих биологических процессах организма человека. Жировая ткань представляет собой основное энергетическое депо организма, является коммуникативным звеном метаболических процессов, участвует в регуляции сосудистого тонуса, костного метаболизма, иммунных и эндокринных процессов [2, 4, 5]. Жировой компонент является достаточно нестабильной структурой тела, его вариабельность связана с двигательной активностью, особенностями пищевого поведения, возрастом, полом, регионом проживания и многими другими факторами [1, 12, 15, 16]. В то же время известно, что избыточное количество жировой массы является предиктором развития различных заболеваний, в первую очередь, сердечно-сосудистой и эндокринной патологии [3, 13, 14, 20].

Население Республики Саха (Якутия), находясь в суровых климатогеографических условиях резко континентального климата, подвергается комплексному воздействию природно-климатических, экологических и социально-экономических факторов. В последние десятилетия процессы экономического развития и социальной модернизации государства привели к изменениям традиционного уклада жизни человека на Севере. Малоподвижный образ жизни, качественное изменение рациона питания приводят к существенным изменениям в метаболическом статусе населения и, как следствие, к росту числа сердечно-сосудистой патологии, сахарного диабета, ожирения и других различных заболеваний. Таким образом, настоящее исследование поднимает актуальные вопросы морфологии жировой ткани у современного населения, постоянно проживающего в регионе с экстремальными климато-географическими характеристиками.

Цель исследования: определить топографические, половые особенности распределения подкожно-жировой клетчатки у славянского населения 17-35 лет Якутии.

Материалы и методы исследования

Было проведено соматометрическое обследование 259 мужчин-славян и 630 женщин-славян Республики Саха (Якутия) в возрасте от 17 до 35 лет. Все обследованные родились и постоянно проживали на территории Республики Саха (Якутия).

Этническая принадлежность устанавливалась на основании анкетных данных, внешнего вида, самосознания и отрицания метисации с представителями других этносов на протяжении трех поколений. К славянам были отнесены русские, украинцы, белорусы. Работа проводилась с разрешения этического комитета Якутского научного центра комплексных медицинских проблем Сибирского отделения РАМН и письменного согласия участников исследования. Антропометрические измерения проводились по методике, описанной в пособии В.В. Бунака (1941) [8]. Были измерены длина тела, масса тела, толщина кожно-жировых складок методом калиперометрии с использованием калипера Вереск (ООО «Вереск», Красноярск) [11]. Были проведены измерения кожно-жировых складок плеча спереди, сзади, предплечья, спины, грудной клетки, живота, бедра и голени. Общее количество жировой ткани было определено по методу J. Matiegka [18].

Полученный материал обработан методом вариационной статистики с использованием пакета прикладных программ SPSS для Windows (версия 22,0). Использованы методы параметрической и непараметрической статистики [10]. Проведены корреляционный анализ и центильный анализ. Оценка межгрупповых различий показателей проводилась по U-критерию Mann-Whitney. Значимым считалось различие между сравниваемыми рядами при уровне значимости $p < 0,05$.

Результаты исследования

Среднее значение длины тела у мужчин - славян Якутии 17-35 лет составило 177,70 [169,0; 186,0] см (минимум - 162,0 см, максимум - 195,5 см). Масса тела была равна 67,85 [54,8; 81,3] кг (минимум - 43,0 кг, максимум - 113,0 кг). Показатели толщины кожно-жировых складок мужчин представлены в таблице 1. Анализ толщины кожно-жировых складок определил максимальное их значение в области живота (13,0 [10,0; 27,0] мм) и спины (10,35 [7,0; 12,0] мм).

Таблица 1.

**Показатели толщины кожно-жировых складок мужчин-славян
Якутии 17-35 лет (n=259)**

Кожно-жировая складка, мм	Me [LQ; UQ]	Min	Max
плеча спереди	5,20 [4,1; 8,1]	2,20	15,80
плеча сзади	9,50 [7,3; 11,2]	3,80	28,50
предплечья	6,70 [4,8; 10,2]	2,90	17,80
спины	10,35 [7,0; 12,0]	4,80	26,50
груди	7,00 [5,4; 11,0]	3,00	18,00
живота	13,00 [10,0; 27,0]	3,40	42,6
бедра	9,65 [7,0; 18,3]	3,20	36,00
голени	9,05 [8,0; 15,4]	3,60	24,80

На основании полученных антропометрических параметров были вычислены абсолютные и относительные показатели компонентов тела мужчин: мышечный компонент составил 32,3 [25,3; 38,9] кг (47,4 [38,8; 52,8] %), костный компонент – 11,9 [10,3; 14,2] кг (17,8 [15,9; 18,7] %), жировой - 10,8 [6,1; 17,2] кг (15,2 [11,6; 20,4] %). Жировая масса показала высокую степень корреляции со всеми жировыми складками ($r=0,8-0,92$), при наибольших коэффициентах с жировыми складками живота ($r=0,92$), груди ($r=0,91$), бедра ($r=0,89$).

Антропометрическое обследование женщин показало, что среднее значение длины тела у женщин - славян Якутии 17-35 лет составило 162,15 [157,1; 165,5] см (минимум - 148,7 см, максимум -177,8 см). Масса тела была равна 56,40 [50,0; 64,4] кг (минимум – 37,0 кг, максимум – 98,0 кг). Показатели толщины кожно-жировых складок женщин представлены в таблице 2. Анализ толщины кожно-жировых складок выявил максимальное значение их в области живота (22,00 [17,8; 29,0] мм), плеча сзади (17,00 [14,0; 21,0] мм) и голени (17,00 [13,9; 20,5] мм).

У женщин абсолютные и относительные показатели компонентов тела составили: мышечный компонент - 23,26 [20,9; 25,1] кг (41,22 [37,9; 43,3]%), костный компонент - 8,67 [7,6; 9,4] кг (15,40 [13,4; 16,7] %), жировой - 14,69 [11,4; 19,0] кг (26,33 [21,7; 31,0]%). Жировая масса показала высокую степень корреляции со всеми жировыми складками ($r=0,67-0,90$), при наибольших коэффициентах с жировыми складками спины ($r=0,90$), плеча спереди ($r=0,83$) и живота ($r=0,79$).

Проведено изучение половых различий толщины кожно-жировых складок женщин и мужчин с разной степенью развития жирового компонента

тела. Для этого в обеих половых группах был проведен центильный анализ относительного количества жировой массы тела.

Таблица 2.

**Показатели толщины кожно-жировых складок женщин-славян
Якутии 17-35 лет (n=630)**

Кожно-жировая складка, мм	Me [LQ;UQ]	Min	Max
плеча спереди	8,40 [6,3; 12,0]	3,20	27,00
плеча сзади	17,00 [14,0; 21,0]	2,00	37,00
предплечья	9,00 [7,0; 11,8]	3,40	23,00
спины	14,15 [11,0; 20,5]	5,00	40,00
груды	8,95 [6,4; 11,2]	2,40	23,00
живота	22,00 [17,8; 29,0]	5,00	60,00
бедра	15,00 [11,0; 19,0]	3,13	31,20
голени	17,00 [13,9; 20,5]	5,50	33,00

Значения жирового компонента, расположенные в интервале с 25 по 75 центили (от 11,6 до 20,4% у мужчин; от 21,7 до 31,0% у женщин), были приняты за «средние». Лица с величиной относительной массы жира, расположенной в интервале до 25 центиля (ниже среднего), объединены нами в группу 1. Лица со «средним» процентом жира составили группу 2. Лица с количеством жира в интервале выше 75 центиля (выше среднего) объединены в группу 3. Полученные значения кожно-жировых складок представлены в таблице 3.

Таблица 3.

**Показатели толщины кожно-жировых складок славян Якутии 17-35 лет
в зависимости от относительной массы жировой ткани (Me [LQ; UQ])**

	Мужчины			Женщины		
	Группа 1 (n=65)	Группа 2 (n=129)	Группа 3 (n=65)	Группа 1 (n=157)	Группа 2 (n=316)	Группа 3 (n=157)
Кожно-жировая складка, мм						
плеча спереди	4,9 [3,3; 5,2]	5,1 [4,9; 7,0]	12,0 [10,7; 14,6]	5,7 [4,6; 6,9]	8,4 [7,0; 11,1]	15,0 [11,9; 18,0]
плеча сзади	7,4 [5,0; 9,0]	9,5 [8,5; 10,2]	17,8 [15,1; 26,4]	13,5 [11,0; 15,1]	17,0 [14,8; 19,6]	26,0 [20,2; 30,0]
предплечья	5,2 [4,0; 6,4]	6,7 [5,9; 9,2]	10,6 [9,7; 16,0]	6,5 [5,1; 7,4]	9,0 [7,0; 10,4]	12,8 [10,3; 15,0]

спины	8,6 [6,6; 9,0]	10,3 [8,5; 12,3]	19,7 [17,2; 24,4]	9,5 [7,6; 11,1]	14,2 [12,6; 17,6]	22,0 [20,0; 29,0]
грудь	5,1 [4,8; 5,9]	7,0 [6,5; 9,0]	10,5 [9,1; 17,0]	6,0 [5,0; 7,0]	9,0 [7,0; 9,0]	13,0 [10,0; 16,0]
живота	11,0 [6,0; 12,0]	13,0 [12,0; 25,0]	30,0 [28,4; 37,7]	15,0 [11,5; 19,0]	22,2 [19,4; 27,0]	36,0 [30,0; 40,0]
бедра	7,5 [6,5; 10,0]	9,6 [8,0; 16,5]	15,7 [13,8; 22,0]	9,0 [7,0; 12,0]	16,3 [13,0; 19,0]	20,0 [15,5; 24,0]
голень	8,0 [7,0; 8,5]	9,0 [8,3; 12,2]	16,0 [15,0; 21,2]	13,0 [10,5; 14,6]	16,4 [14,8; 19,4]	23,0 [20,0; 27,1]

Обсуждение

Анализ полученных результатов позволил установить топографические особенности распределения подкожно-жировой клетчатки у мужчин и женщин юношеского и I периода зрелого возраста славянской национальности, постоянно проживающих в Якутии. Преимущественно накопление жировой ткани у лиц обоего пола выявлено в области живота, что подтверждает данные других исследователей [6, 9, 17]. Однако определены половые различия в распределении подкожного жира. Так, у мужчин выявлены высокие значения кожно-жировых складок в области спины, а у женщин в области плеча сзади и голени. По данным Деревцовой С.Н. с соавторами [7] у лиц андроморфного типа телосложения независимо от пола преобладает накопление жировой ткани на туловище, а у представителей гинекоморфного типа - в области бедер и ягодиц. В нашем исследовании распределение жира у мужчин-славян Якутии 17-35 лет соответствует характеристике зональности жировой ткани у андроморфов. В то же время характер распределения подкожного жира у женщин-славянок, постоянно проживающих в Якутии, имеет особенности. В сравнении с аналогичными исследованиями женщин-славянок Красноярска установлены более высокие значения толщины подкожно-жировых складок в области голени, при аналогичных показателях в других областях тела [6].

Сравнение показателей толщины кожно-жировых складок у мужчин и женщин Якутии выявило, что достоверно большие величины всех складок определены у женщин (рис. 1). Полученные половые различия объясняются метаболическими и эндокринными особенностями женского организма.

**Рис. 1.**

Анализ половых различий распределения подкожно-жировой ткани женщин и мужчин 17-35 лет с разной степенью развития жирового компонента показала, что во всех выделенных по относительному количеству жира группах («ниже среднего», «среднее» и «выше среднего») большие величины кожно-жировых складок регистрировались у женщин. Независимо от степени развития жирового компонента максимальные накопления подкожного жира у лиц обоего пола регистрировались в области живота. В обследованной когорте лиц (славян Якутии 17-35 лет) вне зависимости от процента жирового компонента тела распределение подкожного жира имело половые особенности - у мужчин высокие значения кожно-жировых складок фиксировались в области спины, а у женщин - в области плеча сзади и голени.

Заключение

Настоящее исследование выявило половые и региональные особенности распределения жировой ткани у славян Якутии 17 – 35 лет. Топографическая картина подкожно-жировой ткани показала, что максимальные накопления у лиц обоего пола регистрировались в области живота. В то же время выявлены половые различия в распределении подкожного жира. У мужчин высокие значения кожно-жировых складок фиксировались в области спины, а у женщин - в области плеча сзади и голени. При рассмотрении толщины кожно-жировых складок в зависимости от пола, установлены

достоверно большие величины у женщин. Представленное распределение подкожного жира у лиц данной этно-возрастной группы Якутии не имело зависимости от степени развития жировой ткани.

Корреляционный анализ показал наличие половых особенностей корреляционных связей жировой массы тела с величиной жировых складок. У мужчин наибольший коэффициент корреляции был выявлен с жировыми складками живота, груди, бедра, у женщин - с жировыми складками спины, плеча спереди и живота, что связано с физиологическими особенностями женского организма.

Таким образом, нами установлены особенности распределения подкожно-жировой ткани у славянского населения Якутии юношеского и первого зрелого возраста, что подтверждает крайнюю необходимость более детального исследования возрастных, половых, этнических, региональных и конституциональных особенностей жировой ткани, как биологически активного компонента организма, так и предиктора многих заболеваний.

Заключение комитета по этике. Исследование было проведено в соответствии с принципами положения Хельсинкской декларации Всемирной медицинской ассоциации.

Информированное согласие. Информированное согласие было получено от всех субъектов, участвовавших в исследовании.

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

Информация о спонсорстве. Исследование не имело спонсорской поддержки.

Список литературы

1. Алексеева В.А., Гурьева А.Б. Соматометрические особенности физического развития мужчин якутов по индексу Rees-Eisenck // Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture. 2022. Т. 14. № 2. С. 91-103. <https://doi.org/10.12731/2658-6649-2022-14-2-91-103>
2. Анисимова А.В. К вопросу об использовании формул Матейки для определения жировой компоненты массы тела. Методические рекомендации (краткое сообщение) // Вестник Московского университета. Серия 23: Антропология. 2021. № 3. С. 27-32. <https://doi.org/10.32521/2074-8132.2021.3.027-032>
3. Брель Н.К., Коков А.Н., Груздева О.В. Достоинства и ограничения различных методов диагностики висцерального ожирения // Ожирение и метаболизм. 2018. Т.15, №4. С. 3-8. <https://doi.org/10.14341/omet9510>

4. Козловский А.Ю., Спиридонова В.В., Торопова А.Р. и др. Исследование индекса массы тела, доли жировой ткани и количества жировой ткани у студентов ТГМУ // Тверской медицинский журнал. 2018. 6. С. 73-74.
5. Кретов А.А. Анализ характера и топографии подкожного жиротложения у студенческой молодежи женского пола г. Луганска // Морфологический альманах имени В.Г. Ковешникова. 2020. Т. 18. № 3. С. 44-47.
6. Медведева Н.Н. Подкожная основа тела человека: половые, конституциональные и этнические особенности на различных уровнях ее организации: монография /Н.Н. Медведева, С.Н. Деревцова, Л.В. Синдеева и [др.]. Красноярск: КрасГМУ, 2022. 121 с.
7. Медведева Н.Н., Деревцова С.Н., Романенко А.А. Конституциональные и топографические особенности жировой ткани у лиц юношеского возраста // Забайкальский медицинский вестник. 2022. № 2. С. 16-23. https://doi.org/10.52485/19986173_2022_2_16
8. Николаев В.Г. Очерки интегративной антропологии: монография / В. Г. Николаев, Н. Н. Медведева, В. Н. Николenco [и др.]; отв. ред. В. Г. Николаев. Красноярск: КрасГМУ, 2015. 326 с.
9. Пашкова И.Г. Половые различия возрастных изменений состава тела у взрослого населения республики Карелия // Фундаментальные исследования. 2014. № 7-1. С. 149-153.
10. Петри А. Наглядная медицинская статистика / А. Петри, К. Сэбин. М.: ГЭОТАР-Медиа, 2015. 216 с.
11. Руднев С.Г., Анисимова А.В., Синдеева Л.В. и др. Методические вопросы изучения вариаций подкожного жира: сравнение различных типов калиперов //Вестник Московского ун-та. Серия 23: Антропология. 2017. № 3. С. 4-26.
12. Худяков С.А., Нестеренко А.О., Целых Е.Д. Определение взаимосвязи толщины кожно-жировых складок, рациона питания с состоянием здоровья подростков Хабаровского края // Научно-техническое и экономическое сотрудничество стран АТР в XXI веке. 2021. Т. 2. С. 184-189.
13. Чумакова Г.А., Кузнецова Т.Ю., Дружилов М.А. и др. Висцеральное ожирение как глобальный фактор серд.-сосуд. риска // Российский кардиологический журнал. 2018. №5. С. 7-14. <https://doi.org/10.15829/1560-4071-2018-5-7-14>
14. Шепелькевич А.П., Лобашова В.Л. Особенности распределения жирового компонента тела у пациентов с сахарным диабетом 2-го типа и избыточной массой тела // Медицинский журнал. 2020. № 1. С. 133-138.
15. Ackland T.R., Lohman T.G., Sundgot-Borgen J., Maughan R.J., Meyer N.L., Stewart A.D., Muller W. Current status of body composition in sport // Sports Medicine, 2012. Vol. 42. N 3. P. 227-249. <https://doi.org/10.2165/11597140-000000000-00000>

16. Kraemer W.J., Caldwell L.K., Post E.M. et.al. Body composition in elite strongman competitors // *Journal of Strength and Conditioning Research*. 2020. T. 34. № 12. C. 3326-3330. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000003763>
17. Marrodan M.D., de Espinosa M.G.M., Herraez A., Alfaro E.L., et al. Development of subcutaneous fat in Spanish and Latin American children and adolescents: Reference values for biceps, triceps, subscapular and suprailiac skinfolds // *HOMO - Journal of Comparative Human Biology*, 2017. Vol. 68. N 2. P. 145-155. <https://doi.org/10.1016/j.jchb.2017.02.003>
18. Matiegka J. The testing of physical efficiency // *Am. J. Phys. Anthropol.* 1921. Vol. 4(3). 223-230. <https://doi.org/10.1002/ajpa.1330040302>.
19. Sedlak, P., Pärizková, J., Samešová, D., Musálek, M., Dvůřek, H., et.al. Secular Changes in Body Build and Body Composition in Czech Preschool Children in the Context of Latent Obesity // *Children*. 2021. Vol. 8 (1), 12. <https://doi.org/10.3390/children8010018>
20. Wolfs D., Lynes M.D., Tseng Y.-H., Brown et.al. Fat-activating lipokine 12,13-dihomo in human milk is associated with infant adiposity // *Journal of Clinical Endocrinology and Metabolism*. 2021. T. 106. № 2. C. E943-E956. <https://doi.org/10.1210/clinem/dgaa799>

References

1. Alekseeva V.A., Gur'eva A.B. Somatometricheskie osobennosti fizicheskogo razvitiya muzhchin yakutov po indeksu Rees-Eisenck [Somatometric features of physical development of Yakut men according to the Rees-Eysenck index]. *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture* [Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture], 2022, vol. 14, no. 2, pp. 91-103. <https://doi.org/10.12731/2658-6649-2022-14-2-91-103>
2. Anisimova A.V. K Voprosu ob ispol'zovanii formul Matejki dlya opredeleniya zhirovoy komponenty massy tela. Metodicheskie rekomendacii (kratkoe soobshchenie) [On the use of Mateyka formulas for determining the fat component of body weight. Methodological recommendations (short message)]. *Vestnik Moskovskogo universiteta. Seriya 23: Antropologiya*. [Bulletin of the Moscow University. Episode 23: Anthropology], 2021, no. 3, pp. 27-32. <https://doi.org/10.32521/2074-8132.2021.3.027-032>
3. Brel' N.K., Kokov A.N., Gruzdeva O.V. Dostoinstva i ogranicheniya razlichnykh metodov diagnostiki visceral'nogo ozhireniya [Advantages and limitations of various methods of diagnosis of visceral obesity]. *Ozhirenie i metabolizm* [Obesity and Metabolism], 2018, vol. 15, no. 4, pp. 3-8. <https://doi.org/10.14341/omet9510>
4. Kozlovskij A.YU., Spiridonova V.V., Toropova A.R. i dr. Issledovanie indeksa massy tela, doli zhirovoy tkani i kolichestva zhirovoy tkani u studentov TGMU

- [The study of body mass index, the proportion of adipose tissue and the amount of adipose tissue in students of TSMU]. *Tverskoj medicinskij zhurnal* [Tver Medical Journal], 2018, no. 6, pp.73-74.
5. Kretov A.A. Analiz haraktera i topografii podkozhnogo zhirootlozheniya u studencheskoj molodezhi zhenskogo pola g. Luganska [Analysis of the nature and topography of subcutaneous fat deposition in female students of Lugansk]. *Morfologicheskij al'manah imeni V.G. Koveshnikova* [Morphological Almanac named after V.G. Koveshnikov], 2020, vol. 18, no. 3, pp. 44-47.
 6. Medvedeva N.N., Derevcova S.N., Sindeeva L.V., et al. *Podkozhnaya osnova tela cheloveka: polovye, konstitucional'nye i etnicheskie osobennosti na razlichnyh urovnjah ee organizacii* [Subcutaneous basis of the human body: sexual, constitutional and ethnic features at various levels of its organization: monograph]. Krasnoyarsk: KrasSMU, 2022, 121 p.
 7. Medvedeva N.N., Derevcova S.N., Romanenko A.A. Konstitucional'nye i topograficheskie osobennosti zhirovoj tkani u lic yunosheskogo vozrasta [Constitutional and topographic features of adipose tissue in young people]. *Zabaikal'skij medicinskij vestnik* [Zabaikalsky Medical Bulletin], 2022, no. 2, pp. 16-23. https://doi.org/10.52485/19986173_2022_2_16
 8. Nikolaev V.G., Medvedeva N. N., Nikolenko V. N., et al. *Ocherki integrativnoj antropologii* [Essays on integrative anthropology] Krasnoyarsk: KrasSMU, 2015, 326 p.
 9. Pashkova I.G. Polovye razlichiya vozrastnyh izmenenij sostava tela u vzroslogo naseleniya respubliki Kareliya [Sex differences of age-related changes in body composition in the adult population of the Republic of Karelia]. *Fundamental'nye issledovaniya* [Fundamental research], 2014, no. 7-1, pp. 149-153.
 10. Petri A., Sebin K. *Naglyadnaya medicinskaya statistika* [Visual medical statistics]. Moscow: GEOTAR-Media, 2015, 216 p.
 11. Rudnev S.G., Anisimova A.V., Sindeeva L.V., et al. Metodicheskie voprosy izucheniya variacij podkozhnogo zhira: sravnenie razlichnyh tipov kaliperov [Methodological issues of studying subcutaneous fat variations: comparison of different types of calipers]. *Vestnik Moskovskogo universiteta. Seriya 23: Antropologiya* [Bulletin of the Moscow University. Episode 23: Anthropology], 2017, no. 3, pp. 4-26.
 12. Hudyakov S.A., Nesterenko A.O., Celyh E.D. Opredelenie vzaimosvyazi tolshchiny kozhno-zhirovyyh skladok, racionalnogo pitaniya s sostoyaniem zdorov'ya podrostkov Habarovskogo kraja [Determination of the relationship between the thickness of skin-fat folds, diet and the health status of adolescents of the Khabarovsk Territory]. *Nauchno-tehnicheskoe i ekonomicheskoe sotrudnichestvo stran ATR v XXI veke* [Scientific, technical and economic cooperation of the Asia-Pacific countries in the XXI century], 2021, vol. 2, pp. 184-189.

13. Chumakova G.A., Kuznecova T.YU., Druzhilov M.A., et al. Visceral'noe ozhirenie kak global'nyj faktor serdechno-sosudistogo riska [Visceral obesity as a global factor of cardiovascular risk]. *Rossijskij kardiologicheskij zhurnal* [Russian Journal of Cardiology], 2018, no. 5, pp. 7-14. <https://doi.org/10.15829/1560-4071-2018-5-7-14>
14. Shepel'kevich A.P., Lobashova V.L. Osobennosti raspredeleniya zhirovogo komponenta tela u pacientov s saharnym diabetom 2-go tipa i izbytočnoj massoj tela [Features of the distribution of the fat component of the body in patients with type 2 diabetes mellitus and overweight]. *Medicinskij zhurnal* [Medical journal], 2020, no. 1, pp. 133-138.
15. Ackland T.R., Lohman T.G., Sundgot-Borgen J., Maughan R.J., Meyer N.L., Stewart A.D., Muller W. Current status of body composition in sport. *Sports Medicine*, 2012, vol. 42, no. 3, pp. 227-249. <https://doi.org/10.2165/11597140-000000000-00000>
16. Kraemer W.J., Caldwell L.K., Post E.M. et.al. Body composition in elite strongman competitors. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 2020, vol. 34, no. 12, pp. 3326-3330. <https://doi.org/10.1519/JSC.00000000000003763>
17. Marrodan M.D., de Espinosa M.G.M., Herraes A., Alfaro E.L., et al. Development of subcutaneous fat in Spanish and Latin American children and adolescents: Reference values for biceps, triceps, subscapular and suprailiac skinfolds. *HOMO - Journal of Comparative Human Biology*, 2017, vol. 68, no. 2, pp. 145-155. <https://doi.org/10.1016/j.jchb.2017.02.003>
18. Matiegka J. The testing of physical efficiency. *Am. J. Phys. Anthropol*, 1921, no. 4(3), pp. 223-230. <https://doi.org/10.1002/ajpa.1330040302>
19. Sedlak, P., Pärizková, J., Samešová, D., Musálek, M., Dvůřkov6, H., et.al. Secular Changes in Body Build and Body Composition in Czech Pre-school Children in the Context of Latent Obesity. *Children*, 2021, no. 8 (18), pp. 12. <https://doi.org/10.3390/children8010018>
20. Wolfs D., Lynes M.D., Tseng Y.-H., Brown et.al. Fat-activating lipokine 12,13-dihome in human milk is associated with infant adiposity. *Journal of Clinical Endocrinology and Metabolism*, 2021, vol. 106, no. 2, pp. E943-E956. <https://doi.org/10.1210/clinem/dgaa799>

ВКЛАД АВТОРОВ

Все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку статьи для публикации.

AUTHOR CONTRIBUTIONS

The authors contributed equally to this article.

ДАННЫЕ ОБ АВТОРАХ

Гурьева Алла Борисовна, доктор мед. наук, доцент, профессор кафедры «Анатомия человека» медицинского института
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Северо-Восточный федеральный университет имени М.К. Аммосова»
ул. Ойунского, 27, г. Якутск, 677013, Российская Федерация
guryevaab@mail.ru

Осинская Алена Александровна, канд. мед. наук, доцент, доцент кафедры «Анатомия человека» медицинского института
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Северо-Восточный федеральный университет имени М.К. Аммосова»
ул. Ойунского, 27, г. Якутск, 677013, Российская Федерация
osin_alen@mail.ru

DATA ABOUT THE AUTHORS

Alla B. Guryeva, Dr. of Med. Sc., Prof. of the department Human Anatomy, Medical Institute
Northeastern Federal University named after M.K. Ammosov
27, Oyunskogo Str., Yakutsk, 677013, Russian Federation
guryevaab@mail.ru
SPIN-code: 7858-1241
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2398-0542>
ResearcherID: AAO-7824-2020
Scopus Author ID: 57191520643

Alena A. Osinskaya, Cand. of Med. Sc., Asc. Prof. of the department Human Anatomy, Medical Institute
Northeastern Federal University named after M.K. Ammosov
27, Oyunskogo Str., Yakutsk, 677013, Russian Federation
osin_alen@mail.ru
SPIN-code: 1170-6689
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4926-6232>
ResearcherID: AAO-7592-2020

Поступила 14.06.2023

После рецензирования 10.08.2023

Принята 18.09.2023

Received 14.06.2023

Revised 10.08.2023

Accepted 18.09.2023

DOI: 10.12731/2658-6649-2024-16-2-830

УДК 613.6



Научная статья

РОЛЬ ХРОНИЧЕСКОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ ДИОКСИНОВ В ФОРМИРОВАНИИ ЖИРОВОЙ ДЕГЕНЕРАЦИИ ПЕЧЕНИ У ПОЖАРНЫХ

*В.Ю. Гацура, Л.Е. Дерягина, Е.Г. Сухотерина,
В.Л. Рейнюк, А.О. Пятибрат, Е.Д. Пятибрат*

Профессия пожарных характеризуется воздействием ряда опасных факторов, в том числе и токсичных продуктов горения, что в настоящее время не учитывается медицинской службой и подразделениями медико-психологического сопровождения. Для повышения эффективности мероприятий, направленных на профилактику неинфекционных заболеваний, защиту здоровья и повышение профессионального долголетия пожарных, необходимо учитывать влияние вредных профессиональных факторов, оказывающих влияние на формирование различной патологии.

***Цель исследования** заключается в определении лабораторных показателей, характеризующих токсическую этиологию формирования жировой дегенерации печени у пожарных.*

***Материалы и методы.** Для определения особенностей патогенеза неалкогольной жировой болезни печени были обследованы 246 пациентов мужчин, страдающих и не страдающих жировой дегенерацией печени. Поставленные задачи решались с помощью анализа результатов, полученных с помощью токсикологических, биохимических, и иммунологических методик.*

Определены лабораторные маркеры жировой дегенерации печени. Выявлены особенности регуляции системы иммунитета у сотрудников ГПС ФПС МЧС России, страдающих жировой дегенерацией печени.

***Выводы.** Выявлены разнонаправленные изменения инструментальных, биохимических и иммунологических показателей у пожарных, страдающих жировой дегенерацией печени по сравнению с группой контроля с такой же патологией, свидетельствующие об особенностях нарушения гомеостаза, что определяет отличие патогенеза, обусловленного хроническим токсическим поражением продуктами горения.*

Ключевые слова: токсичные продукты горения; диоксины; микробиота; дисбактериоз; иммунный статус; жировая дегенерация печени; патогенез; пожарные

Для цитирования. Гацура В.Ю., Дерягина Л.Е., Сухотерина Е.Г., Рейнюк В.Л., Пятибрат А.О., Пятибрат Е.Д. Роль хронического воздействия диоксинов в формировании жировой дегенерации печени у пожарных // *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*. 2024. Т. 16, №2. С. 328-348. DOI: 10.12731/2658-6649-2024-16-2-830

Original article

FEATURES OF THE FORMATION OF FATTY LIVER DEGENERATION IN CHRONIC EXPOSURE TO TOXIC FIRE PRODUCTS IN FIREFIGHTERS

V.Y. Gatsura, L.E. Deryagina, E.G. Sukhoterina,
V.L. Reynyuk, A.O. Pyatibrat, E.D. Pyatibrat

Background. The profession of firefighters is characterized by the impact of a number of dangerous factors, including toxic fire products, which is currently not taken into account by the medical service and medical and psychological support units. To increase the effectiveness of measures aimed at preventing non-communicable diseases, protecting the health and improving the professional longevity of firefighters, it is necessary to take into account the influence of harmful professional factors that influence the formation of various pathologies.

Intention of the study: to determine laboratory parameters characterizing the toxic etiology of the formation of fatty liver degeneration in firefighters.

Methodology. To determine the features of the pathogenesis of non-alcoholic fatty liver disease, 246 male patients suffering and not suffering from fatty liver degeneration were examined. The tasks were solved by analyzing the results obtained using toxicological, biochemical, and immunological techniques.

Results and Discussion. Laboratory markers of fatty liver degeneration have been determined. The peculiarities of the regulation of the immune system in employees of the GPS FPS of the Ministry of Emergency Situations of Russia suffering from fatty liver degeneration have been revealed.

Conclusions. Multidirectional changes in instrumental, biochemical and immunological parameters were revealed in firefighters suffering from fatty liver degeneration compared to the control group with the same pathology, indicating

the peculiarities of homeostasis disorders, which determines the difference in pathogenesis caused by chronic toxic damage by fire products.

Keywords: *fire toxic products; dioxins; microbiota; dysbiosis; immune status; fatty liver degeneration; pathogenesis; firefighters*

For citation. *Gatsura V.Y., Deryagina L.E., Sukhoterina E.G., Reynyuk V.L., Pyatibrat A.O., Pyatibrat E.D. Features of the Formation of Fatty Liver Degeneration in Chronic Exposure to Toxic Fire Products in Firefighters. Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture, 2024, vol. 16, no. 2, pp. 328-348. DOI: 10.12731/2658-6649-2024-16-2-830*

Введение

В составе дыма содержится огромное количество токсичных для биологических систем и организмов компонентов. Наиболее опасные продукты образуются при горении полимерных материалов, широко используемых в отделке жилых, бытовых и промышленных помещений. К наиболее токсичным компонентам горения полимеров при пожарах, относят монооксид углерода, циановодород, хлороводород, оксиды азота и др. [6] Продукты горения с выраженным кумулятивным эффектом, к которым относят диоксины и диоксиноподобные вещества, наиболее опасны и незаметны, они способны долгое время без видимых клинических проявлений вызывать хроническую интоксикацию [11, 15]. Диоксины – собирательное название множества конгенов представленных полихлорированными, полибромированными ароматическими соединениями, дибензодиоксинами, дибензофуранами, полихлорированными бифенилами и др. Профессиональная деятельность пожарных сопровождается частыми и длительными контактами с продуктами горения, прежде всего с диоксинами, обладающими кумулятивным эффектом, что обуславливает ряд патогенетических особенностей в формировании неинфекционных заболеваний [16, 18].

Результаты анализа заболеваемости пожарных как лиц на протяжении длительного времени контактирующих с со стойкими органическими загрязнителями в составе токсических продуктов горения, представленные профессором В.И. Евдокимовым, свидетельствуют, что заболеваемость пожарных отличается по структуре от средних значений в популяции. Так в отличие от популяционных данных, где преобладают сердечно-сосудистые заболевания у пожарных первое место, с большим отрывом, занимают заболевания желудочно-кишечного тракта, четверть из которых приходится на неалкогольную жировую болезнь печени [7, 19]. Большинство острых отравлений и интоксикаций организма в первую очередь сопровождаются

поражением печени, так как гепатобилиарная система непосредственно обеспечивает детоксикационную функцию [1]. Поражение печени сопровождается как правило нарушением обмена жирорастворимых витаминов, порфиринового обмена и регуляции инсулина [5].

При медицинском сопровождении профессиональной деятельности пожарных в настоящее время не учитывается воздействие токсических продуктов горения. Основные сведения о хронической интоксикации поступают из лечебно-профилактических учреждений после обращений по поводу острых отравлений, что определяет актуальность задачи по выявлению содержания веществ, обладающий кумулятивным эффектом в тканях организма пожарных. Свойствами высокой кумуляции и длительного периода выведения обладают диоксины и диоксиноподобные вещества, содержащиеся в составе продуктов горения [10]. Результаты анализа представленных материалов диспансеризации ФГБУ ВЦЭРМ им. А.М. Никифорова МЧС России свидетельствуют о более высокой частоте заболеваний печени у пожарных, в отличие от средних популяционных данных [9]. Благодаря высокой активности ферментов биотрансформации печень выступает первым барьером на пути детоксикации диоксинов [17]. Поэтому длительная интоксикация проявляется ее жировым перерождением [4]. С формированием этой патологии печени связаны нарушения регуляции и обмена жирорастворимых витаминов, порфиринов и инсулина [13, 20, 22]. В процессе формирования заболеваний печени при хроническом отравлении диоксинами, большой весовой вклад вносит иммуносупрессия, проявляющаяся в снижении уровней IgM, IgA и IgG, подавлении реакции бласттрансформации лимфоцитов и фагоцитарной активности макрофагов [21].

В настоящее время работы, посвященные влиянию токсикантов образующихся при пожарах на организм человека в полной мере, не раскрывают механизмы биологического отклика отдельно взятых органов и систем [2]. Некоторые исследователи, оценивая состав токсичных продуктов горения и его влияние на регуляторные системы организма не учитывают в своих работах, клинические проявления интоксикации [3, 8].

В связи с вышеизложенным исследования, направленные на определение лабораторных маркеров свидетельствующих о токсикологической этиологии заболеваний печени у пожарных безусловно актуально.

Цель исследования заключается в определении лабораторных показателей, характеризующих токсическую этиологию формирования жировой дегенерации печени у пожарных.

Материалы и методы

В исследовании приняли участие 246 мужчин. Из них у 128 была верифицирована жировая дегенерация печени, а 118 человек не страдали заболеваниями системы пищеварения. Среди обследованных 121 человек представлены сотрудниками Государственной противопожарной службы Федеральной противопожарной службы (ГПС ФПС) МЧС России, принимающих непосредственное участие в пожаротушении из них 63 человека страдали жировой дегенерацией печени и 58 не имели заболеваний системы пищеварения и 125 человек не подвергавшихся хроническому воздействию продуктов горения, представленные гражданскими лицами и спасателями МЧС России, из них 65 человек с жировой дегенерацией печени и 60 человек без болезней желудочно-кишечного тракта. Средний возраст обследуемых составил $38,5 \pm 7,5$ лет. При этом стаж профессиональной деятельности по пожаротушению у обследуемых пожарных был не менее 5 лет. Исследование проводилось в соответствии с этическими стандартами, разработанными на основании Хельсинской декларации Всемирной медицинской ассоциации «Этические принципы проведения научных медицинских исследований с участием человека» и «Правилами клинической практики в Российской Федерации», утвержденными Приказом Минздрава РФ от 19.06.2003 г. № 266. Все участники подписали информированное согласие и были подробно ознакомлены с целью исследования.

Диагноз и клиническую степень выраженности жировой дегенерации печени определяли по Бацкову [4].

Определение лабораторных показателей (ALT – аланиновая трансаминаза, ЕД/л; AST – аспарагиновая трансаминаза, ЕД/л; GLU – глюкоза, ммоль/л; Ins – инсулин, мЕд/л; TRIG – триглицериды, ммоль/л; CHOL – холестерин, ммоль/л; HDL – липопротеины низкой плотности, ммоль/л; LDL – липопротеины высокой плотности, ммоль/л; КА – коэффициент атерогенности) проводилось на биохимическом анализаторе *Konelab 30i* (Финляндия). Индекс массы тела и индекс инсулинорезистентности (HOMA-IR) определялись расчетными методами.

$\text{HOMA-IR} = \text{гликемия натощак (ммоль / л)} \times \text{инсулин (мкЕд / мл)} / 22,5$.
где HOMA-IR — индекс инсулинорезистентности HOMA.

Количество и фракции лимфоцитов определяли с помощью проточного цитометра (CYTOMICS FC 500 Navios, Beckman-Coulter, США). Определение иммуноглобулинов проводили на биохимическом анализаторе (Unicel DXC 600, Beckman-Coulter, США)

Концентрацию диоксинов липидов крови определяли хромато-масс-спектрометрией высокого разрешения (Finnigan MAT 95 XP – Hewlett-Packard HP 6890 Plus (на колонках фирмы Phenomenex Zebron – ZB-5 (5 % – фенил, 95 % – диметил-полисилоксан)

Статистический анализ результатов был выполнен в программе Statistica 10 (StatSoft. Inc. 1984-2011). По всем исследуемым показателям рассчитана нормальность распределения их значений в выборочных совокупностях с помощью критерия Колмогорова–Смирнова. Полученные результаты указывали на нормальное распределение значений исследуемых показателей, что послужило основанием для использования параметрических методов статистики для последующего анализа данных. Результаты представлены в виде среднего арифметического – $\bar{M}$ и стандартной ошибки средней – m . Для сравнения между группами использовали t -критерий Стьюдента для независимых выборок. Различия считались статистически значимыми при $p < 0,05$.

Результаты исследования

Оценка концентрации диоксинов липидов крови, свидетельствует, что все обследуемые пожарные имели концентрацию диоксинов липидов крови более 300 пг/г липидов, а в контрольной группе концентрация диоксинов липидов крови не превышала 55 пг/г липидов.

В соответствии с критерием WHO–TEQ содержание диоксинов в липидах сыворотки крови сотрудников ФПС МЧС России, страдающих жировой дегенерацией печени, определялось как $568,3 \pm 31,5$ пг/г липидов, в то время как у больных других профессий в 16 раз меньше, $48,3 \pm 2,8$ пг/г липидов, в группах без патологии пищеварительного тракта и печени диоксины определялись у пожарных $468,7 \pm 27,2$ пг/г липидов, а у лиц других профессий, не болеющих жировой дегенерацией печени, $43,6 \pm 2,9$ [9].

Особенности биохимических показателей крови в группах сравнения представлены в таблице 1.

Показатели биохимического анализа крови свидетельствуют о более низкой концентрации глюкозы у пожарных с жировой дегенерацией печени относительно лиц других специальностей с таким же диагнозом. Показатели аланинаминотрансферазы (АлАт) у больных пожарных выше, чем у больных контрольной группы, что свидетельствует о большем поражении печени. В тоже время концентрация инсулина и соответственно показатели индекс ИР достоверно ниже в группе больных пожарных, что свидетельствует у них о менее выраженной инсулинорезистентности.

Таблица 1.

Биохимические показатели крови в группах сравнения (М±m)

Показатель	Жировая дегенерация печени, n=128		Не страдающие болезнями ЖКТ, n=118	
	Пожарные, n=63	Контроль, n=65	Пожарные, n=58	Контроль, n=60
BMI	29,4 ± 0,5 ^{#*}	36,7 ± 0,6	25,3 ± 0,4	27,6±0,7
ALT	68,7 ± 0,6 ^{#*}	59,6 ± 0,4	32,2 ± 0,6	21,2 ± 0,3
AST	47,3 ± 0,5 ^{#*}	45,8 ± 0,6	36,4 ± 0,5	17,5 ± 0,4
GLU	5,4 ± 0,2 [*]	5,9 ± 0,3	4,9± 0,6	4,2± 0,6
Ins	21,4± 0,4 [*]	23,8± 0,5	17,8 ± 0,3	14,9 ± 0,4
TRIG	2,62 ± 0,03 [*]	2,54 ± 0,03	2,37± 0,06	1,25± 0,03
CHOL	5,94 ± 0,05 [*]	7,35 ± 0,05	4,98± 0,05	4,16± 0,07
HDL	2,38±0,04 ^{#*}	2,27±0,03 [*]	3,69±0,06	2,74± 0,06
LDL	2,56±0,04 [*]	4,61±0,05	2,47±0,04	1,81± 0,04
KA	1,92±0,03 [*]	3,24±0,04	1,84±0,02	1,32± 0,05
HOMA-IR	5,12±0,06 [*]	5,96 ±0,04	3,79±0,05 [*]	2,32±0,06

Примечание: * – различия относительно группы контроля с ЖДП $p < 0,001$; #.– относительно группы пожарных без заболеваний ЖКТ $p < 0,001$

В тоже время концентрация триглицеридов в крови больных с жировой дегенерацией печени не имеют отличий между пожарными и другими лицами. При этом концентрация липопротеинов высокой плотности у пожарных страдающих жировой дегенерацией печени выше на 38%, чем у больных контрольной группы и не имеет отличий относительно группы пожарных не имеющих заболевания системы пищеварения. Более низкие цифры коэффициента атерогенности у пожарных относительно групп лиц других профессий, позволяют предположить различные механизмы формирования жировой дегенерации печени в этих группах.

Данные клеточного звена иммунитета у пожарных и лиц других профессий, страдающих жировой дегенерацией печени в сравнении с показателями иммунитета контрольной представлены в таблице 2

В группе больных пожарных показатели общего количества Т-лимфоцитов (CD3) достоверно ниже, чем у больных из группы контроля. В тоже время относительно показателей контрольной группы эти показатели достоверно выше, что свидетельствует о разнонаправленных отличиях от показателей контрольной группы, количества лимфоцитов в периферической крови больных пожарных и больных лиц других профессий. Отличия концентрации от показателей контрольной группы по общему

количества Т-лимфоцитов (CD3+) определялись как за счет снижения лимфоцитов хелперной фракции (CD4+), так и за счет цитотоксических лимфоцитов (CD8+). Определялись достоверно более высокие показатели Т лимфоцитов хелперной фракции (CD4+) и цитотоксических лимфоцитов (CD8+) у больных других профессий относительно аналогичной контрольной группы и относительно группы здоровых пожарных. Количество В-лимфоцитов (CD19+) в группе пожарных с жировой дегенерацией печени достоверно ниже, чем у больных и здоровых контрольной группы и находятся на нижней границе нормы. У пациентов с жировой дегенерацией печени контрольной группы эти показатели также ниже, чем в аналогичной группе здоровых. Также в группе больных пожарных наблюдается снижение фагоцитарного индекса натуральных киллеров (NK) относительно других групп наблюдения.

Таблица 2.

Особенности клеточного звена иммунитета у пожарных с жировой дегенерацией печени ($M \pm m$)

Показатель	ЖДП, n=128		Не страдающие болезнями ЖКТ, n=118	
	Пожарные, n=63	Контроль, n=65	Пожарные, n=58	Контроль, n=60
лимфоциты (CD3), %	41,6±0,4*#	72,3±0,7*	47,3±0,1	54,3±0,1
лимфоциты (CD4), %	27,2±0,4*#	38,5±0,1*	31,2±0,5	33,4±0,5
лимфоциты (CD8), %	23,6±0,5*	31,5±0,6*	24,7±0,2	28,5±0,6
лимфоциты CD19, %	8,3±0,5*	9,5±0,5*	8,6±0,8	11,8±0,6
лимфоциты CD20, %	10,4±0,6*	11,6±0,7	11,5±2,7	12,9±0,3
ИРИ (CD4/CD8)	1,2±0,5*	1,4±0,1*	1,2±0,1	1,1±0,2
NK-лимфоциты, усл.ед	31,2±0,2 *	37,3±0,4	35,3±0,5	44,1±0,3

Примечание: * - различия достоверны ($p < 0,001$) по сравнению с аналогичной с аналогичной подгруппой контрольной группы; # - различия достоверны ($p < 0,001$) по сравнению с группой здоровых пожарных

Анализ показателей гуморального иммунитета в группе пожарных с жировой дегенерацией печени и группой контроля с жировой дегенерацией печени выявил достоверные отличия количественных параметров. Количество CD19+ В-лимфоцитов определялось достоверно ниже в группах пожарных как больных, так и здоровых относительно аналогичных контрольных групп.

Определено достоверное снижение иммуноглобулинов классов А и М относительно всех групп наблюдения. В тоже время концентрация IgG определялась достоверно выше, чем в контрольных группах.

Для IgA характерна функция изоляции и обеспечения местного иммунитета ЖКТ. Меньшее содержание этих антител у пожарных с жировой дегенерацией печени свидетельствует о нарушении противодействия к комменсальной микробиоте, при этом формируются условия для колонизации этой флорой кишечника и всасывания через слизистую кишечника растворимых антигенов.

Таблица 3.

**Состояние гуморального звена адаптивного иммунитета
в группах наблюдения ($M \pm m$)**

Показатель	ЖДП, n=128		Не страдающие болезнями ЖКТ, n=118	
	Пожарные, n=63	Контроль, n=65	Пожарные, n=58	Контроль, n=60
IgA, г/л	0,59±0,01*#	1,87±0,05	1,72±0,06*	3,42±0,04
IgM, г/л	1,19±0,04*#	1,93±0,02	1,47±0,05*	2,26±0,03
IgG, г/л	15,62±0,05*#	8,23±0,03	11,14±0,02*	12,92±0,04
Циркулирующие иммунные комплексы высок., отн.ед.	26,2±0,02	19,9±0,03	24,5±0,05*	18,2±0,05
Циркулирующие иммунные комплексы сред., отн.ед.	78,5±0,3	74,1±0,2	76,2±0,4	68,5±0,8
Циркулирующие иммунные комплексы низк., отн.ед.	162,4±0,5	132,4±1,4	157,3±1,5	147,5±1,6

Примечание – * - различия достоверны ($p < 0,001$) по сравнению с аналогичной с аналогичной подгруппой контрольной группы; # - различия достоверны ($p < 0,001$) по сравнению с группой здоровых пожарных

Это объясняется тем, что повышение концентрации IgG связано с последствиями контакта с антигеном. IgG участвует в образовании иммунных комплексов, активирует систему комплемента и стимулирует фагоциты. В группе больных пожарных отмечается повышение уровня ЦИК всех плотностей, представленных комплексами антигена, антитела и компонента комплемента.

Таким образом, анализ иммунологического статуса свидетельствует о снижении иммунитета в обеих группах пожарных, и разнонаправленными изменениями клеточного и гуморального иммунитета относительно лиц, страдающих жировой дегенерацией печени других профессий, что свидетельствует об отличии механизмов формирования жировой дегенерацией печени у пожарных.

Таблица 4.

Уровень цитокинов в группах наблюдения ($M \pm m$)

Показатель пг/мл	Жировая дегенерация печени, n=128		Не страдающие болезнями ЖКТ, n=118	
	Пожарные, n=63	Контроль, n=65	Пожарные, n=58	Контроль, n=60
IFN-а сыв.	41,21±0,12*	44,24±0,09	42,69±0,72	46,34±0,35
IFN-g инд.	229,53±1,56*	289,42±1,23 [#]	231,67±0,75	212,72±0,15
IL-1β сыв.	49,21±0,08*	41,57±0,15	45,58±0,52	42,4±0,53
IL-2 сыв.	13,68±0,02	12,41±0,05	14,32±0,13	14,6±0,04
IL-4 сыв.	21,25±0,34 [#] *	22,56±0,11	24,53±0,28	28,46±0,14
IL-6 сыв.	51,54±2,74 [#] *	84,82±0,09	45,92±0,35	42,58±0,24
IL-8 сыв.	14,38±0,05	9,74±0,06	11,84±0,12	10,83±0,07
IL-10 сыв.	4,68±0,04 [#] *	7,58±0,04	7,26±0,05	11,86±0,06
TNF-α	121,62±0,57 [#] *	98,74±0,42	92,54±0,31	32,58±0,22

Примечание: * - различия достоверны ($p < 0,001$) по сравнению с аналогичной подгруппой контрольной группы, [#] - различия достоверны ($p < 0,001$) по сравнению с группой здоровых пожарных

Т-лимфоциты, несущие на своей поверхности маркеры CD16+ 56+, имеют свойства как Т-, так и NK-клеток, их снижение свидетельствует о снижении функций врожденного иммунитета. Несмотря на то, что показатели врожденного иммунитета во всех группах наблюдения не выходят за границы референсных значений, в отличие от группы больных с жировой дегенерацией печени других профессий у пожарных отмечается снижение показателей активности фагоцитов и повышение концентрации фактора комплимента С3а., что может свидетельствовать о повышении концентрации бактериальных антигенов.

Показатели уровня цитокинов в группах больных пожарных, свидетельствуют о достоверном снижении уровня индуцированного IFN-g, и повышения уровня TNF-α и IL-1 относительно группы больных лиц других профессий и практически здоровых пожарных. Так же, в группе больных пожарных отмечается достоверное снижение показателей IL-4, IL-6 IL-10.

Обсуждение результатов

Результаты, полученные в исследовании, свидетельствуют, что в структуре заболеваний у сотрудников ГПС ФПС МЧС России преобладают заболевания системы внешнего дыхания, а на втором месте болезни желудочно-кишечного тракта, среди заболеваний желудочно-кишечного

тракта одной из наиболее частых патологий определяется жировая дегенерация печени [9].

Ключевой этиологический фактор классической жировой дегенерации печени определяется высококалорийным питанием, малоподвижным образом жизни и наследственной предрасположенностью, в совокупности эти факторы приводят к гиперлипидемии, а также к активации липолиза, что в свою очередь провоцирует избыточное образование неэстерифицированных (свободных) жирных кислот. В тоже время, ключевое звено патогенеза жировой дегенерации печени определяется взаимосвязью инсулинорезистентности и продукции в гепатоците триглицеридов, жирных кислот с высоким содержанием ацетилкофермента А. Токсическое поражение печени может проявляться схожей клинической картиной и даже похожими морфологическими изменениями, но механизм его формирования будет отличаться от классической картины патогенеза жировой дегенерации печени. Так как по современным данным взаимодействие диоксинов с клетками организма осуществляется с помощью рецептора ароматических углеводородов AhR (Aryl hydrocarbon receptor), который является лиганд-зависимым белком гетеродимерного транскрипционного фактора, регулирующего экспрессию генов. Этот рецептор присутствует в большинстве клеток организма. При связывании жирорастворимых мембранно-диффузионных лигандов, таких как диоксины, цитоплазматический AhR транслоцируется в ядро, где он связывается с другим белком, известным как ядерный транслокатор AHR (ARNT; он же Hif 1 β). Лиганд-активированный ARNT комплекс способен к связыванию со специфическими последовательностями ДНК, обеспечивающими биологический отклик на диоксины. Считается, что в основе токсичности диоксинов лежат изменения, возникающие в результате этого взаимодействия [20].

Самым токсичным конгеном диоксинов является ТХДД (2,3,7,8-Тетрахлородибензодиоксин), также он является и самым мощным AhR лигандом. Его эффективность связана с высоким сродством к связыванию, а также с его устойчивостью к метаболизму, что обеспечивает длительный биологический период полураспада. Устойчивость к метаболизму является относительно уникальной особенностью ТХДД и определяет его токсичность. В последнее время выявлены многочисленные эндогенные соединения, которые связывают и активируют транскрипцию AHR (например, простагландины, липоксин А4, билирубин, метаболиты триптофана связывания [13].

Вышеизложенное позволяет предположить различия в патогенезе формирования жировой дегенерацией печени у пожарных и лиц других про-

фессиональных групп, на основании результатов анализа биохимических показателей крови [14]. В тоже время, у сотрудников ГПС ФПС МЧС России жировая дегенерация печени характеризуется более низкой эластичностью ткани печени, более низким индексом массы тела, чем группа больных других профессий [12]. При этом активность аланинаминотрансферазы (АлАт) у больных сотрудников ГПС ФПС МЧС России на 15% выше, чем у больных контрольной группы, что свидетельствует о большем поражении печени. Однако, концентрация инсулина и соответственно показатели индекс ИР достоверно ниже в группе больных сотрудников ГПС ФПС МЧС России, чем лиц других профессий с жировой дегенерацией печени.

Ряд исследований последних лет посвящены влиянию диоксинов на иммунную систему. Воздействие диоксинов вызывает подавление образования антител плазматическими клетками и снижение активации полиморфно-ядерных клеток. Так результатом воздействия диоксинов на систему иммунитета является стимуляция экспрессии IL-1 β , IL-8, TNF- α [20]. В эксперименте с животными N.I. Kerkvliet определил роль AhR в подавлении цитотоксического ответа Т-лимфоцитов (CTL) на аллогенные опухолевые клетки у мышей. Снижению количества цитотоксических лимфоцитов (CTL) предшествовало снижение количества CD4+ Т-клеток. Так диоксины подавляют активацию CD4+ Т-хелперных клеток, и косвенно подавляют развитие CD8+ CTL. В этих же работах определено значение рецептора AhR во взаимодействии иммунной системы с диоксинами [21].

Сравнительная характеристика показателей клеточного иммунитета свидетельствует о разнонаправленных отличиях у сотрудников ГПС ФПС МЧС России с жировой дегенерацией печени и лиц других профессий с жировой дегенерацией печени относительно контрольной группы, количество лимфоцитов всех фракций у пожарных значимо ниже чем у больных контрольной группы. В тоже время в сравнении с контрольной группой здоровых лиц у больных других профессий эти показатели достоверно выше, а у сотрудников ГПС ФПС МЧС России с жировой дегенерацией печени ниже.

Иммуноглобулины классов IgA и IgM у сотрудников ГПС ФПС МЧС России с жировой дегенерацией печени ниже относительно всех групп наблюдения. В тоже время концентрация IgG у них определялась выше, чем в контрольных группах. В группах больных сотрудников ГПС ФПС МЧС России, показатели индуцированного IFN-g, IL-4, IL-6 и IL-10 ниже, а показатели TNF- α и IL-1 наоборот выше, относительно группы больных лиц других профессий.

Выводы

Таким образом, у сотрудников ГПС ФПС МЧС России формирование жировой дегенерацией печени в меньшей степени связано с изменением энергетического метаболизма и индекса массы тела, чем у лиц других профессий. Об отличии механизмов нарушения регуляции иммунной системы взаимосвязанной с жировой дегенерацией печени свидетельствуют разнонаправленные отличия показателей иммунитета между больными пожарными и другими лицами относительно контрольной группы.

Список литературы

1. Акалаев Р.Н., Стопницкий А.А., Арипходжаева Г.З., Саидова М.К. Токсические поражения печени при острых отравлениях и эндогенной интоксикации (обзор литературы) // Вестник экстренной медицины. 2020. Т. 13. № 6. С. 95-102.
2. Алексанин С.С., Бобринев Е.В., Евдокимов В.И., Кондашов А.А., Сибирко В.И., Харин В.В. Показатели профессионального травматизма и смертности у сотрудников государственной противопожарной службы России (1996-2015 гг.) // Медико-биологические и социально-психологические проблемы безопасности в чрезвычайных ситуациях. 2018. № 3. С. 5-25.
3. Алибоев М.А., Жумабоев Ш. Пожар и методы пожаротушения // ТесНика. 2020. №2. С. 43–45.
4. Бацков С.С. Введение в неинфекционную гепатологию. СПб.: Крисмас+, 2004. 192 с.
5. Бацков С.С., Родионов Г.Г., Муллина Е.В. Состояние микробиоты кишечника у спасателей МЧС России, страдающих функциональными заболеваниями органов пищеварения // Медико-биологические и социально-психологические проблемы безопасности в чрезвычайных ситуациях. 2016. № 3. С. 27–35.
6. Башарин В.А., Чепур С.В., Толкач П.Г., Венгерович Н.Г., Юдин М.А., Никифоров А.С., Тюнин М.А., Халютин Д.А., Маркизова Н.Ф., Дмитриев А.В., Завирский А.В. Токсикология продуктов горения полимерных материалов / Учебное пособие. СПб. 2022. 72 с.
7. Евдокимов В.И., Бобринев Е.В. Случаи заболеваемости с трудопотерями у сотрудников подразделений МЧС России и работающего населения России // Медико-биологические и социально-психологические проблемы безопасности в чрезвычайных ситуациях. 2019. № 4. С. 24–32. <https://doi.org/10.25016/2541-7487-2019-0-4-24-32>

8. Карькин И.Н., Контарь Н.А., Субачев С.В., Субачева А.А. Моделирование защиты людей и оборудования от теплового потока пожара на территории производственных объектов // Техносферная безопасность. 2019. №2(23). С. 103–108.
9. Котенко П.К., Головинова В.Ю., Шевцов В.И. Статистика заболеваемости сотрудников и военнослужащих федеральной противопожарной службы Государственной противопожарной службы МЧС России: учебное пособие. СПб.: Научное издание, 2022. 119 с.
10. Крийт В.Е., Санников М.В., Сладкова Ю.Н., Пятибрат А.О. Влияние полиморфизмов генов детоксикации ксенобиотиков и стажа работы на уровень кумуляции диоксинов в организме сотрудников МЧС России // Медико-биологические и социально-психологические проблемы безопасности в чрезвычайных ситуациях. 2020. № 2. С. 55–68. <https://doi.org/10.25016/2541-7487-2020-0-2-55-68>
11. Лавренев А.Р., Орджоникидзе К.Г., Румак В.С., Ким А.И., Умнова Н.В. Оценка начальных проявлений токсического процесса в условиях хронического действия малых субтоксичных доз диоксинов, загрязняющих среду // Экология человека. 2022. № 3. С. 57-66.
12. Передела А.С., Афанасьева Е.А., Соловьёва Н.В. Неалкогольная жировая болезнь печени у пациентов без ожирения // Научные исследования XXI века. 2021. № 4 (12) С. 119-123.
13. Румак В.С., Умнова Н.В., Ким А.И. Суперэкоотоксиканты и экологическая безопасность. Учебно-методическое пособие с основами молекулярной токсикологии для обучающихся бакалавриата и магистратуры направлений подготовки «Биология» и «Экология и природопользование». М.: Товарищество научных изданий КМК, 2021. 126 с.
14. Салль Т.С., Щербакова Е.С., Ситкин С.И., Вахитов Т.Я., Бакулин И.Г., Демьянова Е.В. Молекулярные механизмы развития неалкогольной жировой болезни печени // Профилактическая медицина. 2021. Т. 24, № 4. С. 120-131.
15. Софронов Г.А. Современные взгляды на механизм токсического действия диоксинов и их санитарно-гигиеническое нормирование / Г.А. Софронов, В.Р. Рембовский, А.С. Радилов и др. // Медицинский академический журнал. 2019. №19(1). С. 17–28.
16. Стрельцова И.В., Скутова А.В. Медицинские аспекты профессиональной деятельности пожарных // Научный журнал. 2017. №5(18). С. 105–106.
17. Фомичев А.В., Жирков И.И., Голофеевский В.Ю., Сосюкин А.Е., Малышева Е.В., Кузьмич В.Г., Литвинцев Б.С., Юдин М.А. Морфофункциональные особенности печени у лиц, работающих с фосфорорганическими веще-

- ствами // Medline.ru. Российский биомедицинский журнал. 2020. Т. 21. С. 176-194.
18. Чересов В.В., Ермак В.А. Профессионально–важные качества пожарных-спасателей МЧС // Вестник гигиены и эпидемиологии. 2020. Т. 24, № 2. С. 207-209.
19. Brushlinsky N., Ahrens M., Sokolov S., Wagner P. World of Fire Statistics = Мировая пожарная статистика = Die Feuerwehrstatistik der Welt: Report = отчет = Bericht [Electronic resource] / Center of Fire Statistics of CTIF. [S. l.]. 2021. № 26. 66 p. URL: <http://www.ctif.org>
20. Chernyak Y.I., Grassman J.A. Impact of *AhRR* (565C > G) polymorphism on dioxin dependent CYP1A2 induction // Toxicology Letters 2020. Vol. 320. P. 58-63.
21. Kerkvliet N.I. TCDD: an environmental immunotoxicant reveals a novel pathway of immunoregulation – a 30-year odyssey // Toxicol. Pathol. 2012. Vol. 40(2). P. 138-142.
22. Uemura H., Arisawa K., Hiyoshi M., Kitayama A., Takami H., Sawachika F., et al. Prevalence of metabolic syndrome associated with body burden levels of dioxin and related compounds among Japan's general population // Environ Health Perspect. 2009. Vol. 117. P. 568-573.

References

1. Akalaev R.N., Stopnickij A.A., Ariphodzhaeva G.Z., Saidova M.K. Toksicheskie porazheniya pecheni pri ostryh otravleniyah i endogennoj intoksikacii (obzor literatury) [Toxic liver damage in acute poisoning and endogenous intoxication (literature review)]. *Vestnik ekstretnoj mediciny* [Bulletin of Emergency Medicine], 2020, vol. 13, no. 6, pp. 95-102.
2. Aleksanin S.S., Bobrinev E.V., Evdokimov V.I., Kondashov A.A., Sibirko V.I., Harin V.V. Pokazateli professional'nogo travmatizma i smertnosti u sotrudnikov gosudarstvennoj protivopozharnoj sluzhby Rossii (1996-2015 gg) [Indicators of occupational injuries and mortality among employees of the State Fire Service of Russia (1996-2015)]. *Mediko-biologicheskie i social'no-psihologicheskie problemy bezopasnosti v chrezvychajnyh situatsiyah* [Medical-biological and socio-psychological problems of safety in emergency situations], 2018, no. 3, pp. 5-25.
3. Aliboev M.A., ZHumaboev S.H. Pozhar i metody pozharotusheniya [Fire and fire extinguishing methods]. *TecNika*, 2020, no. 2, pp. 43-45.
4. Backov S.S. *Vvedenie v neinfekcionnuyu gepatologiyu* [Introduction to non-infectious hepatology]. SPb.: Krismas+, 2004, 192 p.

5. Backov S.S., Rodionov G.G., Mullina E.V. Sostoyanie mikrobioty kishechnika u spasatelej MCHS Rossii, stradayushchih funkcional'nymi zabolevaniyami organov pishchevareniya [The state of intestinal microbiota in rescuers of the EMERCOM of Russia suffering from functional diseases of the digestive organs]. *Mediko-biologicheskie i social'no-psihologicheskie problemy bezopasnosti v chrezvychajnyh situatsiyah* [Medical-biological and socio-psychological problems of safety in emergency situations], 2016, no. 3, pp. 27–35.
6. Basharin V.A., CHepur S.V., Tolkach P.G., Vengerovich N.G., Yudin M.A., Nikiforov A.S., Tyunin M.A., Halyutin D.A., Markizova N.F., Dmitriev A.V., Zavirskij A.V. *Toksikologiya produktov goreniya polimernykh materialov* [Toxicology of fire products of polymer materials]. Textbook. SPb., 2022, 72 p.
7. Evdokimov V.I., Bobrinev E.V. Sluchai zabolevaemosti s trudopoteryami u sotrudnikov podrazdelenij MCHS Rossii i rabotayushchego naseleniya Rossii [Cases of morbidity with labor losses among employees of the departments of the Ministry of Emergency Situations of Russia and the working population of Russia]. *Mediko-biologicheskie i social'no-psihologicheskie problemy bezopasnosti v chrezvychajnyh situatsiyah* [Medical-biological and socio-psychological problems of safety in emergency situations], 2019, no. 4, pp. 24–32. <https://doi.org/10.25016/2541-7487-2019-0-4-24-32>
8. Kar'kin I.N., Kontar' N.A., Subachev S.V., Subacheva A.A. Modelirovanie zashchity lyudej i oborudovaniya ot teplovogo potoka pozhara na territorii proizvodstvennykh ob'ektov [Modeling of protection of people and equipment from the heat flow of fire on the territory of production facilities]. *Tekhnosfernaya bezopasnost'* [Technosphere safety], 2019, no. 2(23), pp. 103–108.
9. Kotenko P.K., Golovinova V.YU., Shevcov V.I. *Statistika zabolevaemosti sotrudnikov i voennosluzhashchih federal'noj protivopozharnoj sluzhby Gosudarstvennoj protivopozharnoj sluzhby MCHS Rossii* [Statistics of morbidity of employees and servicemen of the Federal Fire Fighting Service of the State Fire Fighting Service of the Ministry of Emergency Situations of Russia: study guide]. SPb.: Naukoemkie tekhnologii, 2022, 119 p.
10. Krijt V.E., Sannikov M.V., Sladkova Yu.N., Pyatibrat A.O. Vliyanie polimorfizmov genov detoksikatsii ksenobiotikov i stazha raboty na uroven' kumulyatsii dioksinov v organizme sotrudnikov MCHS Rossii [The influence of xenobiotic detoxification gene polymorphisms and work experience on the level of dioxin accumulation in the body of EMERCOM employees of Russia]. *Mediko-biologicheskie i social'no-psihologicheskie problemy bezopasnosti v chrezvychajnyh situatsiyah* [Medical-biological and socio-psychological problems of safety in

- emergency situations], 2020, no. 2, pp. 55–68. <https://doi.org/10.25016/2541-7487-2020-0-2-55-68>
11. Lavrenov A.R., Ordzhonikidze K.G., Rumak V.S., Kim A.I., Umnova N.V. Ocenka nachal'nyh proyavlenij toksicheskogo processa v usloviyah hronicheskogo dejstviya malyh subtoksichnyh doz dioksinov, zagryaznyayushchih sredu [Assessment of the initial manifestations of the toxic process under the conditions of chronic action of small subtoxic doses of dioxins polluting the environment]. *Ekologiya cheloveka* [Assessment of the initial manifestations of the toxic process under the conditions of chronic action of small subtoxic doses of dioxins polluting the environment], 2022, no. 3, pp. 57–66.
 12. Peredela A.S., Afanas'eva E.A., Solov'yova N.V. Nealkogol'naya zhirovaya bolezni' pecheni u pacientov bez ozhireniya [Non-alcoholic fatty liver disease in patients without obesity]. *Nauchnye issledovaniya XXI veka* [Scientific research of the XXI century], 2021, no. 4 (12), pp. 119–123.
 13. Rumak V.S., Umnova N.V., Kim A.I. *Superekotoksikanty i ekologicheskaya bezopasnost'. Uchebno-metodicheskoe posobie s osnovami molekulyarnoy toksikologii dlya obuchayushchihsya bakalavriata i magistratury napravlenij podgotovki «Biologiya» i «Ekologiya i prirodopol'zovanie»* [Superecotoxins and environmental safety. Educational and methodological guide to the basics of molecular toxicology for undergraduate and graduate students in the fields of "Biology" and "Ecology and Nature management"]. M.: Association of Scientific Publications of the CMC, 2021, 126 p.
 14. Sall' T.S., SHCHerbakova E.S., Sitkin S.I., Vahitov T.YA., Bakulin I.G., Dem'yanova E.V. Molekulyarnye mekhanizmy razvitiya nealkogol'noj zhirovoy bolezni pecheni [Molecular mechanisms of development of non-alcoholic fatty liver disease]. *Profilakticheskaya medicina* [Preventive medicine], 2021, vol. 24, no. 4, pp. 120–131.
 15. Sofronov G.A., Rembovskij V.R., Radilov A.S. i dr. Sovremennye vzglyady na mekhanizm toksicheskogo dejstviya dioksinov i ih sanitarno–gigienicheskoe normirovanie [Modern views on the mechanism of toxic action of dioxins and their sanitary and hygienic rationing]. *Meditsinskij akademicheskij zhurnal* [Medical Academic Journal], 2019, no. 19(1), pp. 17–28.
 16. Strel'cova I.V., Skutova A.V. Medicinskie aspekty professional'noj deyatel'nosti pozharnyh [Medical aspects of professional activity of firefighters]. *Nauchnyj zhurnal* [Scientific journal], 2017, no. 5(18), pp. 105–106.
 17. Fomichev A.V., ZHirkov I.I., Golofeevskij V.YU., Sosyukin A.E., Malysheva E.V., Kuz'mich V.G., Litvincev B.S., Yudin M.A. Morfofunkcional'nye oso-

- bennosti pecheni u lic, rabotayushchih s fosfororganicheskimi veshchestvami [Morphofunctional features of the liver in persons working with organophosphates]. *Medline.ru. Rossijskij biomeditsinskij zhurnal* [Medline.ru. Russian Biomedical Journal], 2020, vol. 21, pp. 176-194.
18. CHERkeso, V.V., Ermak V.A. Professional'no–vazhnye kachestva pozharnyh–spasatelej MCHS [Professionally important qualities of firefighters–rescuers of the Ministry of Emergency Situations]. *Vestnik gigieny i epidemiologii* [Bulletin of Hygiene and Epidemiology], 2020, vol. 24, no. 2, pp. 207-209.
 19. Brushlinsky N., Ahrens M., Sokolov S., Wagner P. World of Fire Statistics = Mirovaya pozharnaya statistika = Die Feuerwehrstatistik der Welt: Report = Bericht [Electronic resource] / Center of Fire Statistics of CTIF. [S. l.], 2021, no. 26, 66 p. URL: <http://www.ctif.org>
 20. Chernyak Y.I., Grassman J.A. Impact of *AhRR* (565C > G) polymorphism on dioxin dependent CYP1A2 induction. *Toxicology Letters*, 2020, vol 320, pp. 58-63.
 21. Kerkvliet N.I. TCDD: an environmental immunotoxicant reveals a novel pathway of immunoregulation – a 30-year odyssey. *Toxicol. Pathol.*, 2012, vol. 40(2), pp. 138-142.
 22. Uemura H, Arisawa K, Hiyoshi M, Kitayama A, Takami H, Sawachika F, et al. Prevalence of metabolic syndrome associated with body burden levels of dioxin and related compounds among Japan's general population. *Environ Health Perspect.*, 2009, vol. 117, pp. 568-573.

ВКЛАД АВТОРОВ

Гацура В.Ю., Пятибрат Е.Д., Рейнюк В.Л.: концепция и дизайн статьи.

Гацура В.Ю., Дерягина Л.Е.: написание текста.

Гацура В.Ю., Пятибрат А.О.: сбор и обработка материала.

Сухотерина Е.Г.: статистическая обработка данных.

Пятибрат Е.Д., Рейнюк В.Л.: редактирование.

AUTHOR CONTRIBUTIONS

Vera Yu. Gatsura, Elena D. Pyatibrat, Vladimir L. Reinyuk: concept and design of the article.

Vera Yu. Gatsura, Larisa E. Deryagina: text writing.

Vera Yu. Gatsura, Alexander O. Pyatibrat: collection and processing of material.

Elena G. Sukhoterina: statistical data processing.

Elena D. Pyatibrat, Vladimir L. Reinyuk: editing.

ДАННЫЕ ОБ АВТОРАХ

Гацур Вера Юрьевна, врач-терапевт

*Поликлиника № 1 ФКУЗ «МСЧ МВД России по г. Санкт-Петербургу и
Ленинградской обл.»
ул. Малая Морская, 10, г. Санкт-Петербург, 191186, Российская
Федерация
veraga734@gmail.com*

Дерягина Лариса Евгеньевна, д.м.н., профессор, профессор кафедры
психологии

*Московский университет Министерства внутренних дел Россий-
ской Федерации имени В.Я. Кикотя
ул. Академика Волгина, 12, г. Москва, Россия, Российская Федерация
lderyagina@mail.ru*

Сухотерина Елена Геннадьевна, к.м.н., доцент, доцент кафедры моби-
лизационной подготовки здравоохранения и медицины катастроф
ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный педиатриче-
ский медицинский университет»

*ул. Литовская, 2, г. Санкт-Петербург, 194100, Российская Федерация
lenasukhoterina@mail.ru*

Рейнюк Владимир Леонидович, д.м.н., доцент, Врио директора

*ФГБУ НКЦГ им. С.Н. Голикова ФМБА России
ул. Бехтерева, 1А, г. Санкт-Петербург, 192019, Российская Феде-
рация
institute@toxicology.ru*

Пятибрат Александр Олегович, д.м.н., доцент, профессор кафедры Экс-
тремальной медицины, травматологии, ортопедии и военно-поле-
вой хирургии

*ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный педиатриче-
ский медицинский университет»
ул. Литовская, 2, г. Санкт-Петербург, 194100, Российская Федерация
a5brat@yandex.ru*

Пятибрат Елена Дмитриевна, д.м.н., доцент кафедры госпитальной терапии
Военно-медицинская академия им. С.М. Кирова

ул. Акад. Лебедева, 6, г. Санкт-Петербург, 194044, Россия
e5brat@yandex.ru

DATA ABOUT THE AUTHORS

Vera Yu. Gatsura, General Practitioner

*Polyclinic No. 1, Medical and sanitary unit of the Ministry of Internal Affairs of Russia in St. Petersburg and the Leningrad region”
10, Malaya Morskaya Str., St. Petersburg, 191186, Russian Federation
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4775-5772>
veraga734@gmail.com*

Larisa E. Deryagina, Dr. Sci. (Med), Professor, Professor of the Department of Psychology

*V.Ya. Kikotya Moscow University of the Ministry of Internal Affairs of the Russian Federation
12, Academician Volgina Str., Moscow, Russia, Russian Federation
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5522-5950>
lderyagina@mail.ru*

Elena G. Sukhoterina, Cand. Sci. (Med), Associate Professor, Associate Professor of the Department of Mobilization Training of Health Care and Disaster Medicine

*St. Petersburg State Pediatric Medical University
st. Litovskaya, 2, St. Petersburg, 194100, Russian Federation
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8560-0106>
lenasukhoterina@mail.ru*

Vladimir L. Reinyuk, Dr. Sci. (Med), Associate Professor, Acting Director
S.N. Golikov Federal State Budgetary Research Center of the FMBA of Russia

*1A, Bekhtereva Str., St. Petersburg, 192019, Russian Federation
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4472-6546>
institute@toxicology.ru*

Alexander O. Pyatibrat, Dr. Sci. (Med), Associate Professor, Professor of the Department of Extreme Medicine, Traumatology, Orthopedics and Military Surgery

St. Petersburg State Pediatric Medical University

2, Litovskaya Str., St. Petersburg, 194100, Russian Federation

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6285-1132>

a5brat@yandex.ru

Elena D. Pyatibrat, Dr. Sci. (Med), Associate Professor of the Department of
Hospital Therapy

Kirov Military Medical Academy

6, Acad. Lebedeva Str., St. Petersburg, 194044, Russian Federation

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4070-5374>

e5brat@yandex.ru

Поступила 18.09.2023

После рецензирования 30.09.2023

Принята 09.10.2023

Received 18.09.2023

Revised 30.09.2023

Accepted 09.10.2023

DOI: 10.12731/2658-6649-2024-16-2-1077

УДК 616-031.38



Научная статья

ОЦЕНКА УРОВНЕЙ ВИТАМИНА D У ПАЦИЕНТОВ С ПАТЕЛЛОФЕМОРАЛЬНЫМ БОЛЕВЫМ СИНДРОМОМ

У.А. Гусейнова, В.В. Козлов

Обоснование. Пателлофеморальный болевой синдром (ПФБС) представляет собой клиническое состояние, характеризующееся ретропателлярной и/или перипателлярной болью, связанной с деятельностью, связанной с нагрузкой на нижние конечности (например, ходьба, бег, прыжки, подъем по лестнице, длительное сидение и подвижность, ходьба по лестнице, приседания на корточках). 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.

Цель работы: сравнение уровней 25-гидроксивитамина D в сыворотке пациентов с диагнозом пателлофеморальный болевой синдром со здоровыми людьми, которые обращались за скринингом до начала занятий спортом.

Методы. Пациенты были обследованы ретроспективно. В исследовании приняли участие 20 пациентов с пателлофеморальным болевым синдромом и 40 здоровых лиц, обратившихся на обследование до занятий спортом. Для оценки различий использовался метод статистического анализа.

Результаты. У пациентов с пателлофеморальным болевым синдромом уровень 25-гидроксивитамина D был субнормальным и в среднем составлял $18,5 \pm 7,1$ нг/мл. Средний уровень витамина D у здоровых составил $28,9 \pm 10,6$ нг/мл. Уровень витамина D у больных с пателлофеморальным болевым синдромом был статистически значимо ниже, чем в группе здоровых ($p < 0,001$).

Заключение. Снижение уровня 25-гидроксивитамина D в сыворотке пациентов вносит вклад в патофизиологию пателлофеморального болевого синдрома.

Ключевые слова: боль; витамин D; пателлофеморальный болевой синдром; боль в переднем отделе коленного сустава

Для цитирования. Гусейнова У.А., Козлов В.В. Оценка уровня витамина D у пациентов с пателлофemorальным болевым синдромом // Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture. 2024. Т. 16, №2. С. 349-358. DOI: 10.12731/2658-6649-2024-16-2-1077

Original article

ASSESSMENT OF THE LEVEL OF PAIN IN THE TREATMENT OF PLANTAR FASCIITIS BY EXTRACORPOREAL SHOCK WAVE THERAPY

U.A. Huseynova, V.V. Kozlov

Background. Patellofemoral pain syndrome (PFPS) is a clinical condition characterized by retropatellar and/or peripatellar pain associated with activities associated with stress on the lower extremities (for example, walking, running, jumping, climbing stairs, prolonged sitting and mobility, walking on stairs, squats on squats). Both active and sedentary people of any age. People with obesity and people who spend most of their time on their feet are more prone to this disease.

Purpose: comparison of serum levels of 25-hydroxyvitamin D in patients diagnosed with patellofemoral pain syndrome with healthy individuals who sought screening prior to initiation of sports.

Methods. Patients were examined retrospectively. The study involved 20 patients with patellofemoral pain syndrome and 40 healthy individuals who applied for examination before playing sports. Statistical analysis was used to evaluate the differences.

Results. The patients with patellofemoral pain syndrome had subnormal levels of 25-hydroxyvitamin D, averaging $18,5 \pm 7,1$ ng/mL. The average level of vitamin D in healthy people was $28,9 \pm 10,6$ ng/ml. The level of vitamin D in patients with patellofemoral pain syndrome was statistically significantly lower than in the healthy group ($p < 0,001$).

Conclusion. Decreased serum levels of 25-hydroxyvitamin D in patients contribute to the pathophysiology of patellofemoral pain syndrome.

Keywords: pain; vitamin D; patellofemoral pain syndrome; anterior knee pain

For citation. Huseynova U.A., Kozlov V.V. Assessment of Vitamin D Levels in Patients with Patellofemoral Pain Syndrome. Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture, 2024, vol. 16, no. 2, pp. 349-358. DOI: 10.12731/2658-6649-2024-16-2-1077

Введение

Пателлофеморальный болевой синдром встречается у 25-40% обратившихся в нашу клинику с жалобами на коленные суставы. Такие термины, как пателло-феморальная боль, хондромалиция, боль в передней части колена, колено бегуна, также используются для описания того же клинического состояния. Пателлофеморальный болевой синдром (ПФБС) – это боль вокруг или позади надколенника, которая усиливается при нагрузках на пателлофеморальный сустав согнутого колена. ПФБС – это клинический диагноз, основанный на симптомах и физическом осмотре [7]. Эта травма трудно заживает и может длиться годами. Источник боли у пациентов с ПФБС до конца не изучен. Источниками боли считаются такие ткани, как плотно иннервированные латеральный и медиальный удерживатели, перипателлярная синовиальная оболочка, инфрапателлярная жировая ткань и субхондральная кость. Гистологические исследования показали ноцицептивную гипериннервацию и повреждение нервов (невромы, микроневромы и нейральную миксоидную дегенерацию) в латеральном удерживателе [11, 12]. Было обнаружено, что степень ноцицептивной гипериннервации напрямую связана с интенсивностью боли [4].

Они показали, что перипателлярная гиперваскуляризация развивается из-за ишемии у пациентов с ПФБС и что гиперваскуляризация также коррелирует с выраженностью боли. Повторные ишемические атаки вызывают повреждение нервов; он также индуцирует высвобождение фактора роста нервов (NGF) и фактора роста эндотелия сосудов (VEGF), которые вызывают перипателлярную гипериннервацию и гиперваскуляризацию [4, 5]. В настоящее время известно, что невромы и микроневромы связаны с болью. Миксоидная дегенерация нерва не связана с болью, но считается, что она вызывает нестабильность в результате дисфункции проприоцептивной иннервации. Перегрузка субхондральной кости может вызвать боль из-за механического раздражения нервных окончаний в этой области. Кроме того, у пациентов с ПФБС были продемонстрированы скинтиграфические изменения, сходные с таковыми при стрессовых переломах [10]. Артроскопия может выявить перипателлярный синовит у пациентов с ПФБС. Yoshiya S. выполнил артроскопию коленного сустава без анестезии и нанес на карту внутренние ткани колена, сообщил, что механическая стимуляция перипателлярной синовиальной оболочки была очень болезненной [14].

Хотя низкие уровни 25-гидроксивитамина D (25(OH)D) в сыворотке связаны с такими заболеваниями, как рак, болезни сердца, гипертония,

диабет, болезнь Паркинсона и рассеянный склероз, наиболее известным эффектом 25(ОН)D является на опорно-двигательный аппарат [8, 13]. Оборот костей и метаболизм увеличиваются при низком уровне витамина D в сыворотке крови, основная функция которого заключается в регулировании всасывания кальция и гомеостаза. Витамин D также играет важную роль в модулировании воспаления. Было замечено, что низкий уровень витамина D связан с синовитом и что прием витамина D уменьшает симптомы синовита [1, 5]. Также сообщалось, что витамин D обладает нейропротекторным действием, а его дефицит вызывает гипериннервацию [3].

Уровни 25(ОН)D в сыворотке регулярно измерялись у пациента, направленного в нашу клинику и диагностированного с ПФБС после коррекции случайно обнаруженного тяжелого дефицита витамина D ($<4,2$ нг/мл) и быстрого разрешения боли в передней части колена. Пациенты с ПФБС обращаются в поликлинику. Хотя мы предполагаем, что витамин D может играть роль в развитии пателлофemorальной боли из-за его влияния на воспаление, здоровье нейронов и костный метаболизм, исследований по этой теме в литературе обнаружено не было. В этом исследовании мы стремились ретроспективно сравнить уровни витамина D у здоровых людей и пациентов с диагнозом пателлофemorальный болевой синдром.

Материалы и методы

Ретроспективно обследованы пациенты, поступившие в клинику в течение 24-месячного периода с сентября 2020 г. по апрель 2021 г. У 20 пациентов в возрасте 15–55 лет с диагнозом пателлофemorальный болевой синдром (положительный тест на размалывание надколенника, ретропателлярная боль при приседании или спуске по лестнице) и уровни 25(ОН)D в сыворотке крови были измерены, и у них не было других известных заболеваний. Критерием исключения пациентов являлся прием витамина D в качестве пищевой добавки. В результате в исследование было включено 20 пациентов, из них 17 женщин и 3 мужчины. В качестве контрольной группы в исследование по применению витамина D были включены 40 человек (10 мужчин, 30 женщин) с известными заболеваниями и без них, которые подали заявку на обследование перед началом занятий спортом и у которых был измерен уровень 25(ОН)D в сыворотке крови.

Измерение содержания витамина D в сыворотке крови проводили на приборе «Бекман Аксес 2» с использованием венозной крови, собранной утром после ночного голодания. Значения выше 30 нг/мл считались нормальными, от 20 до 30 нг/мл - дефицитом, ниже 20 нг/мл - дефицитом.

Анализ данных проводили с использованием статистической программы SPSS (Statistical Package for Social Sciences Inc., Чикаго, Иллинойс, США) для Windows Release 26.0. Описательная статистика количественных данных была представлена как среднее арифметическое и стандартное отклонение (SD) и в виде медианы и квартилей. Для качественных признаков рассчитывалась частота их встречаемости в процентах (%). Критерий Манна-Уитни-U использовали для оценки статистической значимости различий между группами по количественным параметрам. Для сравнения качественных параметров использовался критерий χ^2 Пирсона. В качестве уровня для отвержения нулевой гипотезы использовалось значение p менее 0,05.

Результаты исследования и их обсуждение

Сравнительная характеристика ряда параметров групп наблюдения представлена в таблице 1.

Таблица 1.

Сравнительная характеристика описательных параметров основной и контрольной групп

Признак		Группы		p
		Основная (n=20)	Контрольная (n=40)	
Возраст, лет	M $\pm$ SD	46,8 $\pm$ 7,0	46,1 $\pm$ 6,1	0,679
	Me (Q ₂₅ ; Q ₇₅)	46,0(40,0; 54,0)	46,0(41,0; 51,0)	
Масса тела, кг	M $\pm$ SD	73,3 $\pm$ 5,8	72,1 $\pm$ 5,7	0,315
	Me (Q ₂₅ ; Q ₇₅)	74,0(70,0; 78,0)	71,0(65,0; 72,0)	
Пол: -Мужской - Женский	Абс. (%)	3 (15,8)	10 (25,0)	0,425
		16 (84,2)	30 (75,0)	

Средний возраст пациентов составил 46,8 $\pm$ 7,0 года (36-57 лет), а средний возраст контрольной группы 46,1 $\pm$ 6,1года (36-58 лет). Группы не отличались по возрасту ($p=0,679$). При разделении групп на мужчин и женщин разницы между возрастом женщин в группе ПФБС и контрольной группе не было - 47,4 $\pm$ 7,2 против 46,2 $\pm$ 5,8 ($p=0,525$). Распределение обследуемых в группах наблюдения по массе тела, также не имело статистически значимых различий. Большинство единиц наблюдения были представлены женщинами – 16 (84,2%) в основной группе и 30 (75%) в группе контроля ($p=0,425$).

Средний уровень витамина D в сыворотке крови у пациентов с ПФАС был статистически значимо ниже, чем в контрольной группе -14,7 $\pm$ 5,9 нг/

мл против $30,7 \pm 4,9$ нг/мл ($p < 0,001$) (рис.1). У женщин-пациентов с ПФБС уровень витамина D был значительно ниже, чем у женщин из контрольной группы $13,6 \pm 5,8$ нг/мл против $31,1 \pm 4,7$ нг/мл ($p < 0,001$). Поскольку в группе ПФБС было всего трое мужчин, статистический анализ, сравнивающий пациентов мужского пола с ПФБС с мужчинами из контрольной группы, не проводился.

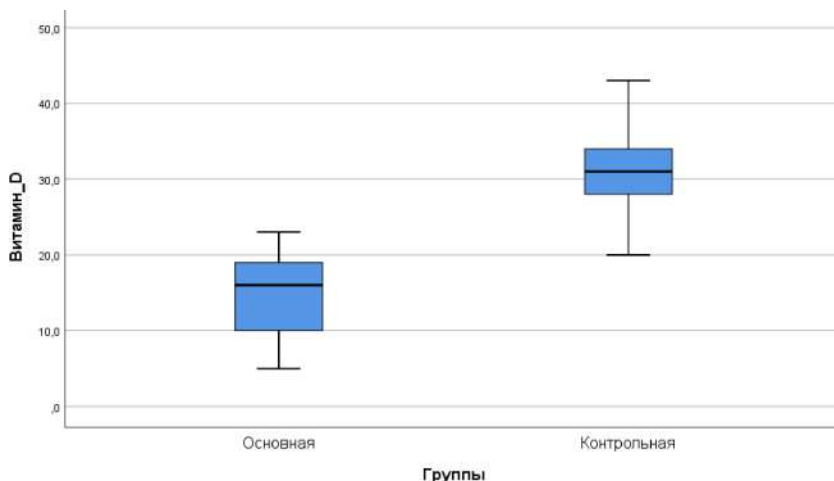


Рис. 2. Сравнительная оценка уровня витамина D в сыворотке крови у пациентов исследуемой и контрольной групп

У всех пациентов с диагнозом ПФБС в нашем исследовании уровень 25(ОН)D в сыворотке крови был ниже порога дефицита. Между тем, уровни 25(ОН)D в сыворотке пациентов с ПФБС были значительно ниже, чем в контрольной группе. У пациентов с ПФБС развивается гипериннервация, связанная с интенсивностью боли (интенсивность боли увеличивается с увеличением количества гипериннервации), и может наблюдаться дефицит проприоцепции.

Nayir T. с соавт. сообщили, что гипериннервация и чувствительность развились в мышцах крыс с дефицитом витамина D [13]. У этих крыс даже были нарушены способности к равновесию. Гипериннервация в перипателлярной области, особенно в латеральном удерживателе, была продемонстрирована у пациентов с ПФБС. Дефицит витамина D может играть роль в развитии гипериннервации в перипателлярной области, а также в мышцах, но информация по этому вопросу очень ограничена [1, 4]. Нейродегенера-

ция также происходит в перипателлярной области у пациентов с ПФБС. Считается, что нейродегенерация вызывает дефицит проприоцепции, наблюдаемый у пациентов с дисфункцией перипателлярного сплетения [15]. Особенно в последние годы сообщалось о нейропротекторном действии витамина D на нейродегенерацию. Дефицит витамина D может быть связан с развитием гипериннервации и дегенерации нервов у пациентов с ПФБС [1]. Низкий уровень 25(ОН)D связан со многими воспалительными и аутоиммунными заболеваниями. Витамин D выполняет регулирующие функции в дифференцировке, пролиферации и активации клеток иммунной системы: витамин D увеличивает количество противовоспалительных медиаторов, одновременно уменьшая воспалительные молекулы в воспалительных клетках [9]. Сегодня считается, что воспаление перипателлярной синовиальной оболочки играет роль в этиологии ПФБС. Синовиальное воспаление часто сопровождается остеоартрозом коленного сустава [12]. Были проведены исследования, подчеркивающие, что витамин D может быть связан с синовиом у пациентов с остеоартрозом коленного сустава [5].

Novsepien S. с соавт. наблюдали за уровнем 25(ОН)D в сыворотке в течение 24 месяцев у пациентов с остеоартритом коленного сустава и сообщили о меньшем прогрессировании синовита у пациентов с постоянно нормальным уровнем 25(ОН)D, чем у пациентов с постоянно низким уровнем 25(ОН)D [9]. В рандомизированном контролируемом двойном слепом исследовании 413 пациентов с симптоматическим остеоартритом коленного сустава было сообщено о том, что добавки с витамином D уменьшали прогрессирование синовита по сравнению с контрольной группой [9]. Считается, что повышенный костный метаболизм в бедренной кости и надколеннике также играет роль в этиологии ПФБС. Дефицит витамина D вызывает снижение уровня кальция в крови и повышение уровня паратиреоидного гормона (ПТГ). ПТГ увеличивает метаболизм костной ткани, нормализуя уровень кальция в крови. Повышение костной скintiграфии наблюдалось у 50% пациентов с ПФБС [1, 3]. На основании данных КТ (компьютерная томография) показывающей костный метаболизм, сообщалось об усилении поражения в 85% коленных суставов с ПФБС [2, 11]. Увеличение костного метаболизма также наблюдается при стрессовых переломах. Недавно были опубликованы исследования о том, что стрессовые переломы могут быть связаны с дефицитом витамина D.

DeLuca H.F. сообщил что 83% пациентов с диагнозом «стрессовые переломы» имели дефицит витамина D. В недавнем метаанализе стрессовые переломы у военнослужащих были связаны с более низким уровнем 25(ОН)D в сыворотке крови. Низкий уровень 25(ОН)D в сыворотке может

способствовать повышенной метаболической активности, наблюдаемой в коленях с ПФБС [5].

Уровни 25(ОН)D меняются в зависимости от сезона. В ряде исследований, проведенных в Турции самые низкие уровни 25(ОН)D наблюдались зимой и весной [8].

Последствия низкого уровня витамина D, сохраняющиеся в зимние месяцы, могут усиливаться со временем и вызывать симптомы ПФБС, особенно весной.

Важные ограничения этого исследования заключаются в том, что оно не включало взаимосвязь между уровнями боли и функциональным состоянием пациентов и уровнями 25(ОН)D, а также не изучало взаимосвязь между изменениями и изменениями уровней 25(ОН)D.

Кроме того, не следует забывать, что низкий уровень витамина D в сыворотке крови характерен для здоровых людей и спортсменов. Поэтому из-за небольшой исследовательской группы и ретроспективного дизайна результаты этого исследования следует рассматривать с осторожностью [4, 11].

В заключении можно утверждать, что низкие уровни 25(ОН)D вносят вклад в патофизиологию ПФБС. Необходимы проспективные исследования, подкрепленные методами визуализации, для оценки уровня витамина D, факторов риска, боли и функции у пациентов с ПФБС.

Список литературы / References

1. Arnsen Y., Amital H., Shoenfeld Y. Vitamin D and autoimmunity: new aetiological and therapeutic considerations. *Ann Rheum Dis.*, 2007, vol. 66, no. 9, pp. 1137–1142. <https://www.doi.org/10.1136/ard.2007.069831>
2. Autier P., Mullie P., Macacu A., et al. Effect of vitamin D supplementation on non-skeletal disorders: A systematic review of meta-analyses and randomised trials. *Lancet Diabetes Endocrinol.*, 2017, vol. 5, no. 12, pp. 986–1004. [https://www.doi.org/10.1016/S2213-8587\(17\)30357-1](https://www.doi.org/10.1016/S2213-8587(17)30357-1)
3. Calvo M.S., Whiting S.J., Barton C.N. Vitamin D intake: a global perspective of current status. *The Journal of Nutrition*, 2005, vol. 135, no. 2, pp. 310-316. <https://doi.org/10.1093/jn/135.2.310>
4. Colotta F., Jansson B., Bonelli F. Modulation of inflammatory and immune responses by vitamin D. *J Autoimmun.*, 2017, vol. 85, pp. 78-97. <https://www.doi.org/10.1016/j.jaut.2017.07.007>
5. DeLuca H.F. Overview of general physiologic features and functions of vitamin D. *Am J Clin Nutr.*, 2004, vol. 80, no. 6, pp. 1689-1696. <https://doi.org/10.1093/ajcn/80.6.1689s>

6. Glover T., Goodin B., Horgas A. et al. Hydroxyvitamin D levels below 25 ng/mL are associated with increased osteoarthritis symptoms and decreased pressure pain threshold in a clinical sample with chronic knee pain. *J Pain.*, 2012, vol. 13, no. 4, S88. <https://www.doi.org/10.1016/j.jpain.2012.01.364>
7. Hansen P., Willick S. Musculoskeletal disorders of the lower limb / Cifu D, editor. *Braddom's physical medicine and rehabilitation*. 3rd ed. Philadelphia: Elsevier Saunders, 2016, p. 855–881.
8. Heaney R.P., Holick M.F. Why the IOM recommendations for vitamin D are deficient. *J Bone Miner Res.*, 2011, vol. 26, no. 3, pp. 455–457. <https://www.doi.org/10.1002/jbmr.328>
9. Hovsepian S., Amini M., Aminorroaya A., Amini P., Iraj B. Prevalence of vitamin D deficiency among adult population of Isfahan city, Iran. *J Health Popul Nutr.*, 2011, vol. 29, no. 2, pp. 149–55. <https://www.doi.org/10.3329/jhpn.v29i2.7857>
10. Kroger H., Penttila I.M., Alhava E.M. Low serum vitamin D metabolites in women with rheumatoid arthritis. *Scand J Rheumatol.*, 1993, vol. 22, no. 4, pp. 172–177. <https://www.doi.org/10.3109/03009749309099266>
11. Lehmann B., Meurer M. Vitamin D metabolism. *Dermatol Ther.* 2010, vol. 23(1), pp. 2012. <https://www.doi.org/10.1111/j.1529-8019.2009.01286.x>
12. Manoy P., Yuktanandana P., Tanavalee A., et al. Vitamin D supplementation improves quality of life and physical performance in osteoarthritis patients. *Nutrients.*, 2017, vol. 9, no. 8, p. 799. <https://www.doi.org/10.3390/nu9080799>
13. Nayir T., Aydın C.G., Eroglu A., et al. Does the regular sports activities affect vitamin D levels at young athletes. A cross sectional study. *Acta Medica Meditteranea*, 2017, vol. 33, no. 6, pp. 913–9. https://www.doi.org/10.19193/0393-6384_2017_6_145
14. Yao P., Bennett D., Mafham M, et al. Vitamin D and calcium for the prevention of fracture: A systematic review and meta-analysis. *JAMA Netw Open.*, 2019, vol. 2, no. 12, e1917789. <https://www.doi.org/10.1001/jamanetworkopen.2019.17789>

ДАнные об авторах

Гусейнова Улькар Аслан, докторант, врач-физиотерапевт

Азербайджанская Государственная Академия Физической культуры и Спорта

ул. М.Ф. Хойского, 34, г. Баку, AZ1110, Азербайджан

huseynovaulker@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

Ulkar Aslan Huseynova, PhD student, physiotherapist
Azerbaijan State Academy of Physical Education and Sport
34, M.F. Khoisky Str., Baku, AZ1110, Azerbaijan
huseynovaulker@gmail.com
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1611-0859>
ResearcherID: ABT-0444-2022

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 19.06.2023

После рецензирования 23.07.2023

Принята 31.07.2023

Received 19.06.2023

Revised 23.07.2023

Accepted 31.07.2023

DOI: 10.12731/2658-6649-2024-16-2-822

УДК 159.9.072:616-006



Научная статья

СВЯЗЬ ПСИХОЛОГИЧЕСКИХ ОСОБЕННОСТЕЙ ПАЦИЕНТОВ С РАКОМ ЛЕГКОГО С РАННЕЙ ДИАГНОСТИКОЙ И ПОСЛЕДУЮЩИМ ТЕЧЕНИЕМ ОНКОЗАБОЛЕВАНИЯ

*Д.А. Циринг, Я.Н. Пахомова, И.В. Пономарева,
А.И. Кузнецова*

Обоснование. В структуре онкологических заболеваний рак легкого одна из самых распространенных патологий, характеризующаяся высокой летальностью. Вероятность пятилетней выживаемости выше для пациентов, получающих лечение на ранних стадиях рака.

Цель. Исследование посвящено изучению связи психологических особенностей онкопациентов с ранней диагностикой заболевания и последующим течением болезни.

Материалы и методы. В исследовании приняли участие 72 пациента с диагностированным раком легкого в возрасте от 39 до 80 лет. В соответствии с целью исследования респонденты были объединены в две группы в зависимости от стадии заболевания (раннее и позднее обращение) и в зависимости от течения болезни (благоприятное и неблагоприятное). Исследование проводилось с применением комплекса психодиагностических методик, методами математической статистики выступили методы описательной статистики, дискриминантный анализ.

Результаты. Раннее выявление рака легкого связано с такими особенностями, как пессимистический атрибутивный стиль, эмоциональная стабильность, интернальный локус контроля в области межличностных отношений, редкое применение стратегии совладания «Бегство-избегание». Благоприятному течению болезни способствуют редкое применение копинг-стратегии «Бегство-избегание», выраженность показателя жизнестойкости «Контроль».

Заключение. Таким образом, полученные данные открывают новые возможности в персонализированном подходе к лечению рака и могут быть

использованы в психосоциальной и психотерапевтической практике для пациентов с раком легкого.

Ключевые слова: медицинская психология; онкопсихология; рак легкого; течение болезни; психологические особенности; качество жизни

Для цитирования. Циринг Д.А., Пахомова Я.Н., Пономарева И.В., Кузнецова А.И. Связь психологических особенностей пациентов с раком легкого с ранней диагностикой и последующим течением онкозаболевания // *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*. 2024. Т. 16, №2. С. 359-376. DOI: 10.12731/2658-6649-2024-16-2-822

Original article

THE RELATIONSHIP OF PSYCHOLOGICAL CHARACTERISTICS OF PATIENTS WITH LUNG CANCER WITH EARLY DIAGNOSIS AND SUBSEQUENT TREATMENT OF CANCER

*D.A. Tsiring, Ya.N. Pakhomova, I.V. Ponomareva,
A.I. Kuznetsova*

Background. In the structure of oncological diseases, lung cancer is one of the most common pathologies characterized by high mortality. The probability of five-year survival is higher for patients receiving treatment in the early stages of cancer.

Purpose. The study is devoted to the study of the relationship between the psychological characteristics of cancer patients with early diagnosis of the disease and the subsequent course of the disease.

Materials and methods. The study involved 72 patients with diagnosed lung cancer aged 39 to 80 years. In accordance with the purpose of the study, the respondents were grouped into two groups depending on the stage of the disease (early and late treatment) and depending on the course of the disease (favorable and unfavorable). The study was conducted using a complex of psychodiagnostic techniques, methods of mathematical statistics were methods of descriptive statistics, discriminant analysis.

Results. Early detection of lung cancer is associated with such features as a pessimistic attributive style, emotional stability, an internal locus of control in the field of interpersonal relations, a rare use of the Escape-avoidance coping strate-

gy. The favorable course of the disease is facilitated by the rare use of the coping strategy "Escape-avoidance", the severity of the indicator of resilience "Control".

Conclusion. Thus, the obtained data open up new possibilities in a personalized approach to cancer treatment and can be used in psychosocial and psychotherapeutic practice for patients with lung cancer.

Keywords: medical psychology; oncopsychology; lung cancer; course of the disease; psychological characteristics; quality of life

For citation. Tsiring D.A., Pakhomova Ya.N., Ponomareva I.V., Kuznetsova A.I. The Relationship of Psychological Characteristics of Patients with Lung Cancer with Early Diagnosis and Subsequent Treatment of Cancer. *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*, 2024, vol. 16, no. 2, pp. 359-376. DOI: 10.12731/2658-6649-2024-16-2-822

Введение

Рак легкого является наиболее частым злокачественным новообразованием в большинстве стран и основной причиной смертности от рака во всем мире среди лиц обоих полов [5]. Ежегодно диагностируется более двух миллионов случаев. Рак легкого – это заболевание с интенсивным курсом лечения, связанное с более высоким уровнем психологического стресса, чем любой другой тип рака, и относится к опухолям с высоким риском летальности. Рост показателей заболеваемости сопровождается увеличением показателей смертности [5, 16]. Также по отношению к раку легкого существует устойчивое представление о влиянии социальных факторов и образа жизни, в частности наличия вредных привычек, на его возникновение [1].

Канцерогенез рака легких связан с рядом возможных причин и факторов риска. Наибольший риск развития рака легких на сегодняшний день связан с курением сигарет. Также к факторам риска ученые относят возраст, загрязнение окружающей среды, профессиональные воздействия, пол, расу, генетическую предрасположенность, ранее существовавшие заболевания легких и воздействие радона [6, 11, 14]. Психологические факторы риска рака легких исследованы в меньшей степени [15].

Рак легкого считается неизлечимым в случаях поздней диагностики заболевания (на четвертой стадии) [8]. Диагностика рака на ранних стадиях онкогенеза значительно увеличивает шансы на успешное лечение, выживаемость пациентов. Проблема в том, что рак легкого достаточно трудно диагностировать на ранних стадиях. Препятствиями для ранней диагностики и лечения рака могут быть: недостаточная осведомленность о симптомах рака, чтобы обращаться к специалистам здравоохранения,

финансовые, материально-технические или психосоциальные факторы [2]. Значительно улучшить прогноз заболевания можно с помощью современных диагностических технологий, а также при подключении данных смежных наук, в том числе психологии. Так, важным условием плодотворного поиска решения проблемы онкологического заболевания является объединение исследований различных научных дисциплин, изучающих человека и его здоровье на разных уровнях.

Фокус внимания в данном исследовании направлен на изучение связи психологических особенностей пациентов с раком легкого с ранней диагностикой и с последующим течением онкозаболевания. В качестве психологических особенностей в данном исследовании рассматриваются: когнитивные характеристики (локус контроля, система базисных убеждений, жизненные ориентации, жизнестойкость), системные личностные характеристики (личностная беспомощность / самостоятельность), поведенческие особенности (совладающее поведение).

Материалы и методы

Исследование связи психологических особенностей пациентов с раком легкого с ранней диагностикой и с последующим течением заболевания проводилось на базе ГБУЗ «Челябинский областной клинический центр онкологии и ядерной медицины» (Челябинск, Россия). В исследовании приняли участие пациенты с диагностированным раком легкого (мелкоклеточный и немелкоклеточный тип опухоли, исходящей из эпителия ткани крупных и средних бронхов, мелких бронхиол и альвеол) в возрасте от 39 до 80 лет (N=72). Подробное описание выборки представлено в таблице 1.

Благоприятное течение болезни предполагает полное излечение или снижение активности разрастания опухоли и клинических симптомов (ремиссия), незначительный рост или уменьшение опухоли без появления новых очагов поражения (стабилизация). Неблагоприятное течение болезни включает рецидив опухоли (возвращение злокачественного заболевания после периода ремиссии), генерализацию (распространение болезненного процесса по всему органу или даже организму), прогрессию опухоли (появление новых отдаленных метастазов рака с последующими возможными качественными изменениями в структуре новообразования), диагностику второго рака, смерть пациента. Исследование проводилось в индивидуальном порядке с пациентами во время посещения последними врача. Информация о течение болезни, стадии заболевания была собрана при помощи анализа медицинских карт пациентов. Проведение исследования

было одобрено Комитетом по биоэтике ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский «Томский государственный университет» (г. Томск, Россия) (№ 5 от 11 февраля 2021 г.). Пациенты были уведомлены о целях и задачах исследования и подписали письменное информированное согласие на проведение исследования.

Таблица 1.

**Социо-демографические и медицинские характеристики
выборки исследования**

Социо-демографические характеристики					Стадия диагно- стики, чел.	Течение заболевания, чел.
Пол	N	Средний возраст (медиана)	Семейное положе- ние, чел.	Рабочий статус, чел.		
Муж- чины	42	60,4 (61)	Женат – 29 Холост – 13	Трудоу- строен – 21 Безработ- ный – 21	I – 7 II – 7 III – 14 IV – 14	Ремиссия – 4 Стабилизация – 7 Прогрессирование – 10 Генерализация – 2 Рецидив – 0 В процессе лечения на мо- мент исследования – 19
Жен- щины	30	60,9 (61,5)	Замужем – 20 Не заму- жем – 10	Трудоу- строен – 12 Безработ- ный – 18	I – 8 II – 4 III – 6 IV – 12	Ремиссия – 3 Стабилизация – 6 Прогрессирование – 4 Генерализация – 1 Рецидив – 0 В процессе лечения на мо- мент исследования – 16
Всего	72	60,6 (61)	Женат (замужем) – 49 Холост (не замужем) – 23	Трудоу- строен – 33 Безработ- ный – 39	I – 15 II – 11 III – 20 IV – 26	Ремиссия – 7 Стабилизация – 13 Прогрессирование – 14 Генерализация – 3 Рецидив – 0 В процессе лечения на мо- мент исследования – 35

Методами диагностики психологических предикторов благоприятно-го/неблагоприятного течения болезни при ранней и поздней диагностике рака легких у пациентов выступили опросные методы: шкала базисных убеждений (R. Janoff-Bulman, адаптация М.А. Падун, А.В. Котельнико-вой); методика уровня субъективного контроля (J. Rotter, Е.Ф. Бажин, Е.А. Голынкина, Л.М. Эткинд); тест жизненной ориентации (M.F. Scheier, C.S Carver, адаптация Д.А. Циринг, К.Ю. Эвниной, 2013), тест жизнестой-кости (S. Maddi, адаптация Д.А. Леонтьева, Е.И. Рассказовой (Леонтьев, Рассказова, 2006)), опросник личностной беспомощности (Д.А. Циринг,

А.В. Степаненко), опросник «Способы совладающего поведения» (R. Lazarus, в адаптации Крюковой Т.Л., Замышляевой М.С., Куфтяк Е.В.). В качестве методов количественной обработки эмпирических данных применены методы дескриптивной статистики (среднее, медиана, таблицы сопряженности), дискриминантный анализ. Методы дескриптивной статистики позволяют систематизировать, уточнить полученные эмпирические данные с целью обнаружения в них интерпретируемых особенностей и закономерностей. Дискриминантный анализ используется с целью определения, какие переменные различают две или более естественно возникающие совокупности (группы). Исходными данными для дискриминантного анализа выступают множество объектов (независимые переменные), разделенных на группы так, что каждый объект может быть отнесен только к одной группе (зависимая переменная).

Исследование связи психологических особенностей пациентов с раком легкого с ранней диагностикой и с последующим течением заболевания включало в себя решение трех ключевых задач. Во-первых, изучение связи между стадией диагностики и дальнейшим течением болезни. Во-вторых, выявление психологических предикторов ранней диагностики рака легкого. В-третьих, изучение психологических предикторов благоприятного течения болезни.

Результаты исследования

Изучение связи между стадией диагностики и дальнейшим течением болезни показало, что пациенты, обращающиеся на ранних стадиях онкологического заболевания, в будущем имеют благоприятное течение болезни (таблица 2).

Таблица 2.

Сопряженность стадии диагностики рака легкого и течения заболевания

Стадия диагностики	Благоприятное течение (ремиссия, стабилизация)	Неблагоприятное течение (прогрессирование, генерализация)	Всего
I стадия	10	1	11
II стадия	7	1	8
III стадия	3	3	6
IV стадия	0	12	12
Всего	20	17	37

Использование критерия хи-квадрат Пирсона продемонстрировало, что связь между временем диагностики заболевания и течением болезни име-

ется на уровне статистической значимости ($p = 0,0001$). Определено, что респонденты с ранним обращением к врачу имеют в дальнейшем более благоприятное течение рака легкого, а онкологическое заболевание пациентов при поздней диагностике (III и IV стадии) характеризуются неблагоприятным течением.

Для определения показателей, влияющих на распределение респондентов по времени обращения к врачу (ранняя или поздняя стадия заболевания), был проведен дискриминантный анализ (пошаговый метод). Группирующим фактором выступили группы пациентов с ранними и поздними стадиями диагностики рака легкого, в качестве независимых – когнитивные особенности (локус контроля, жизнестойкость, жизненная ориентация, базисные убеждения), способы совладающего поведения, системные личностные характеристики (личностная беспомощность/самостоятельность). Результаты дискриминантного анализа позволили выделить четыре фактора, достоверно определяющих принадлежность испытуемых к различным группам в зависимости от стадии обращения (таблица 3).

Таблица 3.

**Результаты исследования психологических предикторов
раннего выявления рака легкого**

Дискриминантные переменные	Среднее		λ (Лямбда Уилкса)	F	P
	Пациенты при ранней диагностике	Пациенты при поздней диагностике			
Бегство-избегание	11,15	12,24	0,48	7,82	0,001
Пессимистический атрибутивный стиль как показатель личностной беспомощности	5,08	4,07	0,43	8,05	0,001
Эмоциональная неустойчивость как показатель личностной беспомощности	3,08	4,55	0,48	9,28	0,001
Локус контроля в межличностных отношениях	6,08	0,9	0,32	8,86	0,001

В результате дискриминантного анализа в отношении классификации процент совпадения реальной классификации и классификации объектов при помощи канонических функций составляет 97,2 % при значении

$\lambda=0,48$ и статистической значимости $p=0,001$ и указывает на то, что набор дискриминантных переменных обладает высокой дискриминативной способностью.

Психологические особенности, опосредуя время обращения к врачу, могут в том числе модулировать течение болезни. Для изучения переменных, влияющих на распределение пациентов с разным течением болезни, был проведен дискриминантный анализ. В данном случае зависимой переменной определена отнесенность испытуемого к группе, характеризующейся благоприятным или неблагоприятным течением болезни, независимыми переменными выступили показатели качества жизни, когнитивные и поведенческие особенности пациентов, показатели личностной беспомощности/самостоятельности. Результаты представлены в таблице 4.

Таблица 4.

Результаты исследования психологических предикторов течения рака легкого

Дискриминантные переменные	Среднее		λ (Лямбда Уилкса)	F	P
	Пациенты с благоприятным течением	Пациенты с неблагоприятным течением			
Бегство-избегание	10,5	12,88	0,35	4,13	0,05
Контроль	28,88	21,59	0,48	5,92	0,02

Процент совпадения реальной классификации и классификации объектов при помощи канонических функций составляет согласно результатам дискриминантного анализа 92 % при значении $\lambda=0,38$ и статистической значимости $p=0,02$. Полученная дискриминантная функция, указывает на то, что данный набор дискриминантных переменных обладает хорошей предсказательной способностью.

Обсуждение

Согласно результатам проведенного исследования, пациенты с ранней диагностикой онкологического заболевания (I и II стадии заболевания) имеют более благоприятное течение болезни в последующем. Неблагоприятное течение болезни чаще встречается у пациентов с поздними стадиями онкозаболевания (III и IV стадии заболевания). Полученные данные согласуются с результатами других исследований. При оценке пятилетней выживаемости при раке легкого показатели продолжительности жизни варьируются от 73 % при I стадии до 13% при IV стадии [10, 17, 19, 20]. Так, более высокая клиническая стадия заболевания может привести к худшему

прогнозу течения болезни и выживаемости. Woodard и соавторы подчеркивают, что стадия заболевания является наиболее важным прогностическим фактором в прогнозировании течения заболевания, частоты рецидивов и продолжительности жизни [19].

Несмотря на то, что сегодня онкология как наукоемкая отрасль медицины демонстрирует прогресс в диагностике и лечении онкозаболеваний, мало что известно о связи психологических особенностей пациентов с раком легкого с ранней диагностикой и с последующим течением заболевания.

При изучении связи ранней диагностики рака легкого и психологических особенностей пациентов было обнаружено, что раннее обращение к врачу определяют следующие характеристики: редкое использование копинг-стратегии «Бегство-избегание», пессимистический атрибутивный стиль, эмоциональная стабильность, интернальный локус контроля в межличностных отношениях. Полученные данные дополняют описанные ранее результаты исследования психологических факторов ранней диагностики злокачественных новообразований наиболее частых локализаций на примере рака легких [2]. Пессимистическая атрибуция, предполагающая установку, что в жизни преобладают негативные события, причиной которых является сам субъект, обуславливает обращение к специалисту-онкологу на ранних стадиях заболевания. Пациенты с раком легкого на начальных стадиях болезни в меньшей степени уверены в том, что с ними могут происходить благоприятные события, по сравнению с пациентами с III или IV стадией. Оптимистичный стиль объяснения происходящего в данном случае выступает фактором, мешающим обнаружить начальные признаки заболевания, заподозрить проблемы с собственным здоровьем и обратиться к специалисту.

Пациенты, характеризующиеся ранней диагностикой рака легкого, отличаются эмоциональной стабильностью, более уравновешены, и данный факт определяет обращение к врачу для постановки диагноза на начальных стадиях. Устойчивость по отношению к внешним раздражителям, низкий уровень напряженности, состояние спокойствия позволяют обнаружить первые признаки недомогания, а также вовремя обратиться в медицинское учреждение за помощью [3]. Неуравновешенность процессов возбуждения и торможения, повышенная чувствительность к внешним раздражителям, пониженный эмоциональный фон, трудности в стабилизации эмоций и выраженная тревожность характеризуют эмоциональную неустойчивость [4, 7, 9, 12] свойственны пациентам с поздними стадия-

ми диагностики заболевания, выступают предиктором, препятствующим ранней диагностике рака легкого. Эмоциональная устойчивость, таким образом, выступает предиктором, обуславливающим раннюю диагностику онкологического заболевания.

Помимо оптимистического стиля объяснения и эмоциональной нестабильности, пациенты с раком легкого при поздней стадии диагностики болезни характеризуются реагированием на стрессовые события уклонением от их решения, отрицанием существования проблемы, уходом в фантазии и т.п. Частое применение копинг-стратегии «Бегство-избегание» является, согласно полученным данным, предиктором позднего выявления рака легкого.

Стратегии совладания являются психологическими механизмами адаптации к стрессовым ситуациям. Бегство-избегание, как правило, рассматривается как неадаптивная стратегия, но в ряде ситуаций данный способ совладания имеет определенные преимущества: снижение напряжения в стрессовых условиях, разрядка эмоционального состояния. Пациенты с III или IV стадией рака легкого склонны отрицать, игнорировать проблемы, избегать действий по разрешению трудностей, проявлять пассивность без стремления осмыслить ситуацию и найти возможные пути разрешения сложностей. Предпочтение данной стратегии совладания пациентами с раком легкого в совокупности с другими переменными обуславливает позднюю диагностику заболевания.

Интернальный (внутренний) локус контроля в межличностных отношениях выражен у респондентов с начальными стадиями заболевания и является психологическим предиктором раннего выявления рака легкого. Интернальность в межличностных отношениях как уверенность в том, что сам субъект может контролировать дистанцию общения, повышает его уверенность в возможности более или менее эффективно контролировать среду, происходящее в окружающей действительности [18]. Внутренний локус контроля в области межличностных отношений указывает на то, что субъект считает себя ответственным за построение взаимоотношений с другими, способным формировать свой круг общения, контролировать отношения с окружающими. Уверенность в том, что отношения зависят от действий самого человека, являются продуктом его активности, способствует установлению адекватных межличностных отношений. Перечисленные особенности обуславливают раннюю диагностику рака легкого.

Пациенты, находящиеся на поздних стадиях заболевания, в межличностных отношениях демонстрируют экстернальность: не рассматривают изменения среды как результат собственных усилий, менее эффективно

взаимодействуют с другими, по сравнению с пациентами с интернальным локусом контроля. Конформное, уступчивое поведение, склонность придавать большее значение при интерпретации и объяснении причин происходящего во взаимоотношениях обстоятельствам и другим людям характеризует респондентов на III или IV стадии рака легкого. Так, лица, склонные приписывать ответственность внешним факторам, довольно поздно обращаются к врачу для постановки диагноза, ориентируясь на то, что любые отношения должны быть инициированы кем-то другим. Полученные данные согласуются с результатами исследования взаимосвязи локуса контроля и раннего выявления рака шейки матки [13].

Далее мы изучили предикторы течения болезни на выборке больных раком легкого. Варианты исхода заболевания (благоприятный – ремиссия, стабилизация; неблагоприятный – прогрессирование, генерализация) выступили как группирующий фактор. Используя разные группирующие переменные, мы обнаруживаем различные перечни психологических предикторов для ранней диагностики рака легкого и для течения болезни. Так, копинг-стратегия «Бегство-избегание» и контроль, как показатель жизнестойкости, выступают предикативными маркерами течения рака легкого.

Избегающая стратегия совладающего поведения чаще применяется пациентами с неблагоприятным течением болезни, по сравнению с пациентами с благоприятным течением. Пассивная позиция при разрешении трудностей, уклонение от мыслей о них, тревога и эмоциональное напряжение, связанные с необходимостью решить проблему, но при отсутствии ресурса, возможности, стремления. Внешне данная стратегия проявляется в виде несвойственного для субъекта поведения: наигранное веселье, чрезмерная активность, направленная не на решение проблемы, а на посторонние действия с целью отвлечься, замкнутость, раздражительность и т.п. Бегство-избегание выступает психологическим предиктором неблагоприятного течения болезни, препятствует наступлению ремиссии или стабилизации.

Следующим психологическим предиктором течения болезни выступил показатель контроля, значения которого значимо выше у пациентов с благоприятным течением рака легкого. Контроль представляет собой убеждение субъекта в том, что на происходящее в его жизни он может оказывать влияние. Ощущение беспомощности и бессилия, являясь противоположной контролю характеристикой, свойственно респондентам с раком легкого при неблагоприятном течении. Такие пациенты не чувствуют, что им подвластно что-то изменить в своей жизни, оказываются заложниками ситуации, условий.

Заключение

Таким образом, психологическими предикторами раннего выявления рака легкого выступают: пессимистический атрибутивный стиль, эмоциональная стабильность, интернальный локус контроля в области межличностных отношений, редкое применение стратегии совладания «Бегство-избегание». В отношении благоприятного течения болезни выявлено два психологических предиктора: редкое применение копинг-стратегии «Бегство-избегание», выраженность показателя жизнестойкости «Контроль».

Исследование связи психологических особенностей пациентов с раком легкого с временем диагностики и последующим течением онкозаболевания позволяет нам определить перечень предикторов, способствующих или препятствующих выздоровлению пациента. Психологические особенности пациентов могут определять время обращения к онкологу для постановки диагноза, а в последующем модулировать течение болезни, оказывать глубокое влияние на самочувствие пациентов. Полученные перечни психологических предикторов выявления рака и течения заболевания могут быть использованы в психосоциальной и психотерапевтической практике для пациентов с раком легкого. Понимание предикторов течения рака открывает новые возможности в персонализированном подходе к лечению рака, к получению положительных результатов в лечении и повышению его эффективности.

Ограничением настоящего исследования является отсутствие оценки динамики психологических особенностей пациентов на разных этапах лечения – с момента обращения к врачу для постановки диагноза до позднего послеоперационного периода. Применение лонгитюдного метода на следующих этапах работы в рамках изучения связи психологических особенностей пациентов с временем диагностики и последующим течением болезни позволит более детально оценить влияние психологических предикторов на благоприятный и неблагоприятный исход заболевания. Также перспективой исследования выступает изучение связи половозрастных и психологических особенностей пациентов с раком легкого.

Финансирование. Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 21-18-00434, <https://rscf.ru/project/21-18-00434/>.

Funding. The research has been funded by the Russian Science Foundation, grant No. 21-18-00434, <https://rscf.ru/project/21-18-00434/>.

Список литературы

1. Симонова О.Н., Корытова Л.И., Мусс В.Ф., Чулкова В.А., Пестерева Е.В. Информированность больного раком легкого о заболевании и его психологическая адаптация // Вопросы онкологии. 2008. Т. 54, №1. С. 82-85.
2. Циринг Д.А., Сергиенко Е.А., Пономарева И.В., Пахомова Я.Н. Психологические факторы ранней диагностики злокачественных новообразований наиболее частых локализаций (на примере рака легких и рака желудка) // Сибирский психологический журнал. 2023. № 87. С. 124-137. <https://doi.org/10.17223/17267080/87/7>
3. Brintzenhofesoc K., Davis C., Kayser K., Lee H. Y., Nedjat-Haiem F., Oktay J. S., Zabora J., Zebrack B. J. Screening for psychosocial distress: a national survey of oncology social workers // Journal of psychosocial oncology, 2015, no. 33(1), pp. 34–47. <https://doi.org/10.1080/07347332.2014.977416>
4. Dursun P., Alyagut P., Yılmaz I. Meaning in life, psychological hardiness and death anxiety: individuals with or without generalized anxiety disorder (GAD) // Current psychology, 2022, no. 41(6), pp. 3299–3317. <https://doi.org/10.1007/s12144-021-02695-3>
5. Ferlay J., Ervik M., Lam F. et al. Global Cancer Observatory: Cancer Today. Lyon, France: International Agency for Research on Cancer, 2020. <https://gco.iarc.fr/today>
6. Groot P., Munden, R. F. Lung cancer epidemiology, risk factors, and prevention // Radiologic clinics of North America, 2012, no. 50 (5), pp. 863–876. <https://doi.org/10.1016/j.rcl.2012.06.006>
7. Hirano K., Oba K., Saito T., Kawashima R., Sugiura, M. Social-coalitional trait is related to coping capacity with mortality threat: association with leadership and a reduced parietal response to mortality salience // Frontiers in behavioral neuroscience, 2023, no. 17, pp. 1-9. <https://doi.org/10.3389/fnbeh.2023.1188878>
8. Judd J., Borghaei H. Combining Immunotherapy and Chemotherapy for Non-Small Cell Lung Cancer // Thoracic Surgery Clinics, 2020, vol. 30, no. 2, pp. 199-206.
9. Kobasa S. C., Maddi S. R., Puccetti M. C., Zola M. A. Effectiveness of hardiness, exercise and social support as resources against illness // Journal of psychosomatic research, 1985, vol. 29, no. 5, pp. 525–533. [https://doi.org/10.1016/0022-3999\(85\)90086-8](https://doi.org/10.1016/0022-3999(85)90086-8)
10. Kong F., Yang H., Wang Q., Wei Zh., Ye X. A prognostic model for predicting progression-free survival in patients with advanced non-small cell lung cancer after image-guided microwave ablation plus chemotherapy // European radiology, 2023. <https://doi.org/10.1007/s00330-023-09804-9>

11. Malhotra J., Malvezzi M., Negri E., La Vecchia C., Boffetta, P. Risk factors for lung cancer worldwide // *The European respiratory journal*, 2016, vol. 48, no. 3, pp. 889–902. <https://doi.org/10.1183/13993003.00359-2016>
12. Mitchell A.J., Chan M., Bhatti H., Halton M., Grassi L., Johansen C., Meader N. Prevalence of depression, anxiety, and adjustment disorder in oncological, haematological, and palliative-care settings: a meta-analysis of 94 interview-based studies // *Lancet Oncology*, 2011, vol. 12, no. 2, pp. 160–174.
13. Muhith A., Winarti E., Perdana S. I., Haryuni S., Rahayu K. I. N., Mallongi A. Internal Locus of Control as a Driving Factor of Early Detection Behavior of Cervical Cancer by Inspection Visual of Acetic Acid Method // *Open Access Macedonian Journal of Medical Sciences*, 2020, 8(E), pp. 113–116. <https://oam-jms.eu/index.php/mjms/article/view/4341>
14. Mustafa M., Azizi J., Ilizam E., Azizan N., Sharifa Sh., Abbas S. Lung Cancer: Risk Factors, Management, And Prognosis // *IOSR Journal of Dental and Medical Sciences*, 2016, no. 15, pp. 94–101. <https://doi.org/10.9790/0853-15100494101>
15. Pereira M., Araújo A., Simões M., Costa C. Influence of Psychological Factors in Breast and Lung Cancer Risk – A Systematic Review // *Frontiers in Psychology*, 2022, vol. 12. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2021.769394>
16. Sung, H., Ferlay, J., Siegel, R.L. Global cancer statistics 2020: GLOBOCAN estimates of incidence and mortality worldwide for 36 cancers in 185 countries // *A Cancer Journal for Clinicians*, 2021. <https://doi.org/10.3322/caac.21660>
17. Tamburini N., Bombardini C., Chiappetta M., Maniscalco P., Valpiani G., Cesario A., Cirocchi R., Anania G., Stefanelli A., Cavallusco G., Margaritora S., Lococo F. Association of the Extent of Resection with Survival in Multiple Primary Lung Cancer: A Systematic Review // *The Thoracic and cardiovascular surgeon*, 2022, vol. 71. <https://doi.org/10.1055/s-0042-1742756>
18. Wang L. Internal-external locus of control scale. *Encyclopedia of Personality and Individual Differences*. Cham: Springer International Publishing, 2017, pp. 1–4.
19. Woodard G. A., Jones K. D., Jablons, D. M. Lung Cancer Staging and Prognosis // *Cancer treatment and research*, 2016, no. 170, pp. 47–75. https://doi.org/10.1007/978-3-319-40389-2_3
20. Zheng Y., Han X., Wu Y., Jia X., Zhang K., Fan J., Shi H. Prognostic Factors for Survival in Multiple Primary Lung Adenocarcinomas: A Retrospective Analysis of 283 Patients // *Technology in cancer research & treatment*, 2023, vol. 22. <https://doi.org/10.1177/15330338231185278>

References

1. Simonova O.N., Korytova L.I., Muss V.F., Chulkova V.A., Pestereva E.V. *Vo-prosy onkologii* [Oncology issues], 2008, vol. 54, no. 1, pp. 82-85.
2. Ciring D.A., Sergienko E.A., Ponomareva I.V., Pahomova Ya.N. *Sibirskij psihologicheskij zhurnal* [Siberian Psychological Journal], 2023, no. 87, pp. 124-137. <https://doi.org/10.17223/17267080/87/7>
3. Brintzenhofesoc K., Davis C., Kayser K., Lee H. Y., Nedjat-Haiem F., Oktay J. S., Zabora J., Zebrack B. J. Screening for psychosocial distress: a national survey of oncology social workers. *Journal of psychosocial oncology*, 2015, no. 33(1), pp. 34–47. <https://doi.org/10.1080/07347332.2014.977416>
4. Dursun P., Alyagut P., Yılmaz I. Meaning in life, psychological hardiness and death anxiety: individuals with or without generalized anxiety disorder (GAD). *Current psychology*, 2022, no. 41(6), pp. 3299–3317. <https://doi.org/10.1007/s12144-021-02695-3>
5. Ferlay J., Ervik M., Lam F. et al. Global Cancer Observatory: Cancer Today. Lyon, France: International Agency for Research on Cancer, 2020. <https://gco.iarc.fr/today>
6. Groot P., Munden, R. F. Lung cancer epidemiology, risk factors, and prevention. *Radiologic clinics of North America*, 2012, no. 50 (5), pp. 863–876. <https://doi.org/10.1016/j.rcl.2012.06.006>
7. Hirano K., Oba K., Saito T., Kawashima R., Sugiura, M. Social-coalitional trait is related to coping capacity with mortality threat: association with leadership and a reduced parietal response to mortality salience. *Frontiers in behavioral neuroscience*, 2023, no. 17, pp. 1-9. <https://doi.org/10.3389/fnbeh.2023.1188878>
8. Judd J., Borghaei H. Combining Immunotherapy and Chemotherapy for Non-Small Cell Lung Cancer. *Thoracic Surgery Clinics*, 2020, vol. 30, no. 2, pp. 199-206.
9. Kobasa S. C., Maddi S. R., Puccetti M. C., Zola M. A. Effectiveness of hardiness, exercise and social support as resources against illness. *Journal of psychosomatic research*, 1985, vol. 29, no. 5, pp. 525–533. [https://doi.org/10.1016/0022-3999\(85\)90086-8](https://doi.org/10.1016/0022-3999(85)90086-8)
10. Kong F., Yang H., Wang Q., Wei Zh., Ye X. A prognostic model for predicting progression-free survival in patients with advanced non-small cell lung cancer after image-guided microwave ablation plus chemotherapy. *European radiology*, 2023. <https://doi.org/10.1007/s00330-023-09804-9>
11. Malhotra J., Malvezzi M., Negri E., La Vecchia C., Boffetta, P. Risk factors for lung cancer worldwide. *The European respiratory journal*, 2016, vol. 48, no. 3, pp. 889–902. <https://doi.org/10.1183/13993003.00359-2016>

12. Mitchell A.J., Chan M., Bhatti H., Halton M., Grassi L., Johansen C., Meader N. Prevalence of depression, anxiety, and adjustment disorder in oncological, haematological, and palliative-care settings: a meta-analysis of 94 interview-based studies. *Lancet Oncology*, 2011, vol. 12, no. 2, pp. 160-174.
13. Muhith A., Winarti E., Perdana S. I., Haryuni S., Rahayu K. I. N., Mallongi A. Internal Locus of Control as a Driving Factor of Early Detection Behavior of Cervical Cancer by Inspection Visual of Acetic Acid Method. *Open Access Macedonian Journal of Medical Sciences*, 2020, vol. 8(E), pp. 113–116. <https://oamjms.eu/index.php/mjms/article/view/4341>
14. Mustafa M., Azizi J., Izzam E., Azizan N., Sharifa Sh., Abbas S. Lung Cancer: Risk Factors, Management, And Prognosis. *IOSR Journal of Dental and Medical Sciences*, 2016, no. 15, pp. 94-101. <https://doi.org/10.9790/0853-15100494101>
15. Pereira M., Araújo A., Simões M., Costa C. Influence of Psychological Factors in Breast and Lung Cancer Risk – A Systematic Review. *Frontiers in Psychology*, 2022, vol. 12. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2021.769394>
16. Sung, H., Ferlay, J., Siegel, R.L. Global cancer statistics 2020: GLOBOCAN estimates of incidence and mortality worldwide for 36 cancers in 185 countries. *A Cancer Journal for Clinicians*, 2021. <https://doi.org/10.3322/caac.21660>
17. Tamburini N., Bombardini C., Chiappetta M., Maniscalco P., Valpiani G., Cesario A., Cirocchi R., Anania G., Stefanelli A., Cavallusco G., Margaritora S., Lococo F. Association of the Extent of Resection with Survival in Multiple Primary Lung Cancer: A Systematic Review. *The Thoracic and cardiovascular surgeon*, 2022, vol. 71. <https://doi.org/10.1055/s-0042-1742756>
18. Wang L. Internal-external locus of control scale. Encyclopedia of Personality and Individual Differences. Cham: Springer International Publishing, 2017, pp. 1-4.
19. Woodard G. A., Jones K. D., Jablons, D. M. Lung Cancer Staging and Prognosis. *Cancer treatment and research*, 2016, no. 170, pp. 47–75. https://doi.org/10.1007/978-3-319-40389-2_3
20. Zheng Y., Han X., Wu Y., Jia X., Zhang K., Fan J., Shi H. Prognostic Factors for Survival in Multiple Primary Lung Adenocarcinomas: A Retrospective Analysis of 283 Patients. *Technology in cancer research & treatment*, 2023, vol. 22. <https://doi.org/10.1177/15330338231185278>

ДАННЫЕ ОБ АВТОРАХ

Циринг Диана Александровна, главный научный сотрудник, доктор психологических наук, профессор
Национальный исследовательский «Томский государственный университет»

*пр. Ленина, 36, г. Томск, 634050, Российская Федерация
l-di@yandex.ru*

Пахомова Яна Николаевна, старший научный сотрудник, кандидат психологических наук; доцент

*Национальный исследовательский «Томский государственный университет»; Челябинский государственный университет
пр. Ленина, 36, г. Томск, 634050, Российская Федерация; ул. Братьев Кашириных, 129, г. Челябинск, 454001, Российская Федерация
sizova159@yandex.ru*

Пономарева Ирина Владимировна, старший научный сотрудник, кандидат психологических наук, доцент; зав. кафедрой

*Национальный исследовательский «Томский государственный университет»; Челябинский государственный университет
пр. Ленина, 36, г. Томск, 634050, Российская Федерация; ул. Братьев Кашириных, 129, г. Челябинск, 454001, Российская Федерация
ivp-csu@yandex.ru*

Кузнецова Анна Игоревна, старший научный сотрудник, кандидат медицинских наук

*Национальный исследовательский «Томский государственный университет»
пр. Ленина, 36, г. Томск, 634050, Российская Федерация
ann_rad@mail.ru*

DATA ABOUT THE AUTHORS

Diana A. Tsiring, Chief Researcher, Doctor of Psychological Sciences, Professor

*National Research Tomsk State University
36, Lenin Ave., Tomsk, Tomsk Region, 634050, Russian Federation
l-di@yandex.ru*

SPIN-code: 8114-4396

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7065-0234>

ResearcherID: T-8555-2017

Scopus Author ID: 26323414700

Yana N. Pakhomova, Senior Researcher, Candidate of Psychological Sciences; Associate Professor

*National Research Tomsk State University; Chelyabinsk State University
36, Lenin Ave., Tomsk, Tomsk Region, 634050, Russian Federation; 129,
Br. Kashirinykh Str., Chelyabinsk, 454001, Russian Federation
sizova159@yandex.ru
SPIN-code: 2960-1491
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9000-7238>
ResearcherID: B-4702-2018
Scopus Author ID: 57200443965*

Irina V. Ponomareva, Senior Researcher, Candidate of Psychological Sciences; Head of the Department

*National Research Tomsk State University; Chelyabinsk State University
36, Lenin Ave., Tomsk, Tomsk Region, 634050, Russian Federation; 129,
Br. Kashirinykh Str., Chelyabinsk, 454001, Russian Federation
ivp-csu@yandex.ru
SPIN-code: 8645-9023
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8600-3533>
ResearcherID: E-8773-2017
Scopus Author ID: 57200443546*

Anna I. Kuznetsova, Senior Researcher, Candidate of Medical Sciences

*National Research Tomsk State University
36, Lenin Ave., Tomsk, Tomsk Region, 634050, Russian Federation
ann_rad@mail.ru
SPIN-code: 6695-9671
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2496-8273>*

Поступила 04.09.2023

После рецензирования 04.10.2023

Принята 01.11.2023

Received 04.09.2023

Revised 04.10.2023

Accepted 01.11.2023

DOI: 10.12731/2658-6649-2024-16-2-1078

УДК 61.616.5-616.51



Научная статья

КЛИНИКО-АНАМНЕСТИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ПСОРИАЗА У ВЗРОСЛЫХ ЛИЦ ГОРОДА БАКУ

П.Г. Манафов

Актуальность. В настоящее время псориаз один из самых распространенных хронических дерматозов, которым страдают от 1 до 3% населения земного шара.

Цель исследования: изучить эпидемиологические особенности распространения псориаза и дать микробиологическую характеристику возбудителей псориаза среди мужчин в г. Баку.

Материал и методы исследования. В контексте цели и задач исследования 490 мужчин, поступившие в Республиканский Кожно-Венерологический Диспансер в 2018-2019 гг. были обследованы на «Псориаз» (в 2018 году – 225 чел. (45,9%), в 2019 году – 265 чел. (54,1%)).

Средний возраст пациентов составлял $22,3 \pm 3,6$ года. Возрастная структура обследованных мужчин была следующей: до 18-ти лет – 33 чел. (6,7%); 18-29 лет – 442 мужчин (90,2%); старше 30-ти лет – 15 чел. (3,1%). Все пациенты были обследованы традиционными методами исследования (сбор анамнеза, общая бактериоскопия, микологические исследования и др.). При необходимости проводилась консультация эндокринолога, гинеколога и аллерголога.

При статистической обработке полученных результатов исследования определяли среднее значение (M) стандартную ошибку среднего значения (m), экстенсивный показатель заболеваемости (%) в различных возрастных группах. Разница между результатами считались статистически значимыми при $p < 0,05$.

Результаты и их обсуждение. Среди всех обследованных мужчин (490 чел.) моно патология обнаружена у 439 пациентов (89,6%), микст патология – у 34 (6,9%). Диагноз «Псориаз» установлен у 214 мужчин, что составляет $43,7 \pm 2,2\%$. Результаты микологических исследований показали наличие грибов у 233 пациентов с установленным диагнозом (47,6%). При установленных моно патологиях различные возбудители обнаруживались у 232 больных (47,3%), микст патологиях – у 4-х (0,8%). Среди выделенных бактериальных возбудителей *St.aureus* был идентифицирован в 4-х случаях (0,8%), *St.epidermidis* – в 3-х случаях (0,6%). Среди ассоциантов возбудителей

частота встречаемости ассоциаций грибов рода *Candida* + *St.aureus* и грибы рода *Candida* + *St.epidermidis* составляла $0,4\pm0,3\%$ соответственно.

Анализ выявляемости псориаза у мужчин в зависимости от возраста показал, что до 18-ти лет у пациентов псориаз определялся у $48,5\pm8,7$ (16 чел.), в возрастной группе 18-29 лет в $43,9\pm2,4\%$ (194 муж.) и в возрастной группе старше 30-ти лет – в $26,7\pm11,4\%$ (4 случая). При изучении выявляемости моно и микст патологии в зависимости от возрастных групп, установлено, что и моно, и микст патология больше регистрировалась в возрастной группе 18-29 лет – $91,1\pm1,4\%$ и $79,4\pm6,9\%$ соответственно ($\chi^2=59,255$; $df=22$; $s=0,000$). Различные бактериальные патогены и грибы рода *Candida* обнаруживались при моно патологиях в $47,6\pm2,4\%$, при микст патологиях – в $0,9\pm0,5\%$.

Выводы. На основе полученных нами результатов установлено, что группу риска по возрасту составила возрастная группа 18-29 лет ($43,9\pm9,2\%$). Факторами риска по возбудителям выступали в основном грибы рода *Candida* и бактериальные патогены, в частности *St.aureus* и *St.epidermidis*. Фактором риска по сезону можно выделить весенне-летнюю сезонность псориаза. Установлено, что частота обнаружения псориаза составляет $43,7\pm2,2\%$. Моно-патология выявлялась в $89,9\pm1,4\%$ случаев, микст патология – в $6,9\pm1,1\%$. Наибольшая выявляемость псориаза отмечалась в возрастной группе 18-29 лет – $43,9\pm2,4\%$. Среди ассоциантов возбудителей частота встречаемости ассоциаций грибов рода *Candida* + *St.epidermidis* составляла $0,4\pm0,3\%$ соответственно. Показано, что псориаз больше обнаруживался в весенние месяцы, но в целом, продемонстрировал весенне-летнюю сезонность.

Ключевые слова: псориаз; мужчины; распространенность; группа риска; фактор риска; сезонность; Баку

Для цитирования. Манафов П.Г. Клинико-анамнестические особенности псориаза у взрослых лиц города Баку // Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture. 2024. Т. 16, №2. С. 377-387. DOI: 10.12731/2658-6649-2024-16-2-1078

Original article

THE CLINIC-ANAMNESTIC FEATURES OF PSORIASIS AT ADULT PERSONS IN BAKU

P.G. Manafov

Background. Currently, psoriasis is one of the most common chronic dermatoses, which affects 1 to 3% of the world's population.

Purpose. The purpose of this study is to study the epidemiological features of the spread of psoriasis and to give a microbiological characteristic of the causative agents of psoriasis among men in Baku.

Material and methods of study. In the context of the purpose and objectives of the study, 490 men admitted to the Republican Dermatovenerologic Dispensary in 2018-2019. were examined for Psoriasis (in 2018 - 225 people (45.9%), in 2019 - 265 people (54.1%)).

The mean age of the patients was 22.3 ± 3.6 years. The age structure of the surveyed men was as follows: up to 18 years old - 33 people. (6.7%); 18-29 years old - 442 men (90.2%); over 30 years old - 15 people. (3.1%). All patients were examined by traditional research methods (history taking, general bacterioscopy, mycological studies, etc.). If necessary, an endocrinologist, gynecologist and allergist were consulted.

During statistical processing of the obtained results of the study, the mean value (M), the standard error of the mean value (m), and the extensive incidence rate (%) in different age groups were determined. The difference between the results was considered statistically significant at $p < 0.05$.

Results. Among all examined men (490 people), mono pathology was found in 439 patients (89.6%), mixed pathology - in 34 (6.9%). The diagnosis of "Psoriasis" was established in 214 men, which is $43.7 \pm 2.2\%$. The results of mycological studies showed the presence of fungi in 233 patients with an established diagnosis (47.6%). With established monopathologies, various pathogens were found in 232 patients (47.3%), mixed pathologies - in 4 (0.8%). Among the isolated bacterial pathogens, *St.aureus* was identified in 4 cases (0.8%), *St.epidermidis* - in 3 cases (0.6%). Among pathogen associates, the frequency of occurrence of associations of fungi of the genus *Candida* + *St.aureus* and fungi of the genus *Candida* + *St.epidermidis* was $0.4 \pm 0.3\%$, respectively.

An analysis of the detection of psoriasis in men depending on age showed that up to 18 years of age in patients psoriasis was determined in 48.5 ± 8.7 (16 people), in the age group of 18-29 years in $43.9 \pm 2.4\%$ (194 men) and in the age group over 30 years old - in $26.7 \pm 11.4\%$ (4 cases).

When studying the detectability of mono and mixed pathologies depending on age groups, it was found that both mono and mixed pathologies were more recorded in the age group of 18-29 years - $91.1 \pm 1.4\%$ and $79.4 \pm 6.9\%$, respectively. ($\chi^2 = 59.255$; $df = 22$; $s = 0.000$). Various bacterial pathogens and fungi of the genus *Candida* were found in monopathologies in $47.6 \pm 2.4\%$, in mixed pathologies in $0.9 \pm 0.5\%$.

Conclusions. Based on the results obtained by us, it was established that the age group of 18-29 years old ($43.9 \pm 9.2\%$) was the risk group by age. Risk factors

for pathogens were mainly fungi of the genus Candida and bacterial pathogens, in particular St.aureus and St.epidermidis. Seasonal risk factor can be distinguished by the spring-summer seasonality of psoriasis. It was found that the detection rate of psoriasis is $43.7 \pm 2.2\%$. Mono-pathology was detected in $89.9 \pm 1.4\%$ of cases, mixed pathology - in $6.9 \pm 1.1\%$. The highest detection rate of psoriasis was observed in the age group of 18-29 years - $43.9 \pm 2.4\%$. Among the associates of pathogens, the frequency of occurrence of associations of fungi of the genus Candida + St.epidermidis was $0.4 \pm 0.3\%$, respectively. It is shown that psoriasis was more detected in the spring months, but in general, showed a spring-summer seasonality.

Keywords: psoriasis; men; prevalence; risk group; risk factor; seasonality; Baku

For citation. Manafov P.G. The Clinic-Anamnestic Features of Psoriasis at Adult Persons in Baku. Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture, 2024, vol. 16, no. 2, pp. 377-387. DOI: 10.12731/2658-6649-2024-16-2-1078

Среди хронических воспалительных заболеваний кожи псориаз занимает центральное место. Несмотря на большое количество исследований по изучению псориаза, причина заболевания остается до конца не выясненной.

В настоящее время псориаз один из самых распространенных хронических дерматозов, которым страдают от 1 до 3% населения земного шара [1, 5, 9, 10].

У детей псориаз встречается относительно редко. По данным литературы, у девочек выявляемость псориаза в 2 раза чаще, чем у мальчиков [2, 3].

Среди населения Земного шара интенсивность распространения псориаза составляет 2-4%, среди детской популяции – 4-6% [3, 4, 12, 14]. Псориаз нередко возникает в возрасте от 10 до 25 лет, но может впервые проявиться в любом возрасте. Псориаз одинаково регистрируется у мужчин и женщин, однако среди детей он чаще встречается у девочек, а среди взрослых – у мужчин (60-65%) [4, 9, 10].

В Европе и Северной Америке заболеваемость псориазом среди детей до 16-ти лет отмечается в 4,1% случаев среди всех дерматозов [6-8, 11, 13, 15].

Цель настоящего исследования изучить эпидемиологические особенности распространения псориаза и дать микробиологическую характеристику возбудителей псориаза среди мужчин в г.Баку.

Материалы и методы

В контексте цели и задач исследования 490 мужчин, поступившие в Республиканский Кожно-Венерологический Диспансер в 2018-2019 гг. были

обследованы на «Псориаз» (в 2018 году – 225 чел. (45,9%), в 2019 году – 265 чел. (54,1%)).

Средний возраст пациентов составлял $22,3 \pm 3,6$ года. Возрастная структура обследованных мужчин была следующей: до 18-ти лет – 33 чел. (6,7%); 18-29 лет – 442 мужчин (90,2%); старше 30-ти лет – 15 чел. (3,1%). Все пациенты были обследованы традиционными методами исследования (сбор анамнеза, общая бактериоскопия, микологические исследования и др.). При необходимости проводилась консультация эндокринолога, гинеколога и аллерголога.

При статистической обработке полученных результатов исследования определяли среднее значение (М) стандартную ошибку среднего значения (m), экстенсивный показатель заболеваемости (%) в различных возрастных группах. Разница между результатами считались статистически значимыми при $p < 0,05$.

Результаты

Среди всех обследованных мужчин (490 чел.) моно патология обнаружена у 439 пациентов (89,6%), микст патология – у 34 (6,9%). Диагноз «Псориаз» установлен у 214 мужчин, что составляет $43,7 \pm 2,2\%$. Результаты микологических исследований показали наличие грибов у 233 пациентов с установленным диагнозом (47,6%). При установленных моно патологиях различные возбудители обнаруживались у 232 больных (47,3%), микст патологиях – у 4-х (0,8%). Среди выделенных бактериальных возбудителей *St.aureus* был идентифицирован в 4-х случаях (0,8%), *St.epidermidis* – в 3-х случаях (0,6%). Среди ассоциантов возбудителей частота встречаемости ассоциаций грибы рода *Candida* + *St.aureus* и грибы рода *Candida* + *St.epidermidis* составляла $0,4 \pm 0,3\%$ соответственно.

Анализ выявляемости псориаза у мужчин в зависимости от возраста показал, что до 18-ти лет у пациентов псориаз определялся у $48,5 \pm 8,7$ (16 чел.), в возрастной группе 18-29 лет в $43,9 \pm 2,4\%$ (194 муж.) и в возрастной группе старше 30-ти лет – в $26,7 \pm 11,4\%$ (4 случая).

При изучении выявляемости моно и микст патологии в зависимости от возрастных групп, установлено, что и моно, и микст патология больше регистрировалась в возрастной группе 18-29 лет – $91,1 \pm 1,4\%$ и $79,4 \pm 6,9\%$ соответственно ($\chi^2=59,255$; $df=22$; $s=0,000$). Различные бактериальные патогены и грибы рода *Candida* обнаруживались при моно патологиях в $47,6 \pm 2,4\%$, при микст патологиях – в $0,9 \pm 0,5\%$.

Ассоциация *Candida* и *St.epidermidis* и *Candida* + *St.aureus* при моно патологиях идентифицировалась у 2-х ($0,5 \pm 0,3\%$) ($\chi^2=0,233$; $df=2$; $s=0,890$) (табл. 1).

Таблица 1.

Патологии и патогены	Возрастные группы		
	До 18-ти лет	18-29 лет	Старше 30-ти лет
Моно патология	81,8±6,7%	90,5±1,4%	80,0±10,3%
Микст патология	18,2±6,7%	6,1±1,1%	6,7±6,4%
Бактериальные возбудители	—	0,9±0,5%	—
St.aureus + Candida	—	0,5±0,3%	—
St.epidermidis + Candida	—	0,5±0,3%	—

Согласно поставленным задач проводился подробный анализ полученных результатов по поводу определения частоты встречаемости псориаза, моно и микст патологий, а также различных возбудителей как этиологического агента по годам (2018 и 2019 годы). Внутригодовая частота выявления псориаза, моно- и микст патологий, этиологических возбудителей показана на таблица 2.

Таблица 2.

Внутригодовая частота выявления псориаза, моно- и микст патологий и этиологических возбудителей

Патологии и патогены	2018 г.	2019 г.
Псориаз	49,3±3,3%	38,9±3,0%
Моно патология	95,1±1,4%	84,9±2,2
Микст патология	4,4±1,4%	9,1±1,8%
Грибы рода Candida	49,8±3,3%	45,7±3,1
Бактерии:		
– St.aureus	1,8±0,9%	—
– St.epidermidis	1,3±0,8%	—

Как видно из таблицы 2, частота выявления псориаза и моно патологии была высокой в 2018 году, микст-патологий – в 2019 году. Среди этиологических возбудителей грибы рода Candida определялись часто в 2018 году, бактериальные возбудители St.aureus и St.epidermidis в 2019 году не были идентифицированы.

С целью изучения сезонных особенностей распространения псориаза среди мужчин за исследуемый период, проанализирована помесечная динамика выявления псориаза. Установлено, что максимальный уровень регистрации псориаза у мужчин попадает на май – 57,5±5,5% (46 муж.). Также в июне (46,3±6,1%) и сентябре (50,0±20,4%) отмечался относительно высокий уровень выявления псориаза по сравнению с остальными

месяцами. В общем, псориаз регистрировался в течение года и четкой сезонности не установлено.

Анализ динамики распределения экстенсивных показателей заболеваемости псориазом, моно- и микст патологиями, а также результатов об этиологических возбудителей при псориазе в зависимости от сезона показал, что псориаз больше обнаруживался в весенние месяцы – $46,5 \pm 3,4\%$ ($\chi^2=1,331$; $df=3$; $s=0,722$). В целом, по нашим данным псориаз продемонстрировал весенне-летнюю сезонность (табл.3).

Таблица 3.

Динамика распределения экстенсивных показателей заболеваемости псориазом, моно и микст патологиями и обнаружения различных возбудителей у мужчин

Патологии и патогены	Сезоны			
	зима	весна	лето	осень
Псориаз	$41,5 \pm 4,1\%$	$46,5 \pm 3,4\%$	$42,3 \pm 3,4\%$	$38,7 \pm 8,7\%$
Моно патология	$89,4 \pm 2,6\%$	$91,5 \pm 1,9\%$	$88,5 \pm 3,1\%$	$80,6 \pm 7,1\%$
Микст патология	$9,2 \pm 2,4\%$	$5,6 \pm 1,6\%$	$7,7 \pm 2,6\%$	$3,2 \pm 3,2\%$
Грибы	$45,1 \pm 4,2\%$	$51,2 \pm 3,4\%$	$44,2 \pm 4,9\%$	$45,2 \pm 8,9\%$
Бактерии:				
– St.aureus	$1,4 \pm 1,0\%$	$0,9 \pm 0,7\%$	–	–
– St.epidermidis	$0,7 \pm 0,7\%$	$0,9 \pm 0,7\%$	–	–

Выводы:

1. Установлено, что частота обнаружения псориаза составляет $43,7 \pm 2,2\%$.
2. Моно-патология выявлялась в $89,9 \pm 1,4\%$ случаев, микст патология – в $6,9 \pm 1,1\%$.
3. Наибольшая выявляемость псориаза отмечалась в возрастной группе 18-29 лет – $43,9 \pm 2,4\%$.
4. Среди ассоциантов возбудителей частота встречаемости ассоциаций грибов рода Candida + St.epidermidis составляла $0,4 \pm 0,3\%$ соответственно.
5. Показано, что псориаз больше обнаруживался в весенние месяцы, но в целом, продемонстрировал весенне-летнюю сезонность.

Обсуждение

Таким образом, проведенный детальный эпидемиологический анализ распространенности псориаза среди мужчин в г.Баку позволил нам установить группы и факторы риска эпидемиологического значения, на что следует обратить внимание при организации и проведении эпидемиологического надзора за Псориазом в популяции мужчин.

На основе полученных нами результатов установлено, что группу риска по возрасту составила возрастная группа 18-29 лет ($43,9 \pm 9,2\%$). Факторами риска по возбудителям выступали в основном грибы рода *Candida* и бактериальные патогены, в частности *St.aureus* и *St.epidermidis*. Фактором риска по сезону можно выделить весенне-летнюю сезонность псориаза.

Несмотря на большое количество исследований по изучению псориаза причина заболевания остается до конца не выясненной. В настоящее время псориаз рассматривают как заболевание мультифакториальной природы с участием генетических, иммунных и средовых факторов [2].

По данным литературы распространенность заболевания с возрастом нарастает от 0,2% среди годовалых детей до 1,2% среди 18-летних [3]. Наши результаты показали, что наибольшая выявляемость псориаза отмечается в возрастной группе 18-29 лет – $43,9 \pm 2,4\%$.

В 2014 году Всемирная Организация Здравоохранения признала Псориаз как серьезное неинфекционное заболевание и отметила необходимость понимания глобального бремени болезни [10].

Данные о частоте встречаемости псориаза в странах мира ограниченные.

Результаты некоторых исследований показывают, что в России заболеваемость Псориазом составляет 31,4 чел. на 100000 населения [1], в Западной Европе 521,1 чел. на 100000 население [6,8], в Объединенном Королевстве – 129,0 чел. на 100000 население [13].

Данные о зависимости выявляемости Псориаза от пола противоречивы. Так, ряд исследователей отмечают высокую выявляемость Псориаза среди женщин, другие наоборот [12, 14].

В проанализированной нами научной литературе мы не обнаружили информации о четкой сезонности Псориаза, в некоторых источниках сообщается различие в выявляемости псориаза в зависимости от уровня дохода страны и географических регионов [9, 10].

Информация о конфликте интересов. Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

Информация о спонсорстве. Работа выполнялась без спонсорской поддержки.

Список литературы

1. Дерматовенерология. Национальное руководство. Под ред. Скрипкина Ю.К., Бутова Ю.С., Иванова О.Л. М., 2011.
2. Кочергин С.Н., Тамразова О.Б., Стадникова А.С. Псориаз у детей и подростков // Consilium Medicum. Педиатрия. 2016. № 2. С. 77-81.

3. Augustin M., Glaeske G., Radike M. et al. Epidemiology and comorbidity of psoriasis in children // *Br. J. Dermatol.*, 2010, vol. 162(3), pp. 633-636. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2133.2009.09593.x>
4. Au S., Goldminz A., Loo D. et al. Association between pediatric psoriasis and the metabolic syndrome // *J. Am. Acad. Dermatol.*, 2012, vol. 66(6), pp. 1012-1013. <https://doi.org/10.1016/j.jaad.2011.11.935>
5. Berth-Jones J. In: Burns T. et al. *Rook's textbook of dermatology*. 8th ed. Oxford: Wiley-Blackwell, 2010, 23, pp. 13–23.
6. Egeberg A., Andersen Y., Thyssen J. Prevalence and characteristics of psoriasis in Denmark: findings from the Danish skin cohort // *BMJ Open*, 2019, vol. 9, pp. 28-46. <https://doi.org/10.1136/bmjopen-2018-028116>
7. Egeberg A., Skov L., Gislason G. et al. Incidence and prevalence of psoriasis in Denmark // *Acta Derm. Venereol.*, 2017, vol. 97, pp. 808-812. <https://doi.org/10.2340/00015555-2672>
8. Jacob C., Meier F., Neidhardt K. et al. Epidemiology and costs of psoriasis in Germany - a retrospective claims data analysis // *Value Health*, 2016, vol. 19, p. 566. <https://doi.org/10.1016/j.jval.2016.09.1269>
9. James S., Abate D., Abate K. et al. Global, regional, and national incidence, prevalence, and years lived with disability for 354 diseases and injuries for 195 countries and territories, 1990–2017: a systematic analysis for the Global Burden of Disease Study 2017 // *Lancet*, 2018, vol. 392, pp. 1789-1858. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(18\)32279-7](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(18)32279-7)
10. Karimkhani C., Dellavalle R., Coffeng L. et al. Global skin disease morbidity and mortality: an update from the Global Burden of Disease Study 2013 // *JAMA Dermatol.*, 2017, vol. 153, pp. 406-412. <https://doi.org/10.1001/jamadermatol.2016.5538>
11. Mercy K., Kwasny M., Cordoro K. et al. Clinical manifestations of pediatric psoriasis results of a multicenter study in the United States // *Pediatr. Dermatol.*, 2013, vol. 30(4), pp. 424-428. <https://doi.org/10.1111/pde.12072>
12. Raychaudhuri S., Maverakis E., Raychaudhuri S. Diagnosis and classification of psoriasis // *Autoimmun Rev.*, 2014, vol. 13(4-5), pp. 490-495. <https://doi.org/10.1016/j.autrev.2014.01.008>
13. Springate D., Parisi R., Kontopantelis et al. Incidence, prevalence and mortality of patients with psoriasis: an UK. population-based cohort study // *Br. J. Dermatol.*, 2017, vol. 176, pp. 650-658. <https://doi.org/10.1111/bjd.15021>
14. Varni J., Globe D., Gandra S. et al. Health-related quality of life of pediatric patients with moderate to severe plaque psoriasis comparisons to four common chronic diseases // *Eur. J. Pediatr.*, 2012, vol. 171(3), pp. 485-492. <https://doi.org/10.1007/s00431-011-1587-2>

15. Wei J., Shi L., Huang J. et al. Epidemiology and medication pattern change of psoriatic diseases in Taiwan from 2000 to 2013: a nationwide, population-based cohort study // *J. Rheumatol.*, 2018, vol. 45, pp. 385-392. <https://doi.org/10.3899/jrheum.170516>

References

1. Dermatovenerology. National manual. Edited by Skripkin Y.K., Butov Y.S., Ivanov O.L. Moscow, 2011.
2. Kochergin S.N., Tamrazova O.B., Stadnikova A.S. Psoriasis in children and adolescents. *Consilium Medicum. Pediatrics*, 2016, no. 2, pp. 77-81.
3. Augustin M., Glaeske G., Radike M. et al. Epidemiology and comorbidity of psoriasis in children. *Br. J. Dermatol.*, 2010, vol. 162(3), pp. 633-636. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2133.2009.09593.x>
4. Au S., Goldminz A., Loo D. et al. Association between pediatric psoriasis and the metabolic syndrome. *J. Am. Acad. Dermatol.*, 2012, vol. 66(6), pp. 1012-1013. <https://doi.org/10.1016/j.jaad.2011.11.935>
5. Berth-Jones J. In: Burns T. et al. Rook's textbook of dermatology. 8th ed. Oxford: Wiley-Blackwell, 2010, 23, pp. 13-23.
6. Egeberg A., Andersen Y., Thyssen J. Prevalence and characteristics of psoriasis in Denmark: findings from the Danish skin cohort. *BMJ Open*, 2019, vol. 9, pp. 28-46. <https://doi.org/10.1136/bmjopen-2018-028116>
7. Egeberg A., Skov L., Gislason G. et al. Incidence and prevalence of psoriasis in Denmark. *Acta Derm. Venereol.*, 2017, vol. 97, pp. 808-812. <https://doi.org/10.2340/00015555-2672>
8. Jacob C., Meier F., Neidhardt K. et al. Epidemiology and costs of psoriasis in Germany - a retrospective claims data analysis. *Value Health*, 2016, vol. 19, p. 566. <https://doi.org/10.1016/j.jval.2016.09.1269>
9. James S., Abate D., Abate K. et al. Global, regional, and national incidence, prevalence, and years lived with disability for 354 diseases and injuries for 195 countries and territories, 1990-2017: a systematic analysis for the Global Burden of Disease Study 2017. *Lancet*, 2018, vol. 392, pp. 1789-1858. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(18\)32279-7](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(18)32279-7)
10. Karimkhani C., Dellavalle R., Coffeng L. et al. Global skin disease morbidity and mortality: an update from the Global Burden of Disease Study 2013. *JAMA Dermatol.*, 2017, vol. 153, pp. 406-412. <https://doi.org/10.1001/jamadermatol.2016.5538>
11. Mercy K., Kwasny M., Cordero K. et al. Clinical manifestations of pediatric psoriasis results of a multicenter study in the United States. *Pediatr. Dermatol.*, 2013, vol. 30(4), pp. 424-428. <https://doi.org/10.1111/pde.12072>

12. Raychaudhuri S., Maverakis E., Raychaudhuri S. Diagnosis and classification of psoriasis. *Autoimmun Rev.*, 2014, vol. 13(4-5), pp. 490-495. <https://doi.org/10.1016/j.autrev.2014.01.008>
13. Springate D., Parisi R., Kontopantelis et al. Incidence, prevalence and mortality of patients with psoriasis: an UK. population-based cohort study. *Br. J. Dermatol.*, 2017, vol. 176, pp. 650-658. <https://doi.org/10.1111/bjd.15021>
14. Varni J., Globe D., Gandra S. et al. Health-related quality of life of pediatric patients with moderate to severe plaque psoriasis comparisons to four common chronic diseases. *Eur. J. Pediatr.*, 2012, vol. 171(3), pp. 485-492. <https://doi.org/10.1007/s00431-011-1587-2>
15. Wei J., Shi L., Huang J. et al. Epidemiology and medication pattern change of psoriatic diseases in Taiwan from 2000 to 2013: a nationwide, population-based cohort study. *J. Rheumatol.*, 2018, vol. 45, pp. 385-392. <https://doi.org/10.3899/jrheum.170516>

ДАННЫЕ ОБ АВТОРЕ

Манафов Парвин Галиб оглы, докторант

Университет «Одлар Юрду»

ул. Короглу Рагимова, 13, AZ1072, Баку, Азербайджан

manafov.parvin@mail.ru

DATA ABOUT THE AUTHOR

Parvin Galib oglu Manafov, Doctoral Student

Odlar Yurdu University

13, Koroglu Rahimov Str., AZ1072, Baku, Azerbaijan

manafov.parvin@mail.ru

Поступила 12.09.2023

После рецензирования 29.09.2023

Принята 08.11.2023

Received 12.09.2023

Revised 29.09.2023

Accepted 08.11.2023

DOI: 10.12731/2658-6649-2024-16-2-817

УДК 616-056.5:616.8



Научная статья

УРОВЕНЬ ТРЕВОЖНОСТИ У ДЕВУШЕК С РАЗЛИЧНОЙ МАССОЙ ТЕЛА

Н.Н. Тятенкова, А.М. Брагина, А.С. Спивак

Обоснование. Одной из базовых характеристик эмоциональной сферы человека является уровень тревожности. Нарушения психоэмоционального состояния расцениваются как предикторы избыточного веса и ожирения. В то же время, избыточное накопление жировой массы оказывает неблагоприятное влияние на психосоматический статус пациентов.

Цель. Провести оценку уровня ситуационной и личностной тревожности у девушек 17-25 лет с различной массой тела.

Материалы и методы. Обследованы 276 девушек в возрасте от 17 до 25 лет, которые были разделены на 3 группы. В первую группу вошли девушки с дефицитом массы тела, во вторую – с нормальной массой тела, в третью – с избыточной массой тела и ожирением. Массу тела оценивали по величине отношения массы тела к квадрату длины тела. Для оценки уровня тревожности использовали тест Спилбергера-Ханина. Исследование проведено в соответствии с принципами положения Хельсинкской декларации Всемирной медицинской ассоциации. Результаты обработаны статистически при помощи программы Statistica 10.0 и пакета статистических функций Microsoft Excel 2010.

Результаты. Отклонения массы тела от нормальных значений выявлены у 31,2% девушек. Низкий уровень личностной тревожности характерен для 2,9% респондентов, высокий – для 52,2%. Медиана личностной тревожности в группе с нормальной массой тела оценивалась как умеренная, у девушек с дефицитом и избытком массы тела – как высокая. Распространённость высокого уровня ситуативной тревожности значимо выше в группах с недостаточной и избыточной массой тела.

Закключение. Высокий уровень ситуативной тревожности у девушек ассоциирован с избыточной массой тела и ожирением.

Ключевые слова: избыточная масса тела; дефицит массы тела; личностная тревожность; ситуативная тревожность; девушки

Для цитирования. Тятенкова Н.Н., Брагина А.М., Спивак А.С. Уровень тревожности у девушек с различной массой тела // Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture. 2024. Т. 16, №2. С. 388-402. DOI: 10.12731/2658-6649-2024-16-2-817

Original article

LEVEL OF ANXIETY OF YOUNG WOMEN WITH DIFFERENT BODY WEIGHT

N.N. Tyatenkova, A.M. Bragina, A.S. Spivak

Background. One of the basic characteristics of the emotional sphere of a person is the level of anxiety. Disturbances of psycho-emotional state are regarded as predictors of overweight and obesity. At the same time, excessive accumulation of fat mass has an unfavorable effect on the psychosomatic status of patients.

Purpose. To evaluate the level of situational and personal anxiety of young women 17-25 years old with different body weight.

Materials and methods. 276 young women aged from 17 to 25 years were examined and divided into 3 groups. The first group included young women with body weight deficit, the second group included young women with normal body weight, and the third group included young women with excessive body weight and obesity. Body weight was estimated by the value of the ratio of body weight to the square of body length. The Spielberger-Hanin test was used to assess the level of anxiety. The study was conducted in accordance with the principles of the Declaration of Helsinki of the World Medical Association. Statistical analysis was performed using the application package Statistica 10.0 and Microsoft Excel 2010.

Results. Deviations of body weight from normal values were revealed in 31.2% of girls. A low level of personal anxiety was characteristic of 2.9% of respondents, and a high level - of 52.2%. The median of personal anxiety in the group with normal body weight was assessed as moderate, girls with deficit and excess body weight - as high. The prevalence of a high level of situational anxiety was significantly higher in the underweight and overweight groups.

Conclusion. A high level of situational anxiety of young women is associated with overweight and obesity.

Keywords: overweight; obesity; body weight deficit; personal anxiety; situational anxiety; young women

For citation. Tyatenkova N.N., Bragina A.M., Spivak A.S. *Level of Anxiety of Young Women with Different Body Weight. Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*, 2024, vol. 16, no. 2, pp. 388-402. DOI: 10.12731/2658-6649-2024-16-2-817

Введение

Одной из базовых характеристик психоэмоциональной сферы человека является уровень тревожности. Согласно данным литературы [13] у 46% взрослого населения отмечен повышенный уровень тревожности, при этом существенна доля людей, которые имеют недиагностированную тревожность и связанные с ней расстройства. Нарушения психоэмоционального состояния, в частности высокая тревожность, высокий уровень стресса и выраженные депрессивные симптомы расцениваются как предикторы избыточного веса и ожирения. По данным ряда авторов, психоэмоциональный стресс может приводить к нарушениям пищевого поведения и развитию ожирения [15, 21, 22, 25]. В то же время избыточное накопление жировой массы оказывает неблагоприятное влияние на психосоматический статус пациентов [20] и является фактором риска развития депрессии и тревожности, которые в дальнейшем формируют нарушения физического развития. Следовательно, отклонение от нормального психоэмоционального статуса может быть как одной из причин избыточной массы тела, так и следствием её увеличения.

Повышенный уровень тревожности у лиц с избыточной массой тела указывает на состояние эмоционального стресса, который способствует формированию соматических расстройств [14]. Поэтому перспектива всестороннего изучения взаимосвязи психоэмоционального статуса и массы тела состоит в возможности расширения уже имеющегося опыта оценки рисков и корректировки качества жизни разных возрастных групп [1, 19].

В настоящее время имеются данные по изучению связи между уровнем тревожности и избыточной массой тела у школьников [10, 14, 23], молодежи [2, 12, 17], людей старшего возраста [4, 6]. При этом крайне мало работ, исследующих тревожность у респондентов с недостаточной массой тела [11].

Современный ритм жизни требует от человека повышения уровня его социальной адаптации, число тревожных людей увеличивается. В связи с этим возрастает интерес к изучению взаимосвязи уровня тревожности и массы тела.

Цель исследования: провести оценку уровня ситуационной и личностной тревожности у девушек 17-25 лет с различной массой тела.

Материал и методы исследования

В ходе работы обследовано 276 девушек-студенток в возрасте от 17 до 25 лет (средний возраст $19,6 \pm 0,09$ лет). Исследование было проведено в соответствии с принципами положения Хельсинской декларации Всемирной медицинской ассоциации (Declaration of Helsinki, and approved by the Institutional Review Board). Информированное согласие получено от всех субъектов, участвовавших в исследовании. Длину тела (ДТ) измеряли ростомером РЭП («ТВЕС», Россия), массу тела (МТ) – напольными медицинскими электронными весами ВМЭН-150 («ТВЕС», Россия) [8]. Индекс массы тела (ИМТ, $\text{кг}/\text{м}^2$) рассчитывали по формуле $\text{ИМТ} = \text{МТ} / \text{ДТ}^2$. Значения индекса оценивали используя классификацию ВОЗ [24]: менее $18,50 \text{ кг}/\text{м}^2$ – дефицит массы тела (ДМТ), $18,50\text{--}24,99 \text{ кг}/\text{м}^2$ – нормальная масса тела (НМТ), $25,00\text{--}29,99 \text{ кг}/\text{м}^2$ – избыточная масса тела (ИзМТ), более $30,00 \text{ кг}/\text{м}^2$ – ожирение (ОЖ). Для оценки уровня тревожности использовали тест Спилбергера-Ханина. Результаты интерпретировали следующим образом: низкая тревожность – до 30 баллов, умеренная тревожность – 31–45 баллов, высокая тревожность – 46 и более баллов [9].

Результаты обработаны статистически при помощи программы Statistica 10.0 и пакета статистических функций Microsoft Excel 2010. Показатели оценивали на предмет соответствия нормальному распределению с использованием критерия Колмогорова-Смирнова. Количественные данные представлены в виде медианы, нижнего и верхнего квартилей (Me [Q1:Q3]). Для сравнения независимых совокупностей, в случаях отсутствия признаков нормального распределения данных, использовали U-критерий Манна-Уитни при $p < 0,05$. Сравнение номинальных данных проводили при помощи критерия χ^2 Пирсона. В качестве количественной меры эффекта при сравнении относительных величин использовали показатели относительного риска (RR) и этиологическую долю относительного риска (EF).

Результаты исследования

Медиана ИМТ у девушек 17–25 лет составила $21,5 [19,3; 23,6] \text{ кг}/\text{м}^2$ и соответствовала нормальной массе тела. В зависимости от величины ИМТ обследованные были поделены на 3 группы: 1 группа – с дефицитом массы тела, 41 человек (14,9%); 2 группа – с нормальной массой тела, 190 человек (68,8%); 3 группа – с избыточной массой тела и ожирением, 45 человек (16,3%).

Для изучения состояния тревожности использовали шкалу Спилбергера-Ханина, которая позволяет оценить как ситуативную, так и личностную

тревожность. Ситуативная (реактивная) тревожность рассматривается как эмоциональная реакция на стрессовую ситуацию, которая может меняться во времени и интенсивности. Во всей выборке, независимо от величины ИМТ, ситуативная тревожность соответствовала 39 [33; 46] баллам (умеренный уровень тревожности). Низкий уровень СТ отмечен у 55 (19,9%) девушек, средний – у 150 (54,4%), высокий – у 71 (25,7%).

Личностная тревожность – это склонность воспринимать практически все ситуации как угрожающие и реагировать на них состоянием сильной тревоги [9]. Медиана личностной тревожности в обследуемой группе девушек оценивалась в 46 [39; 52] баллов и соответствовала высокому уровню. Низкий уровень личностной тревожности имели 8 (2,9%) девушек, средний – 124 (44,9%), высокий – 144 (52,2%).

Данные по оценке уровня тревожности у девушек с разной массой тела представлены в таблице 1. Согласно полученным результатам, медианные значения ситуативной тревожности во всех группах соответствовали умеренному уровню, при этом уровень тревожности в группах с дефицитом и избытком массы тела статистически значимо превышал таковой у лиц с нормальной массой тела. Личностная тревожность в группе с нормальной массой тела оценивалась как умеренная, в то время как у девушек с дефицитом и избытком массы тела – как высокая. В группе с избыточной массой тела уровень ЛТ статистически значимо выше по сравнению с девушками, имеющими нормальную массу тела.

Таблица 1.

Уровень тревожности у девушек с разной массой тела (Ме [Q1:Q3])

Показатель	Все	дефицит массы тела	нормальная масса тела	избыточная масса тела
		1	2	3
СТ, балл	39 [33; 46]	40 [34; 49]	37 [31; 43]	44 [37; 51]
		$P_{1,2}=0,0199^*$; $P_{1,3}=0,243$; $P_{2,3}=0,00001^*$		
ЛТ, балл	46 [39; 52]	48 [40; 52]	44 [38; 50]	51 [48; 56]
		$P_{1,2}=0,078$; $P_{1,3}=0,065$; $P_{2,3}=0,00004^*$		

Примечание: * – статистически значимые различия между группами при $p<0,05$

Частота встречаемости девушек с разным уровнем ситуативной тревожности статистически значимо различалась в зависимости от величины ИМТ. Распространенность высокой ситуативной тревожности выше, а низкой тревожности – ниже в группах с недостаточной и избыточной массой тела по сравнению с обследованными, имеющими нормальную массу

тела (таблица 2). Низкий уровень личностной тревожности отмечался в единичных случаях среди девушек с недостаточной и нормальной массой тела и не выявлен в группе с избыточным весом. При этом высокий уровень личностной тревожности характерен для достаточно большого числа девушек во всех группах. Среди обследованных, имеющих дефицит массы тела, более чем у половины (63,4%) зарегистрирован высокий уровень личностной тревожности, в группе с нормальными значениями таковых было 43,1%, а среди лиц с избыточной массой – 80%.

Таблица 2.

Распределение девушек с различной массой тела в зависимости от уровня тревожности

Степень тревожности	дефицит массы тела		нормальная масса тела		избыточная масса тела	
	1		2		3	
	Чел	%	Чел	%	Чел	%
Ситуативная тревожность						
низкая	6	14,6	47	24,7	2	4,4
умеренная	19	46,4	108	56,9	23	51,1
высокая	16	39	35	18,4	20	44,5
$\chi^2=8,660$ Df=2 $P_{1,2}=0,014^*$; $\chi^2=17,927$ Df=2 $P_{2,3}<0,001^*$; $\chi^2=2,645$ Df=2 $P_{1,3}=0,267$						
Личностная тревожность						
низкая	2	4,9	6	3,2	0	0
умеренная	13	31,7	102	53,7	9	20
высокая	26	63,4	82	43,1	36	80
$\chi^2=6,520$ Df=2 $P_{1,2}=0,039^*$; $\chi^2=19,996$ Df=2 $P_{2,3}<0,001^*$; $\chi^2=4,163$ Df=2 $P_{1,3}<0,125$						

Примечание: * – статистически значимые различия между группами при $p<0,05$

Частота встречаемости случаев дефицита и избытка массы тела у девушек с разным уровнем личностной и ситуативной тревожности отражена на рисунке 1. Среди девушек с низким и умеренным уровнем как ситуативной, так и личностной тревожности, подавляющее большинство имели нормальную массу тела. Высокая частота отклонений массы тела от нормальных значений отмечена в группе девушек с повышенным уровнем тревожности. При этом отклонения были как в сторону увеличения массы тела, так и ее дефицита.

Вероятность формирования избыточной массы тела при высоком уровне ситуативной тревожности статистически значима ($RR=2,07$; 95% ДИ 1,24-3,45, $p<0,01$). Среди лиц с повышенной СТ встречаемость девушек с

избыточной массой тела и ожирением на 51,7% выше чем при нормальной массе тела. Снижение уровня тревожности относительно нормы индуцирует повышение массы тела и развитие ожирения ($RR=0,23$; 95% ДИ 0,06-0,95, $p<0,01$). Девушки, имеющие значения индекса массы тела выше нормы, на 62,7% чаще встречаются в выборке с пониженной ситуативной тревожностью. Отмечено увеличение массы тела у лиц с высоким уровнем ЛТ ($RR=3,76$; 95% ДИ 1,90-7,45, $p<0,01$). Среди девушек с повышенной ЛТ встречаемость с избыточной массой тела и ожирением на 73,4% выше, чем в группе с нормальной тревожностью.

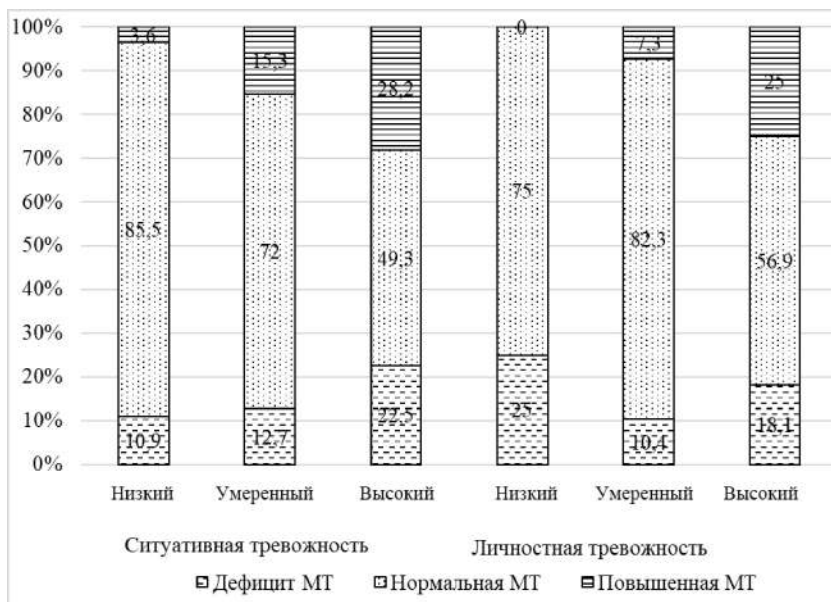


Рис. 1. Частота встречаемости отклонений массы тела от нормы у девушек с разным уровнем ситуативной и личностной тревожности.

Обсуждение

Сравнение результатов исследования с данными литературы показало, что среди ярославских девушек 17-25 лет распространенность высокого уровня личностной тревожности выше по сравнению с данными, полученными при обследовании студенток г. Ижевска [12], г. Хабаровска и г. Владивостока [5]. Возможно, это связано с тем, что обследование ярославских студенток проходило в период пандемии COVID-19 и повышение

уровня тревожности отражает социальные характеристики среды, являясь результатом общей психологической нагрузки.

Полученные результаты согласуются с данными литературы, свидетельствующими, что у лиц, предрасположенных к избыточной массе тела, отмечалось увеличение личностной тревожности по сравнению с респондентами, имеющими нормальный вес. При этом повышение уровня тревожности сопровождалось разнообразными психоземotionalными расстройствами, что во многом способствовало увеличению массы тела [2, 3]. Имеются сведения, что у детей задолго до появления явных психосоматических расстройств или первых симптомов ожирения отмечаются некоторые признаки состояния хронической тревожности и эмоционального напряжения [7]. В свою очередь избыточная масса тела приводит к смещению вегетативной регуляции в сторону активации симпатического отдела автономной нервной системы и повышению уровня тревожности [14].

Увеличение массы тела у тревожных людей зачастую объясняется «заеданием» беспокойства и стресса. Возможно высокий уровень тревожности требует более высоких энергетических затрат, что может отражаться на пищевом поведении. Согласно данным литературы, у пациентов с избыточной массой тела и высокой тревожностью отмечено нарушение пищевого поведения, склонность к компульсивному перееданию [12, 16].

Результаты проведенного исследования свидетельствуют, что высокая выраженность и частота встречаемости личностной тревожности характерна не только для лиц с избыточным весом и ожирением, но и для девушек с недостаточной массой тела. Высокий уровень личностной тревожности при относительно низких значениях ситуативной тревожности отмечался и у юношей-призывников с недостатком веса [11]. Полученные результаты можно объяснить отклонениями пищевого поведения. Согласно данным литературы, рационы питания студенток с высоким уровнем ЛТ недостаточны по калорийности и нутриентному составу. У девушек с низким и умеренным уровнем тревожности отмечалась более высокая калорийность рациона, потребление белков, жиров и углеводов [17]. Очевидно, для лиц с высоким уровнем личностной тревожности характерны в большей степени два типа нарушений пищевого поведения – «заедание» стресса (эмоциогенный тип) и ограничение рациона питания (ограничительный тип).

Таким образом, обнаружена ассоциация между высоким уровнем ситуативной тревожности и увеличением массы тела. Следовательно, суще-

ственную роль в донозологической диагностике избыточной массы тела играет установление психоэмоционального статуса, основанного на исследовании индивидуально-личностных особенностей пациентов.

Выводы

1. Большинство девушек 17-25 лет имели нормальную массу тела, в группу риска отнесены лица с дефицитом, избытком массы тела и ожирением (31,2% от общей численности обследованных).
2. Более половины (52,2%) девушек имели высокий уровень личностной тревожности. Медианные значения личностной тревожности в группе с нормальной массой тела оценивались как умеренные, у девушек с дефицитом и избытком массы тела – как высокие.
3. Встречаемость девушек с высоким уровнем ситуативной тревожности статистически значимо выше, а с низкой тревожностью – ниже в группах с недостаточной и избыточной массой тела по сравнению с обследованными, имеющими нормальную массу тела.

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

Информация о спонсорстве. Исследование выполнено за счет средств Программы развития ЯрГУ до 2030 года, проект №GM-2023-2 «Разработка алгоритма доклинического обследования лиц с морбидным ожирением».

Список литературы

1. Балашов П.П., Тютев Р.А., Музыра А.Ю. Влияние психотерапии избыточной массы тела на показатели депрессии и тревожности у пациентов с избыточной массой тела и ожирением // Бюллетень сибирской медицины. 2010. № 3. С. 32-35.
2. Галиева Г.Д. Личностная и ситуативная тревожность у лиц с избыточной массой тела различных функциональных типов конституции // Вестник Сургутского государственного университета. 2018. № 4 (22). С. 68–72.
3. Герасимчик О.А., Гирш Я.В. Структура уровня тревожности у подростков с различной массой тела // Вестник СурГУ. Медицина. 2018. № 1 (35). С. 47-50.
4. Говорухина А.А., Щербакова А.Э., Ракшина Н.С. Качество жизни педагогов и его взаимосвязь с психологическими и гемодинамическими особенностями в условиях реформирования системы образования // Вестник угрюдения. 2011. № 3 (6). С. 71-79.

5. Горькавая А.Ю., Сидорова О.Н., Кузнецова И.А. Особенности психофизиологического статуса студентов-второкурсников, обучающихся на биологических кафедрах университета и в медицинском вузе // В мире научных открытий. 2016. № 7 (79). С. 83-97.
6. Драпкина О.М., Шепель Р.Н., Кабурова А.Н. Оценка субъективной ситуационной и личностной тревожности у лиц с избыточной массой тела. // Неотложная кардиология и кардиоваскулярные риски. 2017. Т. 1, № 1. С. 83–88.
7. Исаев Д.Н. Эмоциональный стресс, психосоматические и соматопсихические расстройства у детей. СПб.: Речь, 2005. 400 с.
8. Использование метода комплексной антропометрии в спортивной и клинической практике: методические рекомендации / Никитюк Д.Б., Бурляева Е.А., Тутельян В.А., Выборная К.В., Лавриненко С.В., Клочкова С.В., Алексеева Н.А., Выборнов В.Д., Баландин М.Ю., Сорокин А.А. М.: Спорт, 2018. 64 с.
9. Карелин А.А. Большая энциклопедия психологических тестов. Изд-во: Эксмо, 2007. 416 с.
10. Коган Б.М., Хазиева Т.И. Особенности эмоциональной сферы при нарушениях пищевого поведения и избыточной массы тела у подростков // Системная психология и социология. 2016. № 4 (20). С. 60-65.
11. Козина Н.В., Соколова Н.Г. Адаптационный потенциал призывников срочной службы с дефицитом массы тела // Педиатр. 2016. Т. VII, Вып. 1. С. 173-177.
12. Ляпина М.В. Характеристика нарушений пищевого поведения и личностно-эмоциональной сферы у лиц молодого возраста с ожирением // Здоровье, демография, экология финно-угорских народов. 2017. № 1. С. 56-58.
13. О влиянии образа жизни на показатели психического здоровья студентов высших учебных заведений / Горбаткова Е.Ю., Ахмадуллина Х.М., Ахмадуллин У.З., Зилькарнаев Т.Р., Хуснутдинова З.А., Мочалкин П.А., Мануйлова Г.Р. // Современные проблемы здравоохранения и медицинской статистики. 2022. № 4. С. 225-243.
14. Особенности вегетативного статуса и школьной тревожности у учащихся с повышенным индексом массы тела / Штина И.Е., Валина С.Л., Устинова О.Ю., Эйсфельд Д.А. // Ожирение и метаболизм. 2022. Т. 19, №1. С. 62-73.
15. Оценка психологических особенностей, состава тела и статуса фактического питания женщин с нарушениями пищевого поведения / Филатова О.В., Половинкин С.С., Червова И.В., Бакланова Е.И., Плясова И.О. // Ожирение и метаболизм. 2018. № 3. С. 28-32.

16. Полякова Е. Я., Пашкова М.В. Личностная тревожность и глубинные влечения у больных алиментарным ожирением: клинико-психологические аспекты // Вестник Костромского государственного университета им. Н.А. Некрасова. 2010. № 4. С. 227-231.
17. Проскурякова Л.А., Лобыкина Е.Н. Анализ питания у студентов с различным уровнем личностной тревожности // Вопросы диетологии. 2019. Т. 9, № 3. С. 17-22.
18. Распространенность тревоги и депрессии в различных регионах Российской Федерации и ее ассоциации с социально-демографическими факторами (по данным исследования ЭССЕ-РФ) / Шальнова С.А., Евстифеева С.Е., Деев А.Д., Артамонова Г.В. и др. // Терапевтический архив. 2014. № 12. С. 53-60.
19. Рычкова Л.С., Белов Н.С. Психофизическая реабилитация школьников с избыточной массой тела // Вестник ЮУрГУ. Серия «Образование, здравоохранение, физическая культура». 2015. Т. 15, № 3. С. 84-89.
20. Хамитова Л.Р., Приленская А.В., Приленский Б.Ю. Клинико-метаболические данные об ассоциации метаболического синдрома с психическими расстройствами // Медицинская наука и образование Урала. 2017. № 1. С. 28-31.
21. Association between anxiety and eating behaviors in patients with obesity / Cifuentes L., Campos A., Silgado M., Kelpin S., Stutzman J., Hurtado M., Grothe K., Donald D., Clark M., Acosta A. // Obesity Pillars, 2022, vol. 3. <https://doi.org/10.1016/j.obpill.2022.100021>
22. Mouchacca J., Abbott G.R., Ball K. Association between psychological stress, eating, physical activity, sedentary behaviours and body weight among women: a longitudinal study // BMC Public Health. 2013, vol. 13 (1). <https://doi.org/10.1186/1471-2458-13-828>
23. Obesity development in adults and children as a effect of psychosomatic factors / Kułakowska A., Siedlak A., Lepczyński B., Kłakowicz Ph., Lechowski S. // Journal of Education, Health and Sport, 2023, vol. 20 (1), pp. 69-77. <https://doi.org/10.12775/JEHS.2023.20.01.008>
24. Obesity: preventing and managing the global epidemic // Report of a WHO consultation. World Health Organ Tech Rep Ser, 2000, vol. 894, 253 p. URL: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/11234459/> (accessed July 04, 2023).
25. Rosmond R., Björntorp P. Occupational status, cortisol secretory pattern, and visceral obesity in middle-aged men // Obesity research, 2000, vol. 8, № 6, pp. 445-450. <https://doi.org/10.1038/oby.2000.55>

References

1. Balashov P.P., Tyutev R.A., Muzyra A.Yu. Influence of psychotherapy of overweight on depression and anxiety indicators in patients with overweight and obesity. *Byulleten' sibirskoy meditsiny* [Bulletin of Siberian Medicine], 2010, no. 3, pp. 32-35.
2. Galieva G.D. Personality and situational anxiety in persons with excessive body weight of different functional types of constitution. *Vestnik Surgutskogo gosudarstvennogo universiteta* [Bulletin of Surgut State University], 2018, no. 4 (22), pp. 68-72.
3. Gerasimchik O.A., Girsh Y.V. Structure of the anxiety level in adolescents with different body weight. *Vestnik SurGU. Meditsina* [Bulletin of Surgut State University. Medicine], 2018, no. 1 (35), pp. 47-50.
4. Govorukhina A.A., Shcherbakova A.E., Rakshina N.S. Quality of life of teachers and its interrelation with psychological and hemodynamic features in the conditions of reforming the education system. *Vestnik ugroovedeniya*, 2011, no. 3 (6), pp. 71-79.
5. Gorkavaya A.Y., Sidorova O.N., Kuznetsova I.A. Features of psychophysiological status of sophomore students studying at the biological departments of the university and in medical school. *V mire nauchnykh otkrytiy* [In the World of Scientific Discoveries], 2016, no. 7 (79), pp. 83-97.
6. Drapkina O.M., Shepel R.N., Kaburova A.N. Evaluation of subjective situational and personality anxiety in persons with excessive body weight. *Neotlozhnaya kardiologiya i kardiovaskulyarnye riski* [Emergency cardiology and cardiovascular risks], 2017, vol. 1, no. 1, pp. 83-88.
7. Isaev D.N. *Emotional stress, psychosomatic and somatopsychic disorders in children*. SPb.: Rech Publ., 2005, 400 p.
8. *Using the method of complex anthropometry in sports and clinical practice: methodological recommendations* / Nikityuk D.B., Burlyaeva E.A., Tutelyan V.A., Vybornaya K.V., Lavrinenko S.V., Klochkova S.V., Alexeeva N.A., Vybornov V.D., Balandin M.Y., Sorokin A.A. Moscow: Sport Publ., 2018, 64 p.
9. Karelina A.A. *Bolshaya encyclopedia of psychological tests*. Eksmo Publ., 2007, 416 p.
10. Kogan B.M., Khazieva T.I. Features of the emotional sphere in eating disorders and excessive body weight in adolescents. *Sistemnaya psikhologiya i sotsiologiya* [System psychology and sociology], 2016, no. 4 (20), pp. 60-65.
11. Kozina N.V., Sokolova N.G. Adaptation potential of conscripts with body mass deficit. *Pediatr*, 2016, vol. VII, no. 1, pp. 173-177.
12. Lyapina M.V. Characteristics of eating behavior disorders and personality-emotional sphere in young people with obesity. *Zdorov'e, demografiya, ekologiya*

- finno-ugorskikh narodov* [Health, demography, ecology of Finno-Ugric peoples], 2017, no. 1, pp. 56-58.
13. On the influence of lifestyle on the mental health indicators of students of higher educational institutions / Gorbatkova E.Y., Akhmadullina H.M., Akhmadullin U.Z., Zulkarnaev T.R., Husnutdinova Z.A., Mochalkin P.A., Manuylova G.R. *Sovremennye problemy zdavookhraneniya i meditsinskoy statistiki* [Modern problems of public health and medical statistics], 2022, no. 4, pp. 225-243.
 14. Features of vegetative status and school anxiety in students with increased body mass index / Shtina I.E., Valina S.L., Ustinova O.Y., Eisfeld D.A. *Ozhirenie i metabolism* [Obesity and Metabolism], 2022, vol. 19, no. 1, pp. 62-73.
 15. Evaluation of psychological characteristics, body composition and actual nutritional status of women with eating disorders / Filatova O.V., Polovinkin S.S., Chervova I.V., Baklanova E.I., Plyasova I.O. *Ozhirenie i metabolism* [Obesity and Metabolism], 2018, no. 3, pp. 28-32.
 16. Polyakova E. Ya., Pashkova M.V. Personality anxiety and deep cravings in patients with alimentary obesity: clinical and psychological aspects. *Vestnik Kostromskogo gosudarstvennogo universiteta im. N.A. Nekrasova* [Bulletin of N.A. Nekrasov Kostroma State University], 2010, no. 4, pp. 227-231.
 17. Proskuryakova L.A., Lobykina E.N. Analysis of nutrition in students with different levels of personality anxiety. *Voprosy dietologii*, 2019, vol. 9, no. 3, pp. 17-22.
 18. Prevalence of anxiety and depression in different regions of the Russian Federation and its associations with socio-demographic factors (according to the ESSE-RF study) / Shalnova S.A., Evstifeeva S.E., Deev A.D., Artamonova G.V. et al. *Terapevticheskiy arkhiv* [Therapeutic Archive], 2014, no. 12, pp. 53-60.
 19. Rychkova L.S., Belov N.S. Psychophysical rehabilitation of schoolchildren with excessive body weight. *Vestnik YuUrGU. Seriya «Obrazovanie, zdavookhraneniye, fizicheskaya kul'tura»* [Bulletin of SUSU. Series "Education, health care, physical culture"], 2015, vol. 15, no. 3, pp. 84-89.
 20. Khamitova L.R., Prilenskaya A.V., Prilensky B.Y. Clinical and metabolic data on the association of metabolic syndrome with mental disorders. *Meditsinskaya nauka i obrazovanie Urala* [Medical Science and Education of the Urals], 2017, no. 1, pp. 28-31.
 21. Association between anxiety and eating behaviors in patients with obesity / Cifuentes L., Campos A., Silgado M., Kelpin S., Stutzman J., Hurtado M., Grothe K., Donald D., Clark M., Acosta A. *Obesity Pillars*, 2022, vol. 3. <https://doi.org/10.1016/j.obpill.2022.100021>
 22. Mouchacca J., Abbott G.R., Ball K. Association between psychological stress, eating, physical activity, sedentary behaviours and body weight among women: a longitudinal study. *BMC Public Health*, 2013, vol. 13 (1). <https://doi.org/10.1186/1471-2458-13-828>

23. Obesity development in adults and children as a effect of psychosomatic factors / Kułakowska A., Siedlak A., Lepczyński B., Kłakowicz Ph., Lechowski S. *Journal of Education, Health and Sport*, 2023, vol. 20 (1), pp. 69-77. <https://doi.org/10.12775/JEHS.2023.20.01.008>
24. Obesity: preventing and managing the global epidemic. *Report of a WHO consultation. World Health Organ Tech Rep Ser*, 2000, vol. 894, 253 p. URL: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/11234459/> (accessed July 04, 2023).
25. Rosmond R., Björntorp P. Occupational status, cortisol secretory pattern, and visceral obesity in middle-aged men. *Obesity research*, 2000, vol. 8, № 6, pp. 445-450. <https://doi.org/10.1038/oby.2000.55>

ВКЛАД АВТОРОВ

Все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку статьи для публикации.

AUTHOR CONTRIBUTIONS

The authors contributed equally to this article.

ДАННЫЕ ОБ АВТОРАХ

Тятенкова Наталия Николаевна, д-р биол. наук, профессор, заведующая кафедрой физиологии человека и животных
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Ярославский государственный университет им. П.Г.Демидова»
проезд Матросова, 9, г. Ярославль, 150057, Российская Федерация
tyat@bk.ru

Брагина Александра Михайловна, аспирант

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Ярославский государственный университет им. П.Г.Демидова»
проезд Матросова, 9, г. Ярославль, 150057, Российская Федерация
KrupSasha18@gmail.com

Спивак Алексей Станиславович, аспирант

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Ярославский государственный университет им. П.Г.Демидова»

*проезд Матросова, 9, г. Ярославль, 150057, Российская Федерация
alexey.spivak.1996@gmail.com*

DATA ABOUT THE AUTHORS

Nataliya N. Tyatenkova, PhD in Biology, Professor, Head of the Department of Human and Animal Physiology

P.G. Demidov Yaroslavl State University

9, proyezd Matrosova, Yaroslavl, 150057, Russian Federation

tyat@bk.ru

SPIN-code: 7746-6321

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8934-9986>

ResearcherID: S-7690-2016

Scopus Author ID: 57214070741

Aleksandra M. Bragina, Master's Student

P.G. Demidov Yaroslavl State University

9, proyezd Matrosova, Yaroslavl, 150057, Russian Federation

KrupSasha18@gmail.com

SPIN-code: 7996-1790

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9833-7829>

ResearcherID: AEP-9078-2022

Scopus Author ID: 57795366700

Alexey S. Spivak, Master's Student

P.G. Demidov Yaroslavl State University

9, proyezd Matrosova, Yaroslavl, 150057, Russian Federation

alexey.spivak.1996@gmail.com

SPIN-code: 3299-8831

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0266-6282>

Поступила 27.08.2023

После рецензирования 28.09.2023

Принята 02.10.2023

Received 27.08.2023

Revised 28.09.2023

Accepted 02.10.2023

МЕЖДИСЦИПЛИНАРНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

INTERDISCIPLINARY RESEARCH

DOI: 10.12731/2658-6649-2024-16-2-824

UDC 664.788+664.668.9



Original article

**AMARANTH GRAIN PROCESSING
PRODUCTS AS SOURCES OF PLANT PROTEIN,
STARCH, FAT, AND ANTIOXIDANT*****R.Kh. Kandrov, K.S. Bekshokov, P.A. Bekshokova***

Background. One of the principal ways to enhance the food products quality and improve the nutritional structure of the population is the introduction of non-traditional types of plant raw materials containing a balanced complex of proteins, lipids, minerals, vitamins, macro- and microelements into the diet.

Methods. As an object of research, we used amaranth grain of the “Voronezhsky” variety. The processing of amaranth grain into various products was carried out on MLP-4 laboratory grinding mills with fluted and smooth microrough rollers.

Results. As a result of mechanical amaranth grain processing using stock-produced technological equipment, the following amaranth processing products were derived as a raw material for the production of various bakery, confectionery and food-concentrate products: whole grain amaranth flour, low-fat amaranth flour, starchy amaranth flour, protein amaranth flour, amaranth flakes and amaranth bran. Technological scheme for producing whole grain amaranth flour consisting of third break systems has been developed.

Conclusion. The yield of whole-ground amaranth flour was 97.2%, the yield of amaranth bran was 2.8%. Technological scheme for processing amaranth meal and consisting of one milling and three vibrating systems has been developed. The yield of whole-ground amaranth flour was 92%, the yield of amaranth bran was 8%. The optimum parameters of the amaranth grain hydrothermal treatment by cold conditioning were determined - in the production of amaranth flakes, the original amaranth grain are to have a moisture content of 12-13% and be binned

for 2 hours. Established optimum roller space at which the yield of amaranth flakes reaches 88.9% per one pass through the roller mill is 0.1 mm.

Keyword: amaranth; processing; flour; grain; flakes; bran; protein

For citation. Kandrov R.Kh., Bekshokov K.S., Bekshokova P.A. Amaranth grain Processing Products as Sources of Plant Protein, Starch, Fat, and Antioxidant. Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture, 2024, vol. 16, no. 2, pp. 403-430. DOI: 10.12731/2658-6649-2024-16-2-824

Научная статья

ПРОДУКТЫ ПЕРЕРАБОТКИ ЗЕРНА АМАРАНТА КАК ИСТОЧНИКИ РАСТИТЕЛЬНОГО БЕЛКА, КРАХМАЛА, ЖИРА И АНТИОКСИДАНТА

Р.Х. Кандроков, К.С. Бекшоков, П.А. Бекшокова

Обоснование. Одним из основных путей повышения качества пищевых продуктов и улучшения структуры питания населения является внедрение в рацион нетрадиционных видов растительного сырья, содержащих сбалансированный комплекс белков, липидов, минеральных веществ, витаминов, макро- и микроэлементов. диета.

Методы. В качестве объекта исследования использовали зерно амаранта сорта «Воронежский». Переработку зерна амаранта в различную продукцию осуществляли на лабораторных мельницах МЛП-4 с рифлеными и гладкими микрошероховатыми вальцами.

Полученные результаты. В результате механической переработки зерна амаранта с использованием серийного технологического оборудования получены следующие продукты переработки амаранта как сырье для производства различных хлебобулочных, кондитерских и пищевых концентратных изделий: мука амарантовая цельнозерновая, мука амарантовая обезжиренная, крахмалистая амарантовая мука, белковая амарантовая мука, амарантовые хлопья и амарантовые отруби. Разработана технологическая схема производства цельнозерновой амарантовой муки, состоящей из систем третьего дробления.

Заключение. Выход цельномолотой амарантовой муки составил 97,2%, выход амарантовых отрубей - 2,8%. Разработана технологическая схема переработки амарантового шрота, состоящая из одной фрезерной и трех вибрационных систем. Выход цельномолотой амарантовой муки составил 92%, выход амарантовых отрубей - 8%. Определены оптимальные

параметры гидротермической обработки зерна амаранта холодным кондиционированием - при производстве амарантовых хлопьев исходное зерно амаранта должно иметь влажность 12-13% и находиться в консервированном состоянии в течение 2 часов. Установленный оптимальный шаг валков, при котором выход амарантовых хлопьев достигает 88,9% за один проход через вальцовую мельницу, составляет 0,1 мм.

Ключевые слова: амарант; переработка; мука; зерно; хлопья; отруби; белок

Для цитирования. Кандроков Р.Х., Бекшиков К.С., Бекшикова П.А. Продукты переработки зерна амаранта как источники растительного белка, крахмала, жира и антиоксиданта // *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*. 2024. Т. 16, №2. С. 403-430. DOI: 10.12731/2658-6649-2024-16-2-824

Introduction

The nutritional structure of the population for Russian Federation has undergone an adverse change over the last 30 years, which resulted into decrease of animal proteins consumption by 25% (incl. complete protein by 50%), total of dietary calories by 15%, animal fat consumption by 70% and plant protein by 30% [1].

Traditional types of plant-based raw materials in Russian include wheat, rye, barley, buckwheat, corn, rice, millet. One of the principal ways to enhance the food products quality and improve the nutritional structure of the population is to introduce into the diet non-traditional types of plant raw materials containing a balanced complex of proteins, lipids, minerals, vitamins, macro- and microelements and being nutrient-rich, preventive and of high palatability [2-7].

Relevant and important direction in the development of the food and processing industry is advancement and implementation of cutting-edge industrial technologies like the production of new types of foodstuff (for general, functional and specialized purposes, of increased nutritional value and with a high content of protein and vitamins) [8-10].

A new source of raw materials for the food industry has appeared on the Russian market - amaranth grain and its processing products that have a valuable chemical composition as well as high nutritional and biological value and contain a wide range of physiologically functional nutrients, which determines the prospects for their use in food technology productions [11-15].

Recently, amaranth grain and its processing products have found wide application in the domestic market as a new plant source of raw materials for the food, oil extraction and pharmaceutical industries. Amaranth grain is one of the most promising non-traditional type for producing various foods as well as nutritional supplements of functional purpose. Amaranth surpasses many tradition-

al cereals in terms of protein, amino acids, vitamins, macro- and microelements, biologically active substances and fat content, incl. wheat and rye. [16-21].

I would especially like to note that all amaranth grain processing products contain a unique substance - squalene, which is a strong natural antioxidant, the content of which reaches up to 8% and vitamin E (1.19 mg/100 g), which is in the tocotrienol form, the antioxidant properties of which higher than that of its tocopherol form. In addition, vitamin E (4.2 mg/100 g) enhances the effectiveness of other antioxidants contained in processed products [21-22].

Comprehensive studies of scientific literature in food systems texture and organoleptic evaluation of yogurts with the addition of amaranth flour, the effect of high hydrostatical pressure on the content of indispensable amino acid, the increase in the protein content in an amaranth drink, the interfacial and emulsifying properties of amaranth (*amaranthus hypochondriacus*) protein isolates under different acidity conditions, and identification of certain macroelements in the mycelium and broth of medicinal mushrooms grown on amaranth flour, and the mimic composition, texture and organoleptic evaluation of yogurts with the addition of amaranth flour [22-28].

Amaranth grain has a valuable chemical composition, including high content of the most important, essential amino acid - lysine, high nutritional and biological value, and is a promising raw material for various branches of the food and processing industry [29-33].

Amaranth grain pomace is a by-product of the oil extraction industry. After the extraction of oil from the amaranth grain, it is milled to varying degrees of dispersion for the intended use. Amaranth grain processing products contain essential amino acids, insoluble dietary fiber, PP vitamins, minerals balanced in the content of Ca and P macronutrients. Analysis of various literary sources reflects the advisability of using amaranth processed products as an enriching supplement in various food products. The inclusion of amaranth meal flour into the formulation of bakery products will resolve the deficiency problem of essential nutrients in the Russian population diet [34-38].

Table 1 represents a comparative characteristic of the main components content in the grain of amaranth, wheat and rye [1].

Table 1.

Content of the main components in amaranth, wheat and rye

Crop	Protein, %	Fat, %	Carbohydrates, %	Fiber, %	Ash, %	Water, %
Amaranth	17.6	7.4	54.2	6.2	2.6	12
Wheat	12.3	1.7	68.4	2.0	1.6	14
Rye	11.0	1.7	69.6	1.9	1.8	11

Table 2 represents the amino acid composition of various types and varieties of wheat and amaranth flour for the production of bakery and confectionery products compared by three limiting essential amino acids - lysine, methionine and threonine. The common use of wheat flour worldwide determined its' choice in the comparative study of amino acids composition.

Table 2.

Comparative study of amino acids composition of wheat and amaranth flour for the production of bakery and confectionery products (by three limiting essential amino acids) (Zharkova & Trufanova, 2016)

Amino acid	Premium quality wheat flour, g/100 g protein	First grade wheat flour, g/100 g protein	Whole grain amaranth flour, g/100 g protein	Starchy amaranth flour, g/100 g protein	Protein amaranth flour, g/100 g protein
Lysine (L)	0.250	0.265	1.340	0.483	3.692
Methionine (M)	0.153	0.160	0.626	0.250	1.492
Threonine (T)	0.311	0.318	0.644	0.226	1.917
Total: (L+M+T)	0.714	0.743	2.610	0.959	7.101

The tables 1 and 2 represent that plant protein, which is contained in wheat, rye and respectively in wheat and rye flour of various varieties, is biologically incomplete (low content of limiting essential amino acids) compared to amaranth and products of its processing. Consumption of food products based on traditional varieties of wheat and rye bread cannot provide the population with biologically valuable protein and vitamins absorbed with plant foods. The content of limiting amino acids In different varieties of amaranth, that is, lysine, methionine and threonine exceeds traditional wheat and rye flour 1.3 to 10.0 times.

Amaranth flour is a dietary product to tackle obesity. The inclusion of amaranth flour-based foodstuff in the menu allows to reduce calories one consumes, while energy and performance will remain at the appropriate level because of the unique amino acid composition of amaranth [39-44].

This variety of flour became widely used in dietary nutrition as a biological supplement in the production of fermented milk products that do not require heat treatment. Amaranth flour can be added in small quantities (1-2 tablespoons) to cottage cheese, yogurt, and kefir. Foodstuff based on amaranth flour improves health state and prevents cardiovascular, oncological, dermatological, immune, digestive tract, metabolic and other diseases. Amaranth flour is gluten-free and can be eaten by people with celiac disease and gluten enteropathy [45-50].

One of the most valuable products of amaranth grain processing is amaranth oil, produced both by extraction and mechanical pressing, containing not only saturated and unsaturated fatty acids, but also squalene. One of the most important properties of squalene is its ability to accelerate angiogenesis that prevents the formation of cancer cells [51-54].

Squalene is one of the most important bioactive compound that acts as a regulator of lipid and steroid metabolism, is a precursor of various steroid hormones, and is a part of the epidermal lipid layer. It effectively protects the cells and especially the liver from the harmful effects of endogenous and exogenous toxins. Squalene has wound healing properties because of its immunomodulatory effect, which promotes healing and restoration of both damaged tissue architecture and organs. Furthermore, a fairly large number of fats (oils) in flour has an adverse effect on the baking properties of products with whole grain amaranth flour [55-58].

The purpose of this research is the technology of processing amaranth grain into various products as sources of vegetable protein, starch, fat and antioxidant.

The **purpose** of the research is to obtain an assortment of various amaranth grain processing products, including whole-ground amaranth flour, amaranth grains, semi-skimmed amaranth flour, starchy amaranth flour, amaranth flakes and amaranth bran.

Materials and Methods

As an object of research, we used amaranth meal, which results from mechanical pressing, and grain, both are of the “Voronezhsky” variety.

Determination of the quality indicators of the original grain of amaranth and products of its processing was determined according to the standards in force in the Russian Federation. Determination of grain moisture was carried out according to GOST 13586.5-2015 by dehydrating a sample of crushed grain in an air-heating cabinet at fixed parameters: temperature and duration of drying and determining its weight reduction. Determination of starch content in grain and flour was carried out according to GOST 10845-98 Grain and products of its processing; The determination of the mass fraction of protein in grain and flour was carried out according to the Kjeldahl method according to GOST 10846-91; fat content - according to GOST 32749-2014; fiber content - GOST 32040-2012; ash content - according to GOST 10847-74. Chemical and physico-chemical parameters of amaranth flour from amaranth meal are determined by: GOST (National Standard of Russian Federation and CIS countries) 5668-68 “Methods for determination of fat fraction of total mass”, GOST 10846-91

“Method for determination of protein”, GOST 10845-88 “Method for determination of starch”, GOST 31675-2012 “Methods for determination of crude fibre content with intermediate filtration”, GOST 27494-87 “Methods for determination of ash content”. The chemical and physico-chemical parameters of amaranth grain processing products were assessed on SpectraStar 2500 XL (Unity, USA), an infrared light grain analyzer.

At the first stage, as a result of fractionation on a sieve separator of the initial amaranth grain, three grain fractions of various sizes were obtained for more efficient processing. The amount of the 1st fraction (removed from a 1000 micron woven wire mesh sieves) was 17.7%, the amount of the 2nd fraction (passed through a sieve with a mesh size of 1000 micron and being removed from a sieve of 800 micron) was 76.2% and the amount of the 3rd fraction (passed through a sieve with a mesh size of 800 microns) was 9.1%. Therefore, 82.3% of the original amaranth grain mass as an object of research is less than 1 mm in size.

At the second stage, the processing of the original amaranth grain and the original amaranth meal was conducted with obtaining various products. The processing of amaranth grain into various products was carried out on MLP-4 laboratory grinding mills with fluted and smooth microrough rollers (Sovokrim, Russia). The main mechanical and kinematic indicators of the MLP-4 mill with fluted rollers are as follows: productivity - up to 100 kg/h, speed of the fast-rotating roller - 4.5 m/s, differential - 1.75, groove back-to-back arrangement, the number of grooves on the 1st linear centimeter - 8 pieces, groove slope 8%. Intermediate amaranth grain products were sieved on a separator which consists of 3 polyamide sieves designed according to GOST R (Russian National Standard) 51568-99 (ISO 33 10-1-90), two grits and one flour sieves with 850, 450 and 132 micron mesh size respectively.

Roller space in the laboratory grinding mills MLP-4 of the 1st break system is 0.25 mm, on the second break system is 0.15 mm, on the third break system is 0.10 mm.

Original amaranth meal was grinded on a laboratory hammer mill with a peripheral speed of 70.0 m/s (Sovokrim, Russia).

Research Results and Discussion

One of the common objectives of ongoing research consists in studying the structure and nutritional properties of amaranth grain, composition and properties of the main nutrients, as well as in the study of technological properties of grain and products of its processing. It will enable the development

of innovative technologies and range of specialized gluten-free grain mixtures from amaranth grain for food de those with gluten intolerance.

It is known that ash content is directly related to mineral content. Carried out research on the study of the mass fraction of ash in whole grain amaranth welt flour, as well as flour enriched with protein from amaranth grain [16-18]. Increasing the protein content in flour (enrichment) was achieved by grinding and dividing flour into fractions with the release of protein parts and extraction of shells. Research data showed that the proportion of ash in enriched amaranth flour was higher (6.9%) than the ash content of whole grains new flour (2.4%) [30]. This indicates that in amaranth grains also contain minerals sharpened in the embryonic part, which makes them available for processing. The content of dietary fiber in amaranth grain corresponds to a value of 11.3% [30, 31]. Other cars report slightly higher values fiber content in amaranth grain - in the range from 14% to 16% [32]. The protein content in amaranth grain varies from 13.1% to 17.4%, which is higher than its content in other cereal crops. This fact is confirmed numerous world studies [21, 23, 26-27, 33]. Current data show the advantage substances of amaranth, from the standpoint of protein digestibility, milk protein similar in digestibility to casein and higher levels of lysine compared to other cereals.

Giving generalized data on the content main nutrients in native amaranth grain it can be noted that amaranth, like all cereals, belongs to the group of starchy raw materials, since digestible carbohydrates are mainly represented by starch. Relative to other traditional grain crops, amaranth is characterized by low content of dietary fiber, but significantly exceeds them in protein content. More In addition, the protein isolated from amaranth grain is close to ideal protein FAO/WHO (1973). By content threonine, phenylalanine, tyrosine and tryptophan equivalent to milk protein [29]. As a result of mechanical amaranth grain processing using stock-produced technological equipment, the following amaranth processing products were derived as a raw material for the production of various bakery, confectionery and food-concentrate products: whole grain amaranth flour, low-fat amaranth flour, starchy amaranth flour, protein amaranth flour, amaranth flakes and amaranth bran.

Whole grain amaranth flour

The easiest way to produce amaranth flour is to mill whole grains on stock-produced milling equipment. When producing whole grain amaranth flour, hydrothermal treatment of the original amaranth grain (moisturizing and binning) is not required. Technological scheme for producing whole grain amaranth flour consists of third break systems, in which case the yield of whole-

ground amaranth flour is 97.2% and the yield of amaranth bran is 2.8%. Table 3 represents chemical composition obtained as a result of laboratory grinding of amaranth grain of whole grain amaranth flour (Fig 1) [58-59].

*Table 3.***Chemical composition of whole grain amaranth flour**

Product	Grams in 100 g of the product					
	protein	fat	starch	fiber	ash	moisture
Whole grain amaranth flour	15.6	7.2	58.2	3.7	3.0	11.5

**Fig. 1.** Whole grain amaranth flour (20x magnification)**Low-fat amaranth flour**

Original amaranth meal with the production of 92% amaranth flour and 8% amaranth bran was processed according to the technological scheme, which was developed at the Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education “Moscow State University of Food Production”, and includes one milling and three vibrating systems. When milling the original amaranth meal on a laboratory hammer mill, milling system extraction is 25.0%. When milling sieve residue of a hammer mill with roller machine with fluted rollers, 1st reduction system extraction is 65.4%, 2nd is 55.4%, 3rd is 47.0%.

Considering increased value of amaranth oil, it is extracted from grain using the method “cold pressing” on screw presses. Since the grain oil content is low (about 8%), approximately 2-3% of the oil of the amaranth seeds initial mass

can be extracted by using this method. The rest is evenly distributed over the contents of the amaranth grain by pressing (Fig. 2).



Fig. 2. Low-fat amaranth flour (20x magnification)

When the oil is extracted from the original grain, amaranth millcake is created, which is used to produce low-fat amaranth flour after milling and separating the bran (Table 4).

Table 4.

Content of the main components in low-fat amaranth flour

Product	Grams in 100 g of the product						
	protein	fat	starch	fiber	ash	moisture	energy value, kcal
Low-fat amaranth flour	19.9	2.5	68.9	1.3	2.7	12.0	354

Unlike whole grain amaranth flour, this flour has a significantly higher protein content (19.9 g instead of 15.6 g) and lower fat and starch content.

Starchy amaranth flour

Empirically, it was possible to find technological modes for amaranth grain processing that render possible its division into anatomical parts - the germ, shell and endosperm (starchy part). At the first stage, amaranth flakes derive from the original amaranth grain. At the second stage, after grinding and separation starchy amaranth flour and amaranth bran derive from the amaranth flakes, the endosperm of the grain (Fig 3).



Fig. 3. Starchy amaranth flour (20x magnification)

Unlike the whole grain amaranth flour, this flour has a significantly higher starch content (76.7 g instead of 58.2 g per 100 g of flour) and a lower content of proteins and fats (Table 5).

Table 5.

Content of main components in amaranth starch flour

Product	Grams in 100 g of the product					
	protein	fat	starch	fiber	ash	moisture
Starchy amaranth flour	6.0	1.8	76.7	2.5	3.0	10.0

A great advantage of starchy amaranth flour is its positive impact on the baking quality attributes of both pan and hearth bread. Not all baking conditioners have an ability to significantly increase its shape stability along with significant increase in the volume of bread. At the same time, the organoleptic parameters of bread made of wheat baking flour of premium quality and starchy amaranth flour mixture were representatively rated with the highest score.

Along with the better appearance, the condition of the bread crumb was highly scored. In this regard, the bread had a light, pleasant aftertaste and flavor.

Protein amaranth flour

Studies have shown that virtually all amaranth oil is contained in the germ. When separating the grain into anatomical parts, specifically the germ, shells and endosperm, germ grits can be produced, its oil content reaches 20%. At

present, there is no industrial technology for separating amaranth grain into anatomical parts. The total amount of amaranth germ grains is about 20-25% of the initial weight of the grain. Since the concentration of amaranth germ grits oil has increased, it is possible to extract up to 5% of the oil from the seeds total mass by cold pressing (Fig. 4).



Fig. 4. Amaranth protein flour (20-fold increase)

When the oil is extracted from the original grain, amaranth meal is created, which is used to produce amaranth protein flour and amaranth bran after additional processing (Table 6).

Table 6.

Content of the main components in amaranth protein flour

Product	Grams in 100 g of the product					
	protein	fat	starch	fiber	ash	moisture
Protein amaranth flour	26.0	2.0	65.1	2.9	3.3	11.2

In contrast to whole grain amaranth flour, this flour has a significantly higher protein content (26.0 g instead of 15.6 g) and a lower content of fat and starch.

Under extreme life and work conditions (the Arctic coast, the far north, high mountain region, heavy manual operations), it is necessary to increase the amount of proteins and vitamins consumed with food. Foodstuff containing protein amaranth flour is suitable for these purposes.

Amaranth flakes

Amaranth flakes derive from whole amaranth grains on a flattening or roller mill with smooth microrough rollers. In terms of chemical composition, amaranth flakes are similar to amaranth grains since grains are flattened and not crushed into anatomical parts in the process of their production.

At the first stage, studies were conducted to determine the optimal roller space to derive the maximum yield of amaranth flakes from the original amaranth grain, which underwent hydrothermal treatment (HTT) by cold conditioning with binning for 2 hours in one pass. Cold conditioning was used as the HTT for being the most common method. Table 7 and Figure 5 represent the obtained data.

Table 7.

Roller space influence on the yield of amaranth flakes

Weight of original amaranth grain, g	Space, mm	850 micron sieve residue, %	475 micron sieve residue, %	132 micron sieve residue, %	Passed through 132 micron sieve, %
500	0.4	81.0	5.0	8.0	1.0
500	0.3	82.0	6.0	6.0	1.0
500	0.2	84.0	8.0	6.0	2.0
500	0.15	87.0	9.0	4.5	2.5
500	0.1	88.0	7.0	2.0	3.0

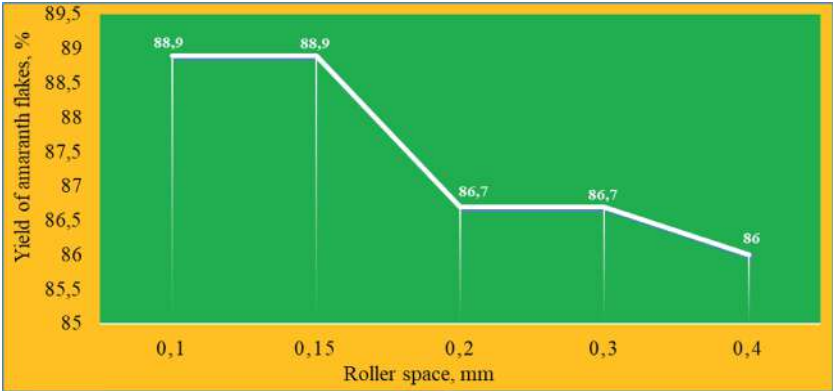


Fig. 5. The dependence of amaranth flakes yield on the size of the roller space

At the second stage, studies were conducted to determine how binning time affects the amaranth flakes yield. For this purpose, the original amaranth grain

was moistened to 12-13% and binned for 2.0, 3.0, 4.0, 5.0, and 6.0 hours respectively (Table 8). It has been established that the highest yield of amaranth flakes per one pass through the roller gap is produced by binning for 2-3 hours.

Table 8.

Effect of binning time on the yield of amaranth flakes

Weight of original amaranth grain, g	Binning time, h	850 micron sieve residue, %	475 micron sieve residue, %	132 micron sieve residue, %	Passed through 132 micron sieve, %
450	2.0	88.9	6.8	3.3	1.0
450	3.0	88.9	5.7	4.4	1.0
450	4.0	86.7	5.7	5.6	2.0
450	5.0	86.7	5.7	5.1	2.5
450	6.0	86.0	6.0	4.0	3.0

Figure 6 shows the appearance of experimentally obtained amaranth flakes.



Fig. 6. Appearance of amaranth flakes

Studies conducted at the Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education “Moscow State University of Food Production” showed that with an optimal space gap of 0.1 mm the yield of amaranth flakes can be up to 88.9% per pass through the roller mill.

The implemented industrial technology on stock-produced high-performance domestic equipment makes it possible to produce 20-30% of germ grits,

60-70% of starchy amaranth flour and approximately 10% of amaranth bran from the original amaranth grain.

Conclusions

As a result of the research, a range of various amaranth grain processing products was produced, including whole grain amaranth flour, amaranth grits, Low-fat amaranth flour, starchy amaranth flour, amaranth flakes and amaranth bran. Technological scheme for producing whole grain amaranth flour consisting of third break systems has been developed. The yield of whole-ground amaranth flour was 97.2%, the yield of amaranth bran was 2.8%. Technological scheme for processing amaranth meal and consisting of one milling and three vibrating systems has been developed. The yield of whole-ground amaranth flour was 92%, the yield of amaranth bran was 8%. The optimum parameters of the amaranth grain hydrothermal treatment by cold conditioning were determined - in the production of amaranth flakes, the original amaranth grain are to have a moisture content of 12-13% and be binned for 2 hours. Established optimum roller space at which the yield of amaranth flakes reaches 88.9% per one pass through the roller mill is 0.1 mm. The patent for the invention of the Russian Federation No. 2 761 665 "Method for obtaining amaranth flakes" was received for the developed technology.

The resulting products of processing of amaranth grain can be used for the production of various bakery, flour confectionery and food concentrate products for mass and specialized food.

Acknowledgements. The authors express their gratitude to the candidate of biological sciences, general director of LLC "Russian Oliva" Lidiya Aleksandrovna Miroshnichenko for the provided amaranth grain.

References

1. Litvinova O.S. The structure of the nutrition of the population of the Russian Federation. *Hygienic assessment. Population health and habitat*, 2016, no. 5 (278), pp. 11-14.
2. Zheleznov A.V., Zheleznova N.B., Burmakina N.V., Yudina R.S. *Amaranth: scientific basis of introduction*. Novosibirsk, 2009, 236 p.
3. Shmalko N.A. Baking properties of rye-wheat mixture with amaranth flour, *Electronic network polythematic journal "Scientific works of KubGTU"*, 2017, no. 5, pp. 243-253.
4. Gins V.K., Gins M.S., Derkanosova N.M., Ponomareva I.N., Zolotareva N.I. Application of amaranth in the technology of bread from a mixture of rye and

- wheat flour. *New and non-traditional plants and prospects. Their use*, 2017, no. S12, pp. 277-279.
5. Zharkova I.M., Trufanova Yu.N. Studies of the biological value of gluten-free bread from amaranth flour and corn starch. *Gastroenterology of St. Petersburg*, 2016, no. 1-2, C. M11-M11c.
 6. Zharkova I.M., Miroshnichenko L.A., Roslyakov Yu.F. Study of the possibility of using traditional dry starter cultures in the technology of bread from amaranth flour. *Food technology*, 2017, no. 4, pp. 44-46.
 7. Zharkova I.M., Safonova Yu.A., Samokhvalov A.A. Study of the influence of amaranth grain processing parameters before grinding on the properties of the resulting flour. *Bulletin of the Voronezh State University of Engineering Technologies*, 2018, vol. 80, no. 4 (78), pp. 41-48.
 8. Zharkova I.M., Lavrov S.V., Samokhvalov A.A., Grebenshchikov A.V., Miroshnichenko L.A. Development of functional food products for gluten-free and heroic nutrition, including for the prevention of osteoporosis. *Bread products*, 2019, no. 12, pp. 53-55.
 9. Shmalko N.A., Smirnov S.O. Method for the production of bread with the addition of amaranth groats flour. *Polzunovskiy vestnik*, 2018, no. 1, pp. 27-31.
 10. Shmalko N.A., Smirnov S.O. Amaranth bran in the recipe of wheat bread. *Bakery of Russia*, 2018, no. 3, pp. 42-45.
 11. Shmalko N.A. Modern technologies of rye-wheat bread using amaranth flour. *News of higher educational institutions. Food technology*, 2021, no. 2-3 (380-381), pp. 6-9. <https://doi.org/10.26297/0579-3009.2021.2-3.1>.
 12. Nikonorova Yu. Yu., Volkova A.V., Kazarina A.V. The study of consumer properties of bread from wheat flour of the highest and first grades with the addition of amaranth flour. *Vestnik KrasGAU*, 2020, no. 12 (165), pp. 165-171.
 13. Perepechina A.I., Petrova O.N. Development of vanilla cream with the addition of amaranth flour. *Fundamentals and perspectives of organic biotechnologies*, 2020, no. 3, pp. 23-27.
 14. Zvyagin A.A., Bavykina I.A., Zharkova I.M., Miroshnichenko L.A. Potential possibilities of amaranth flour as a gluten-free product. *Questions of children's nutrition*, 2015, vol. 13, no. 2, pp. 46-51.
 15. Magomedov I.M., Chirkova A.I., Chirkova T.V. The role of biopeptides and antioxidants of amaranth grain for the prevention of human chronic diseases. *Practical phytotherapy*, 2017, no. 2, pp. 49-54.
 16. Urubkov S.A., Khovanskaya S.S., Smirnov S.O. Study of the content of the main macronutrients in the products of processing of amaranth grain. *Modern science and innovations*, 2019, no. 2 (26), pp. 204-208. <https://doi.org/10.33236/2307-910X-2019-2-26-204-208>.

17. Ostrikov A.N., Popov A.S., Sokolov I.Yu. Optimization of the amino acid composition of extruded products based on amaranth meal. *Izvestia of higher educational institutions. Food technology*, 2004, no. 5-6 (282-283), pp. 34-36.
18. Azizov I.K., Akhmadova G.A. Amino acid composition of seeds of amaranth tailed, growing in Uzbekistan. *Pharmacy*, 2021, vol. 70, no. 7, pp. 37-40.
19. Meshcheryakova O.L., Goykalova O.Yu., Kiseleva D.E., Miroshnichenko L.A. Comparative characteristics of the amino acid composition of amaranth protein and casein. *Modern trends in the development of science and technology*, 2016, no. 12-1, pp. 78-80.
20. Fatkhullaev A., Iskandarov Z.S., Abdumalikov I.R., Saidullaeva Yu.T. Development of technology for the production of a therapeutic and prophylactic product based on the amaranth plant. *The Scientific Heritage*, 2021, no. 65-1 (65), pp. 62-65.
21. Aravina K.I., Arsenyeva T.P. Development of the composition and technology of a soft cheese product using high-protein amaranth flour. *Scientific journal NRU ITMO. Series: Processes and devices for food production*, 2016, no. 4, pp. 17-25.
22. Butova S.V., Shakhova M.N., Kondaurova M.N. Antioxidant properties of amaranth flour. *Technologies and merchandising of agricultural products*, 2017, vol. 1(8), pp. 77-82.
23. Aleksanyan K.G., Koshelev V.N., Cheban E.G., Stokolos O.A., Kilyakova A.Yu., Sorokina A.S., Shamsutdinova L.P., Gazizov M.B., Pistsova A.L., Aleksanyan D.R., Agadzhanyan S.A. Dependence of the antioxidant properties of some spatially substituted phenols on the calculated parameters of the structure of antioxidant molecules. *ChemChemTech.*, 2021, vol. 64, no. 11, pp. 35-43. <https://doi.org/10.6060/ivkkt.20216411.6476>
24. Sysoeva M.G., Glotova I.A., Aristova A.V., Pronina E.A., Polenov I.V., Smol'skaya L.G. Substantiation and development of technology for a cheese product using amaranth flour. *Technologies of the food and processing industry of the agro-industrial complex - healthy food products*, 2017, no. 5 (19), pp. 64-72.
25. Egorova E.Yu., Reznichenko I.Yu. Development of a food concentrate - a semi-finished product of gluten-free cakes with amaranth flour. *Technique and technology of food production*, 2018, vol. 48, no. 2, pp. 36-45. <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2018-2-36-45>
26. Urubkov S.A., Khovanskaya S.S., Smirnov S.O. Prospects for the use of amaranth in the diet therapy of children with gluten intolerance. *Technique and technology of food production*, 2019, vol. 49, no. 2, pp. 253-261. <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2019-2-253-261>

27. Inglett G.E., Chen D., Liu S.X. Physical properties of gluten-free sugar cookies made from amaranth-oat composites. *LWT - Food Science and Technology*, 2015, vol. 63, no. 1, pp. 214-220. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2015.03.056>
28. Urubkov S.A., Khovanskaya S.S., Smirnov S.O. Amaranth as a source of selenium in a gluten-free diet. *Pediatric Nutrition*, 2019, vol. 17, no. 3, pp. 42-46. <https://doi.org/10.20953/1727-5784-2019-3-42-46>
29. Bavykina I.A., Zvyagin A.A., Miroshnichenko L.A., Burkovsky V.L. Amaranth products in the gluten-free diet and their impact on patients' physical development. *Acta Medica Mediterranea*, 2018, vol. 34, no. 6, pp. 2001-2006. https://doi.org/10.19193/0393-6384_2018_6_312
30. Liu S., Chen D., Xu J. Characterization of amaranth and bean flour blends and the impact on quality of gluten-free breads. *Journal of Food Measurement and Characterization*, 2019, vol. 13, no. 2, pp. 1440-1450. <https://doi.org/10.1007/s11694-019-00060-4>
31. Derkanosova N., Stakhurlova A., Pshenichnaya I., Ponomareva I., Peregonchaya O., Sokolova S. Amaranth as a bread enriching ingredient. *Foods and Raw Materials*, 2020, vol. 8, no. 2, pp. 223-231. <https://doi.org/10.21603/2308-4057-2020-2-223-231>
32. Polovtseva A.A., Naumtsev O.N., Borisova A.V. The use of corn, rice and amaranth flour in the formulation of gluten-free cakes. *Food technology*, 2020, no. 1 (373), pp. 48-52. <https://doi.org/10.26297/0579-3009.2020.1.13.18>
33. Sysoeva M.G., Glotova I.A., Aristova A.V., Pronina E.A., Polenov I.V., Smol'skaya L.G. Substantiation and development of technology for a cheese product using amaranth flour. *Technologies of the food and processing industry of the agro-industrial complex - healthy food products*, 2017, no. 5 (19), pp. 64-72.
34. Derkanosova N.M., Stakhurlova A.A., Pshenichnaya I.A., Ponomareva I.N., Vasilenko O.A., Shurshikova G.V. Application of application of the amaranth extrudate in the technology of bread from grade wheat flour. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 6th International Conference on Agriproducts Processing and Farming*, 2020, P. 012010.
35. Zeashan H., Amresh G., Singh S., Rao Ch. V. Hepatoprotective activity of *Amaranthus spinosus* in experimental animals. *Food Chem. Toxic*, 2008, vol. 46, no. 11, pp. 3417-3421.
36. Kamal R. Radio-protective role of *Amaranthus paniculatus* L. on the sensitivity of mouse spermatogonia after exposure to gamma radiation. *Himalayan J. Envir. Zool*, 2007, vol. 21, no. 2, pp. 315-318.
37. Tapia-Blácido D.R., do Amaral Sobral P.J., Menegalli F.C. Optimization of amaranth flour films plasticized with glycerol and sorbitol by multi-response anal-

- ysis. *LWT - Food Science and Technology*, 2011, vol. 44, no. 8, pp. 1731-1738. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2011.04.004>
38. Tosi E.A., Re E.D., Masciarelli R., Sanchez H., Osella C., de la Torre M.A. Whole and defatted hyperproteic amaranth flours tested as wheat flour supplementation in mold breads. *LWT - Food Science and Technology*, 2002, vol. 35, no. 5, pp. 472-475. <https://doi.org/10.1006/fstl.2002.0892>
39. Rustemova A., Kydytaliev N., Batyrbayeva N., Sadygova M.K. Study of rheological properties of cakedough from a mixture of wheat and amaranth flour. *BIO Web of Conferences. International Scientific-Practical Conference "Agriculture and Food Security: Technology, Innovation, Markets, Human Resources" (FIES 2019)*, 2020, p. 00145.
40. Liu S., Chen D., Xu J. Characterization of amaranth and bean flour blends and the impact on quality of gluten-free breads. *Journal of Food Measurement and Characterization*, 2019, vol. 13, no. 2, pp. 1440-1450. <https://doi.org/10.1007/s11694-019-00060-4>
41. Srivastava S., Sreerama Y.N., Dharmaraj U. Effect of processing on squalene content of grain amaranth fractions. *Journal of Cereal Science*, 2021, vol. 100, p. 103218. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2021.103218>
42. Caselato-Sousa V.M., Amaya-Farfán J. State of knowledge on amaranth grain: a comprehensive review. *Journal of Food Science*, 2012, vol. 77, no. 4, pp. R93-R104. <https://doi.org/10.1111/j.1750-3841.2012.02645.x>
43. Niveyro S., Salvo A. Taxonomic and functional structure of phytophagous insect communities associated with grain amaranth. *Neotropical Entomology*, 2014, vol. 43, no. 6, pp. 532-540. <https://doi.org/10.1007/s13744-014-0248-3>
44. Agarwal A.G., Sidhu O.P., Khan M.I., Singh K., Badruddeen, Akhtar J., Ahmad M. Resurgence of grain amaranth in the food and nutraceutical industry : a review. *Biochemical and Cellular Archives*, 2019, vol. 19, no. 2, pp. 3521-3528.
45. Stănilă A., Diaconeasa Z., Cioanca B., Sima R.M., Stănilă S., Sima N. Phytochemical composition and antioxidant activity of various grain amaranth cultivars. *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca*, 2019, vol. 47, no. 4, pp. 1153-1160. <https://doi.org/10.15835/nbha47411714>
46. Umadevi M., Devanand P.S., Kumaran K. Characterization of grain amaranth genetic resources for agro-morphological traits. *Indian Journal of Ecology*, 2020, vol. 47, no. 1, pp. 221-225.
47. Lancíková V., Hricová A., Tomka M., Žiarovská J., Gažo J. Morphological responses and gene expression of grain amaranth (*Amaranthus* spp.) growing under cd. *Plants*, 2020, vol. 9, no. 5, pp. 572-585. <https://doi.org/10.3390/plants9050572>

48. Klubicova K., Libiakova G., Hricova A., Szabova M., Skultety L. Revealing the seed proteome of the health benefitting grain amaranth (*amaranthus cruentus* L.). *Chemical Papers*, 2016, vol. 70, no. 10, pp. 1322-1335. <https://doi.org/10.1515/chempap-2016-0065>
49. Stetter M.G., Müller T., Schmid K.J. Genomic and phenotypic evidence for an incomplete domestication of south american grain amaranth (*amaranthus caudatus*). *Molecular Ecology*, 2017, vol. 26, no. 3, pp. 871-886. <https://doi.org/10.1111/mec.13974>
50. Joshi D.C., Hosahatti R., Kant L., Pattanayak A., Sood S., Kumar A., Yadav D., Stetter M.G. From zero to hero: the past, present and future of grain amaranth breeding. *Theoretical and Applied Genetics TAG*, 2018, vol. 131, no. 9, pp. 1807-1823. <https://doi.org/10.1007/s00122-018-3138-y>
51. Gins M., Gins V., Momyleva S., Kulikov I., Medvedev S., Kononkov P., Pivovarov V. Mineral composition of amaranth (*amaranthus* L.) seeds of vegetable and grain usage by arhivbsp selection. *Potravinarstvo*, 2018, vol. 12, no. 1, pp. 330-336. <https://doi.org/10.5219/863>
52. Krupodorova T.A., Barshteyn V.Y., Bisko N.A., Ivanova T. S. Some macronutrient content in mycelia and culture broth of medicinal mushrooms cultivated on amaranth flour. *International Journal of Medicinal Mushrooms*, 2012, vol. 14, no. 3, pp. 285-293.
53. Shunekeyeva A.A., Alimardanova M., Albertovich M.A. Chemical composition, texture and sensory evaluation of yogurts supplemented with amaranth flour. *American Journal of Animal and Veterinary Sciences*, 2021, vol. 16, no. 2, pp. 136-143.
54. Linsberger-Martin G., Lukasch B., Berghofer E. Effects of high hydrostatic pressure on the rs content of amaranth, quinoa and wheat starch. *Starch*, 2012, vol. 64, no. 2, pp. 157-165.
55. Elizabeth Contreras L., Judith Jaimez O., Juan Carlos Soto R., Castañeda Araceli O., Añorve Javier M. Increasing the protein content of an amaranth (*amaranthus hypochondriacus*) drink. *Revista Chilena de Nutricion*, 2011, vol. 38, no. 3, pp. 322-330.
56. Ventureira J.L., Bolontrade A.J., Speroni F., Scilingo A.A., Añón M.C., David-Briand E., Ropers M.-H., Anton M., Boury F. Interfacial and emulsifying properties of amaranth (*amaranthus hypochondriacus*) protein isolates under different conditions of pH. *LWT - Food Science and Technology*, 2012, vol. 45, no. 1, pp. 1-7.
57. Soares R.A.M., de Castro L.Í.A., Menezes A.C., Arêas J.A.G., Mendonça S. Major peptides from amaranth (*amaranthus cruentus*) protein inhibit hmg-coa

- reductase activity. *International Journal of Molecular Sciences*, 2015, vol. 16, no. 2, pp. 4150-4160.
58. Olguín-Calderón D., González-Escobar J.L., Ríos-Villa R., De León-Rodríguez A., Barba De La Rosa A.P., Dibildox-Alvarado E. Modulation of caecal microbiome in obese mice associated with administration of amaranth or soybean protein isolates. *Polish Journal of Food and Nutrition Sciences*, 2019, vol. 69, no. 1, pp. 35-44.
59. Yıldırım A., Bayram M. and Öner M.D. Ternary milling of bulgur with four rollers. *Journal of Food Engineering*, 2008, no. 84(3), pp. 394-399. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2007.05.032>.
60. Yıldırım A., Bayram M. and Öner M.D. Bulgur milling using a helical disc mill. *Journal of Food Engineering*, 2008, no. 87(4), pp. 564-570. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2008.01.010>

Список литературы

1. Литвинова О. С. Структура питания населения российской федерации. Гигиеническая оценка // Здоровье населения и среда обитания. 2016. № 5 (278). С. 11-14.
2. Железнов, А. В., Железнова, Н. Б., Бурмакина, Н. В., Юдина, Р. С. Амарант: научные основы интродукции // Новосибирск. 2009. 236 с.
3. Шмалько Н. А. Хлебопекарные свойства ржано-пшеничной смеси с амарантовой мукой // Электронный сетевой политематический журнал «Научные труды КубГТУ». 2017. № 5. С. 243-253.
4. Гинс В. К., Гинс М. С., Дерканосова Н. М., Пономарева И. Н., Золотарева Н. И. Применение амаранта в технологии хлеба из смеси ржаной и пшеничной муки // Новые и нетрадиционные растения и перспективы их использования. 2017. № S12. С. 277-279.
5. Жаркова И. М., Труфанова Ю. Н. Исследования биологической ценности безглютенового хлеба из амарантовой муки и кукурузного крахмала // Гастроэнтерология Санкт-Петербурга. 2016. № 1-2. С. M11-M11с.
6. Жаркова И. М., Мирошниченко Л. А., Росляков Ю. Ф. Исследование возможности применения традиционных сухих заквасок в технологии хлеба из амарантовой муки // Хлебопродукты. 2017. № 4. С. 44-46.
7. Жаркова И.М., Сафонова Ю.А., Самохвалов А.А. Исследование влияния параметров обработки зерна амаранта перед помолом на свойства полученной муки // Вестник Воронежского государственного университета инженерных технологий. 2018. Т. 80. № 4 (78). С. 41-48.
8. Жаркова, И. М., Лавров С. В., Самохвалов А. А., Гребенщиков А. В., Мирошниченко Л. А. Разработка функциональных пищевых продуктов для

- безглютенового и геродического питания, в том числе для профилактики остеопороза // Хлебопродукты. 2019. № 12. С. 53-55.
9. Шмалько Н. А., Смирнов С. О. Способ производства хлеба при добавлении амарантовой крупяной муки // Ползуновский вестник. 2018. № 1. С. 27-31.
 10. Шмалько Н. А., Смирнов С. О. Амарантовые отруби в рецептуре пшеничного хлеба // Хлебопечение России. 2018. № 3. С. 42-45.
 11. Шмалько Н. А. Современные технологии ржано-пшеничного хлеба с использованием амарантовой муки // Известия высших учебных заведений. Пищевая технология. 2021. № 2-3 (380-381). С. 6-9.
 12. Никонорова Ю. Ю., Волкова А. В., Казарина А. В. Изучение потребительских свойств хлеба из пшеничной муки высшего и первого сортов с добавлением амарантовой муки // Вестник КрасГАУ. 2020. № 12 (165). С. 165-171.
 13. Перепечина А.И., Петрова О.Н. Разработка крема ванильного с добавкой муки амаранта // Основы и перспективы органических биотехнологий. 2020. № 3. С. 23-27.
 14. Звягин А.А., Бавыкина И.А., Жаркова И.М., Мирошниченко Л.А. Потенциальные возможности амарантовой муки как безглютенового продукта // Вопросы детской диетологии. 2015. Т. 13. № 2. С. 46-51.
 15. Магомедов И.М., Чиркова А.И., Чиркова Т.В. Роль биопептидов и антиоксидантов зерна амаранта для профилактики хронических заболеваний человека // Практическая фитотерапия. 2017. № 2. С. 49-54.
 16. Урубков С.А., Хованская С.С., Смирнов С.О. Исследование содержания основных макронутриентов в продуктах переработки зерна амаранта // Современная наука и инновации. 2019. № 2 (26). С. 204-208. <https://doi.org/10.33236/2307-910X-2019-2-26-204-208>
 17. Остриков А.Н., Попов А.С., Соколов И.Ю. Оптимизация аминокислотного состава экструдированных продуктов на основе амарантового шрота // Известия высших учебных заведений. Пищевая технология. 2004. № 5–6 (282–283). С. 34–36.
 18. Azizov I.K., Akhmadova G.A. Amino acid composition of seeds of amaranth tailed, growing in Uzbekistan. *Pharmacy*, 2021, vol. 70, no. 7, pp. 37-40.
 19. Мещерякова О.Л., Гойкалова О.Ю., Киселева Д.Е., Мирошниченко Л.А. Сравнительная характеристика аминокислотного состава белка амаранта и казеина // Современные тенденции развития науки и техники. 2016. № 12-1. С. 78-80.
 20. Фатхуллаев А., Искандаров З.С., Абдумаликов И.Р., Сайдуллаева Ю.Т. Разработка технологии производства лечебно-профилактического продукта на основе растения амарант // Научное наследие. 2021. №65-1 (65). С. 62-65.

21. Аравина К.И., Арсеньева Т.П. Разработка состава и технологии мягкого сырного продукта с использованием высокобелковой муки амаранта // Научный журнал НИУ ИТМО. Серия: Процессы и аппараты пищевых производств. 2016. № 4. С. 17-25.
22. Бутова С.В., Шахова М.Н., Кондаурова М.Н. Антиоксидантные свойства амарантовой муки // Технологии и товароведение сельскохозяйственной продукции. 2017. № 1 (8). С. 77-82.
23. Aleksanyan K.G., Koshelev V.N., Cheban E.G., Stokolos O.A., Kilyakova A.Yu., Sorokina A.S., Shamsutdinova L.P., Gazizov M.B., Pistsova A.L., Aleksanyan D.R., Agadzhanyan S.A. Dependence of the antioxidant properties of some spatially substituted phenols on the calculated parameters of the structure of antioxidant molecules // ChemChemTech. 2021. Т. 64. No. 11. P. 35-43. <https://doi.org/10.6060/ivkkt.20216411.6476>
24. Сысоева М.Г., Глотова И.А., Аристова А.В., Пронина Е.А., Поленов И.В., Смольская Л.Г. Обоснование и разработка технологии сырного продукта с применением муки амаранта // Технологии пищевой и перерабатывающей промышленности АПК – продукты здорового питания. 2017. № 5 (19). С. 64-72.
25. Егорова Е.Ю., Резниченко И.Ю. Разработка пищевого концентрата - полуфабриката безглютеновой лепешки с амарантовой мукой // Техника и технология пищевых производств. 2018. Т. 48(2). С. 36-45. <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2018-2-36-45>
26. Урубков С.А., Хованская С.С., Смирнов С.О. Перспективы использования амаранта в диетотерапии детей с непереносимостью глютена // Техника и технология пищевых производств. 2019. Т. 49(2). С. 253-261. <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2019-2-253-261>
27. Inglett G.E., Chen D., Liu S.X. Physical properties of gluten-free sugar cookies made from amaranth-oat composites // LWT - Food Science and Technology, 2015, vol. 63, no. 1, pp. 214-220. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2015.03.056>
28. Urubkov S.A., Khovanskaya S.S., Smirnov S.O. Amaranth as a source of selenium in a gluten-free diet // Pediatric Nutrition, 2019, vol. 17, no. 3, pp. 42-46. <https://doi.org/10.20953/1727-5784-2019-3-42-46>
29. Bavykina I.A., Zvyagin A.A., Miroshnichenko L.A., Burkovsky V.L. Amaranth products in the gluten-free diet and their impact on patients' physical development // Acta Medica Mediterranea, 2018, vol. 34, no. 6, pp. 2001-2006. https://doi.org/10.19193/0393-6384_2018_6_312
30. Liu S., Chen D., Xu J. Characterization of amaranth and bean flour blends and the impact on quality of gluten-free breads // Journal of Food Measurement and

- Characterization, 2019, vol. 13, no. 2, pp. 1440-1450. <https://doi.org/10.1007/s11694-019-00060-4>
31. Derkanosova N., Stakhurlova A., Pshenichnaya I., Ponomareva I., Peregonchaya O., Sokolova S. Amaranth as a bread enriching ingredient // *Foods and Raw Materials*, 2020, vol. 8, no. 2, pp. 223-231. <https://doi.org/10.21603/2308-4057-2020-2-223-231>
 32. Polovtseva A.A., Naumtsev O.N., Borisova A.V. The use of corn, rice and amaranth flour in the formulation of gluten-free cakes // *Food technology*, 2020, no. 1 (373), pp. 48-52. <https://doi.org/10.26297/0579-3009.2020.1.13.18>
 33. Sysoeva M.G., Glotova I.A., Aristova A.V., Pronina E.A., Polenov I.V., Smol'skaya L.G. Substantiation and development of technology for a cheese product using amaranth flour // *Technologies of the food and processing industry of the agro-industrial complex - healthy food products*, 2017, no. 5 (19), pp. 64-72.
 34. Derkanosova N.M., Stakhurlova A.A., Pshenichnaya I.A., Ponomareva I.N., Vasilenko O.A., Shurshikova G.V. Application of application of the amaranth extrudate in the technology of bread from grade wheat flour // *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 6th International Conference on Agriproducts Processing and Farming, 2020, P. 012010.
 35. Zeashan H., Amresh G., Singh S., Rao Ch. V. Hepatoprotective activity of *Amaranthus spinosus* in experimental animals // *Food Chem. Toxic*, 2008, vol. 46, no. 11, pp. 3417-3421.
 36. Kamal R. Radio-protective role of *Amaranthus paniculatus* L. on the sensitivity of mouse spermatogonia after exposure to gamma radiation // *Himalayan J. Environ. Zool*, 2007, vol. 21, no. 2, pp. 315-318.
 37. Tapia-Blácido D.R., do Amaral Sobral P.J., Menegalli F.C. Optimization of amaranth flour films plasticized with glycerol and sorbitol by multi-response analysis // *LWT - Food Science and Technology*, 2011, vol. 44, no. 8, pp. 1731-1738. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2011.04.004>
 38. Tosi E.A., Re E.D., Masciarelli R., Sanchez H., Osella C., de la Torre M.A. Whole and defatted hyperproteic amaranth flours tested as wheat flour supplementation in mold breads // *LWT - Food Science and Technology*, 2002, vol. 35, no. 5, pp. 472-475. <https://doi.org/10.1006/fstl.2002.0892>
 39. Rustemova A., Kydytaliev N., Batyrbayeva N., Sadygova M.K. Study of rheological properties of cakedough from a mixture of wheat and amaranth flour // *BIO Web of Conferences*. International Scientific-Practical Conference "Agriculture and Food Security: Technology, Innovation, Markets, Human Resources" (FIES 2019), 2020, P. 00145.
 40. Liu S., Chen D., Xu J. Characterization of amaranth and bean flour blends and the impact on quality of gluten-free breads // *Journal of Food Measurement and*

- Characterization. 2019, vol. 13, no. 2, pp. 1440-1450. <https://doi.org/10.1007/s11694-019-00060-4>
41. Srivastava S., Sreerama Y.N., Dharmaraj U. Effect of processing on squalene content of grain amaranth fractions // *Journal of Cereal Science*, 2021, vol. 100, P. 103218. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2021.103218>
 42. Caselato-Sousa V.M., Amaya-Farfán J. State of knowledge on amaranth grain: a comprehensive review // *Journal of Food Science*, 2012, vol. 77, no. 4. pp. R93-R104. <https://doi.org/10.1111/j.1750-3841.2012.02645.x>
 43. Niveyro S., Salvo A. Taxonomic and functional structure of phytophagous insect communities associated with grain amaranth // *Neotropical Entomology*, 2014, vol. 43, no. 6, pp. 532-540. <https://doi.org/10.1007/s13744-014-0248-3>
 44. Agarwal A.G., Sidhu O.P., Khan M.I., Singh K., Badruddeen, Akhtar J., Ahmad M. Resurgence of grain amaranth in the food and nutraceutical industry : a review // *Biochemical and Cellular Archives*, 2019, vol. 19, no. 2, pp. 3521-3528.
 45. Stănilă A., Diaconeasa Z., Cioanca B., Sima R.M., Stănilă S., Sima N. Phytochemical composition and antioxidant activity of various grain amaranth cultivars // *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca*, 2019, vol. 47, no. 4. pp. 1153-1160. <https://doi.org/10.15835/nbha47411714>
 46. Umadevi M., Devanand P.S., Kumaran K. Characterization of grain amaranth genetic resources for agro-morphological traits // *Indian Journal of Ecology*. 2020, vol. 47, no.1, pp. 221-225.
 47. Lanciková V., Hricová A., Tomka M., Žiarovská J., Gažo J. Morphological responses and gene expression of grain amaranth (*amaranthus* spp.) growing under cd. // *Plants*, 2020, vol. 9, no. 5, pp. 572-585. <https://doi.org/10.3390/plants9050572>
 48. Klubicova K., Libiakova G., Hricova A., Szabova M., Skultety L. Revealing the seed proteome of the health benefitting grain amaranth (*amaranthus cruentus* l.). *Chemical Papers*, 2016, vol. 70, no. 10, pp. 1322-1335. <https://doi.org/10.1515/chempap-2016-0065>
 49. Stetter M.G., Müller T., Schmid K.J. Genomic and phenotypic evidence for an incomplete domestication of south american grain amaranth (*amaranthus caudatus*) // *Molecular Ecology*, 2017, vol. 26, no. 3, pp. 871-886. <https://doi.org/10.1111/mec.13974>
 50. Joshi D.C., Hosahatti R., Kant L., Pattanayak A., Sood S., Kumar A., Yadav D., Stetter M.G. From zero to hero: the past, present and future of grain amaranth breeding // *Theoretical and Applied Genetics TAG*, 2018, vol. 131, no. 9, pp. 1807-1823. <https://doi.org/10.1007/s00122-018-3138-y>
 51. Gins M., Gins V., Momyleva S., Kulikov I., Medvedev S., Kononkov P., Pivovarov V. Mineral composition of amaranth (*amaranthus* l.) seeds of vegetable

- and grain usage by arhivbsp selection // Potravinarstvo, 2018, vol. 12, no. 1, pp. 330-336. <https://doi.org/10.5219/863>
52. Krupodorova T.A., Barshteyn V.Y., Bisko N.A., Ivanova T. S. Some macronutrient content in mycelia and culture broth of medicinal mushrooms cultivated on amaranth flour // International Journal of Medicinal Mushrooms, 2012, vol. 14, no. 3, pp. 285-293.
53. Shunekeyeva A.A., Alimardanova M., Albertovich M.A. Chemical composition, texture and sensory evaluation of yogurts supplemented with amaranth flour // American Journal of Animal and Veterinary Sciences, 2021, vol. 16, no. 2, pp. 136-143.
54. Linsberger-Martin G., Lukasch B., Berghofer E. Effects of high hydrostatic pressure on the rs content of amaranth, quinoa and wheat starch // Starch, 2012, vol. 64, no. 2, pp. 157-165.
55. Elizabeth Contreras L., Judith Jaimez O., Juan Carlos Soto R., Castañeda Araceli O., Añorve Javier M. Increasing the protein content of an amaranth (*amaranthus hypochondriacus*) drink // Revista Chilena de Nutricion, 2011, vol. 38, no. 3, pp. 322-330.
56. Ventureira J.L., Bolontrade A.J., Speroni F., Scilingo A.A., Añón M.C., David-Briand E., Ropers M.-H., Anton M., Boury F. Interfacial and emulsifying properties of amaranth (*amaranthus hypochondriacus*) protein isolates under different conditions of pH. // LWT - Food Science and Technology, 2012, vol. 45, no. 1, pp. 1-7.
57. Soares R.A.M., de Castro L.Í.A., Menezes A.C., Arêas J.A.G., Mendonça S. Major peptides from amaranth (*amaranthus cruentus*) protein inhibit hmg-coa reductase activity // International Journal of Molecular Sciences, 2015, vol. 16, no. 2, pp. 4150-4160.
58. Olguín-Calderón D., González-Escobar J.L., Ríos-Villa R., De León-Rodríguez A., Barba De La Rosa A.P., Dibildox-Alvarado E. Modulation of caecal microbiome in obese mice associated with administration of amaranth or soybean protein isolates // Polish Journal of Food and Nutrition Sciences, 2019, vol. 69, no. 1, pp. 35-44.
59. Yıldırım A., Bayram M. and Öner M.D. Ternary milling of bulgur with four rollers // Journal of Food Engineering, 2008, no. 84(3), pp. 394-399. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2007.05.032>.
60. Yıldırım A., Bayram M. and Öner M.D. Bulgur milling using a helical disc mill // Journal of Food Engineering, 2008, no. 87(4), pp. 564-570. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2008.01.010>

DATA ABOUT THE AUTHORS

Roman Kh. Kandrov, Associate Professor of the Department of Grains, Bakery and Confectionery Technologies
Russian Biotechnological University "ROSBIOTECH"

11, Volokolamskoe shosse, Moscow, 125080, Russian Federation
nart132007@mail.ru
SPIN-code: 7081-1209
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2003-2918>
Researcher ID: AAX-2106-2020
Scopus Author ID: 57200383950

Kerim S. Bekshokov, Associate Professor, Department of Biochemistry and Biophysics
Dagestan State University
43A, M. Gadzhiev Str., Makhachkala, 367000, Russian Federation
gopher2000@mail.ru
SPIN-code: 2670-5760
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0736-1522>
Scopus Author ID: 57194067950

Patimat A. Bekshokova, Associate Professor, Department of Ecology
Dagestan State University
43A, M. Gadzhiev Str., Makhachkala, 367000, Russian Federation
patenka2009@mail.ru
SPIN-code: 3533-6890
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5473-0728>
Scopus Author ID: 57204509939

ДАННЫЕ ОБ АВТОРАХ

Кандроков Роман Х., доцент кафедры зерновых, хлебопекарных и кондитерских технологий
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Российский биотехнологический университет «РОСБИОТЕХ»
Волоколамское шоссе, 11, г. Москва, 125080, Российская Федерация
nart132007@mail.ru

Бекшоков Керим С., доцент кафедры биохимии и биофизики
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Дагестанский государственный университет»

*ул. М. Гаджиева, 43 А, г. Махачкала, 367000, Российская Федерация
gopher2000@mail.ru*

Бекшокова Патимат А., доцент кафедры экологии

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Дагестанский государственный университет»

*ул. М. Гаджиева, 43 А, г. Махачкала, 367000, Российская Федерация
patenka2009@mail.ru*

Поступила 07.09.2023

После рецензирования 01.10.2023

Принята 16.10.2023

Received 07.09.2023

Revised 01.10.2023

Accepted 16.10.2023

DOI: 10.12731/2658-6649-2024-16-2-710

УДК 004.8+573.22



Научная статья

ДЕТЕКЦИЯ ОСОБЕЙ ОЛЕНЕЙ НА ИЗОБРАЖЕНИЯХ ДЛЯ УЧЕТА ЧИСЛЕННОСТИ ПОПУЛЯЦИЙ МЕТОДАМИ КОМПЬЮТЕРНОГО ЗРЕНИЯ

С.Н. Терещенко, А.Л. Осипов, Е.Д. Моисеева

Цель. Распознавание особей оленей по их графическим изображениям на основе моделей сверточной нейронной сети.

Методы и материалы исследования. Материалом для исследований послужили размеченные изображения оленей в разных ареалах обитания, опубликованные в открытом доступе. Методы исследования: теория проектирования и разработка систем искусственного интеллекта; аугментации изображений для задач компьютерного зрения; алгоритмы настройки гиперпараметров для обучения моделей нейронной сети.

Результаты. Сохранение популяции оленей – одна из важных целей в экологии и сельском хозяйстве. Контроль численности особей влияет на сохранение редких видов оленей, и поддерживает объемы производства на фермах. Например, таким методом контроля может являться детекция особей оленей на фотографиях. Для точного определения и подсчета количества оленей можно использовать такой инструмент как нейронная сеть.

В работе использовались методы глубокого обучения сверточных нейронных сетей, а также концепция «transfer learning». На базе сети Faster R-CNN Resnet50 была обучена нейронная сеть, позволяющая с точностью 0,91 на тестовой выборке по метрике F1-score с пороговым значением 0.6 (совпадения площади предсказанной разметки и фактической) определять наличие отдельных особей на изображениях.

Заключение. Для решения задачи обнаружения оленей подготовлен набор данных, включающий более 30 тыс. изображений, с разметками отдельных особей. Разметка каждой особи включала координаты ограничивающего прямоугольника на изображении. На основе этой информации с помощью программных средств была разработана и обучена модель нейронной сети

для решения задачи детекции объектов особей оленей на изображениях. Проведенные эксперименты показали, что точность обнаружения с аугментацией в соответствии с показателем F1-score с пороговым значением 0.6 на обучающей выборке составила 0,96, а на тестовой выборке составила 0,91.

Ключевые слова: графические изображения; оленеводство; аугментация; нейронные сети; искусственный интеллект; детекция объектов

Для цитирования. Терещенко С.Н., Осипов А.Л., Моисеева Е.Д. Детекция особей оленей на изображениях для учета численности популяций методами компьютерного зрения // *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*. 2024. Т. 16, №2. С. 431-449. DOI: 10.12731/2658-6649-2024-16-2-710

Original article

DETECTION OF DEER IN IMAGES TO ACCOUNT POPULATIONS BY COMPUTER VISION METHODS

S.N. Tereshchenko, A.L. Osipov, E.D. Moiseeva

Purpose. Recognition of deer individuals by their graphic images based on convolutional neural network models.

Research methods and materials. The material for the research was marked images of deer in different habitats, published in the public domain. Research methods: theory of design and development of artificial intelligence systems; image augmentation for computer vision tasks; hyperparameter tuning algorithms for training neural network models.

Results. Conservation of the deer population is one of the important goals in ecology and agriculture. The control of the number of individuals affects the conservation of rare species of deer, and supports the production volumes on farms. For example, such a control method may be the detection of deer individuals in photographs. To accurately determine and count the number of deer, you can use a tool such as a neural network.

We used deep learning methods for convolutional neural networks, as well as the concept of “transfer learning”. On the basis of the Faster R-CNN Resnet50 network, a neural network was trained, which allows, with an accuracy of 0.91, to determine individual individuals in the images using the F1-score metric with a threshold value of 0.6 (coincidence of the area of the predicted markup and the actual one) with an accuracy of 0.91.

Conclusion. To solve the problem of deer detection, a data set has been prepared, including more than 30 thousand images, with markings of individual individuals. The marking of each individual included the coordinates of the bounding rectangle in the image. Based on this information, a neural network model was developed and trained using software tools to solve the problem of detecting deer objects in images. The experiments carried out showed that the accuracy of detection with augmentation in accordance with the F1-score indicator with a threshold value of 0.6 on the training sample was 0.96, and on the test sample was 0.91.

Keywords: graphic images; reindeer husbandry; augmentation; neural networks; artificial intelligence; object detection

For citation. Tereshchenko S.N., Osipov A.L., Moiseeva E.D. Detection of Deer in Images to Account Populations by Computer Vision Methods. *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*, 2024, vol. 16, no. 2, pp. 431-449. DOI: 10.12731/2658-6649-2024-16-2-710

Введение

Северные олени – основной источник мяса для северных регионов, которое считается абсолютно натуральным чистым продуктом и деликатесом для иных регионов.

С каждым годом численность оленей падает в связи с климатическими изменениями (таяние мерзлоты), браконьерством, нападением хищников.

На рисунке 1 представлена динамика, характеризующая численность крупного рогатого скота за 2017-2020 годы [5].

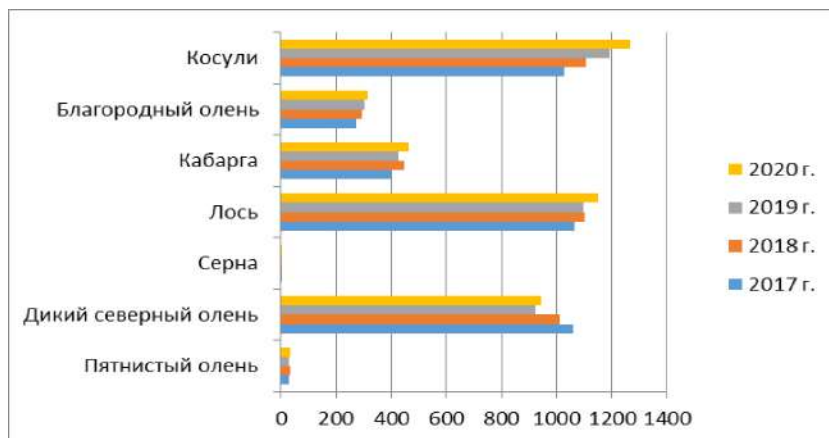


Рис. 1. Динамика численности крупного рогатого скота

График демонстрирует распределение количества особей по видам скота. Наиболее многочисленными являются такие виды, как косули, лоси и дикие северные олени. Самым редким видом считается серна.

Еще одним значимым фактом является увеличение численности особей почти по всем видам, что усложняет процесс контроля за популяциями.

Основными странами, занимающимися оленеводством являются: Россия, Финляндия, Норвегия, Швейцария, Монголия, Гренландия, Канада.

Распределение центров оленеводства представлено на рисунке 2.



Рис. 2. Распределение центров оленеводства [15]

На рисунке 3 представлено распределение основных угроз оленеводства:

Среди таких угроз: изменение климата, таяние вечной мерзлоты, прокладка газопровода, вырубка деревьев, добыча полезных ископаемых и др. [2].

Отсутствие достаточного финансирования не позволяет объективно оценивать численность популяции, как правило, системного контроля за состоянием и мониторингом популяции оленей как промыслового ресурса не происходит. Основной пищей оленей являются лишайники. Состояние лишайниковых пастбищ, например, на территории Якутии и Эвенкии изменились в сторону уплотнения. Отсутствует полная информация о запа-

сах кормов, что не позволяет качественно оценить численность популяции оленей в ее современном ареале.



Рис. 3. Распределение угроз оленеводства [14]

Система мониторинга включает в себя информацию: о хищниках; о популяции; о промысле оленей; о домашнем оленеводстве; о загрязнении пастбищ тяжелыми металлами.

Построение системы мониторинга популяции оленей должно базироваться на современных технических, информационных и коммуникационных средствах и технологиях (многоспектральная спутниковая съемка для оценки состояния растительного покрова, спутниковые ошейники, беспилотные летательные аппараты).

В рамках данной работы будет рассмотрен один из методов мониторинга – мониторинг с применением методов машинного обучения. Данный метод имеет высокую статистическую точность позволяет минимизировать затраты человеческих ресурсов.

Методы и материалы исследования

В данной статье для проведения научных изысканий исходным материалом послужили изображения (фотографии) оленей с размеченными координатами особей оленей, опубликованные в открытом доступе. Методы исследования: системы искусственного интеллекта; аугментация изобра-

жений; алгоритмы настройки гиперпараметров для обучения нейронной сети; критерии проверки качества разработанных моделей.

Анализ существующих исследований

В работе [20] рассматриваются вопросы, связанные с тем, как среда обитания, ландшафтный контекст и вмешательство человека влияют на плотность местных видов оленей, а также даются рекомендации, необходимые для стратегического управления растущими популяциями оленей. Адаптация управления лесным хозяйством для управления средой обитания и доступом к местам отдыха может повлиять на местную плотность оленей, но лишь незначительно: размеры эффекта недостаточны для смягчения воздействия на оленей за счет посадки уязвимых древесных культур в районах, избегаемых оленями. Частичная выбраковка остается наиболее жизнеспособным вариантом управления.

В работе [7] производится оценка выживаемости новорожденных оленят и рассматриваются причины смертности в районе реки Саванна, Южная Каролина, чтобы непосредственно оценить степень хищничества в этой популяции оленей. Койоты являются новыми хищниками на юго-востоке Соединенных Штатов, и их нападение на новорожденных белохвостых оленей может объяснить наблюдаемое сокращение некоторых популяций оленей в регионе, но прямых доказательств такой связи нет. Хищничество со стороны койотов было наиболее частой причиной смерти среди 70 умерших новорожденных, находящихся под наблюдением, что окончательно составило 37% всех смертей и потенциально составило до 80%, если также включить вероятное хищничество койотов. На хищничество рыси приходилось от 7% (окончательные) до 9% (включая вероятное хищничество рыси) смертей. Наблюдаемый уровень смертности, вызванной койотами, согласуется с низким уровнем пополнения, наблюдавшимся в этой популяции оленей с момента поселения койотов на этом участке. Текущие уровни вылова кажутся неустойчивыми, если репрезентативны показатели пополнения в Южной Каролине. Это понимание согласуется с недавней тенденцией к сокращению популяции оленей по всему штату. Влияние хищничества койотов на пополнение следует учитывать при постановке целей добычи, независимо от того, превышает ли в настоящее время размер местной популяции оленей желаемый уровень или ниже, поскольку койоты могут существенно сократить популяцию оленей.

В работе [8] исследуется модель зависимости скорости расселения оленей от плотности. В ходе исследования выдвигается гипотеза, что модель

может заметно различаться между полами у высоко полигинных видов. У видов с полигинной системой спаривания самки считаются ограниченными в еде, а самцы ограничены в доступе к самкам. Когда местная плотность увеличивается, доступность корма снижается, в то время как доступ к самкам для самцов может увеличиваться из-за все более склонного к самкам соотношения полов. Следовательно, зависимость показателей эмиграции от плотности может различаться между полами. В результате исследования 468 молодых благородных оленей, отмеченных в Сниллфьорде (Норвегия), за 20-летний период – численность популяции увеличилась в шесть раз. Демонстрируется сильный отрицательный уровень эмиграции в зависимости от плотности у самцов, в то время как уровень эмиграции у самок был ниже и не зависел от плотности.

В работе [11] рассматривается детерминированная модель популяции для имитации динамики стада белохвостого оленя в зоне управления дикой природой Милле-Лакс (штат Миннесота). Модель основывается на трех основных параметрах, представляющих воспроизводство, урожай и естественную смертность. Коэффициенты воспроизводства зависят от возраста, а показатели добычи и естественной смертности зависят от возраста и пола. Коэффициенты естественной смертности были оценены с использованием данных о выживаемости, собранных у 81 самки оленя с радио-ошейником. Анализ показал, что оценки численности популяции, полученные с помощью детерминированной модели, будут достаточно точными в течение периода до 4 лет. Результаты показывают, что, хотя детерминированные модели учета полезны для руководства исследовательской деятельностью и оценки потенциальных последствий предлагаемых стратегий управления, но они не предназначены для мониторинга численности оленей в течение длительного периода времени.

В работе [9, 13] рассматриваются дикие пятнистые олени, которые находятся под угрозой утраты и фрагментации среды обитания по всему Восточному Китаю. Было смоделировано выполнение предложенных управленческих вмешательств – пополнение популяции и восстановление среды обитания. В сценарии, когда 60% или 30% подходящей среды обитания были потеряны, модель жизнеспособности популяции предсказывала 99,6% и 85,5% вероятность сокращения популяции к 40 годам. Моделирование показало, что пропускная способность, на которую влияют смена растительности и социально-экономическое развитие, будет ограничивать рост популяции пятнистого оленя.

В работе [10] исследуются основные механизмы, влияющие на демографию популяции. В их число входят: взаимосвязь вида и среды обитания и пространственного масштаба, в котором эти взаимосвязи проявляются. Оцениваются характеристики ландшафта и суровость зимы, которые влияют на рождаемость и численность белохвостого оленя в Северной Дакоте. Для исследования использовались данные зимних аэрофотосъемок за 10 лет. В то время, как наличие укрытия было основным фактором, определяющим появление и численность белохвостого оленя в широком пространственном масштабе, а в мелком пространственном масштабе олени выбирали пищу. Был сделан вывод, что землеустроители должны сосредоточиться на способах обеспечения укрытий в широком пространственном масштабе, поощряя при этом землевладельцев поставлять ресурсы зимой в более мелких пространственных масштабах. Поэтому предлагается пространственный многомасштабный подход, который предполагает партнерство между землевладельцами и государственными учреждениями для эффективного управления белохвостыми оленями.

Для подсчета численности оленей рекомендуется использовать сверточные нейронные сети, которые показали свою эффективность в различных сферах деятельности. В работе [18] они показали высокую эффективность к задачам стегоанализа графических изображений. Показано, что глубокая сверточная нейронная сеть может быть обучена для классификации наличия скрытых данных в графических изображениях, достигая точности 0,928 в соответствии со взвешенной метрикой AUC.

В статье [3] проведены научные исследования по классификации заболеваний маниока методами компьютерного зрения на основе сверточных нейронных сетей. С использованием сети ResNet 50 происходило обучение нейронной сети, которая позволила с точностью 0,93 по метрике F1-score классифицировать заболевания у растения маниок по графическим изображениям.

В работе [4] проведены научные изыскания по классификации внекорневых заболеваний яблоневых культур методами компьютерного зрения на основе сверточных нейронных сетей. Нейронная сеть EfficientNet позволила с точностью 0,9842 по метрике F1-score обнаруживать некорневые заболевания яблони по изображению листьев.

В статье [16] нейронные сети и компьютерное зрение применялось для определения концентрации проппанта для гидроразрыва пласта. В ней описан опыт применения технологий компьютерного зрения для определения размера фракции расклинивающего агента по фотографии со смартфона. Модель нейронной сети была обучена с помощью фреймворка PyTorch и библиотеки

TorchVision и использовала предварительно обученную сеть MobileNet V2. Результаты исследования показали, что точность классификации на тестовой выборке по показателю F1-score была равна 0,95. Разработанная модель была рекомендована для использования в нефтяной промышленности для определения фракции расклинивающего агента по фотографии со смартфона.

В работе [17] использовалась технология нейронной сети для подсчета количества колосьев пшеницы по фотографиям пшеничных полей. С помощью архитектуры EfficientDet произведено обучение нейронной сети, которая позволила обнаруживать количество колосьев пшеницы с точностью 0,88012 по показателям F1-score с пороговым значением 0,6 (совпадение прогнозируемых и фактических областей разметки) по графическим изображениям.

Результаты исследования

Открытый датасет представляет собой более 11336 изображений. Изображения были размечены на ограничивающие области. Координаты и размеры ограничивающей области в виде прямоугольников определяют область нахождения особи оленя на изображении. На изображении может находиться несколько объектов (оленей). Изображения размером 512x512 пикселей представлены в формате “jpg”. К датасету прилагается файл в формате «csv» с разметкой вершин ограничивающих областей для каждой особи. Для обучения использовался фреймворк PyTorch. В работе решается задача детекции объектов. Пример изображений из датасета представлен на рисунке 4.

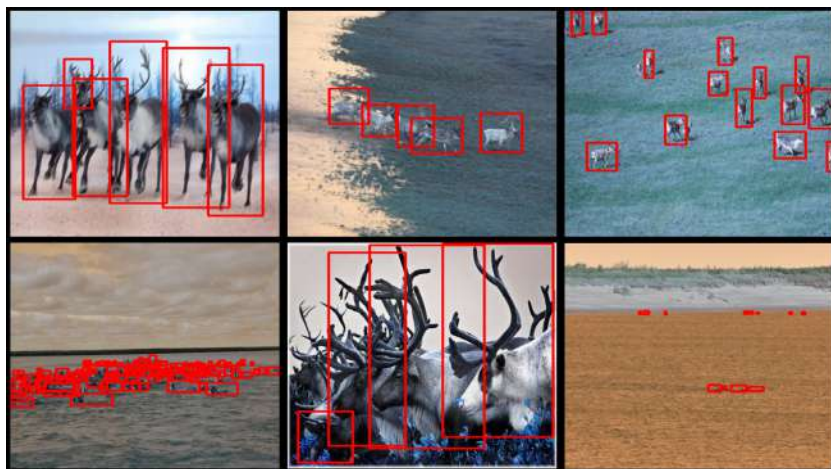


Рис. 4. Размеченные изображения оленей

Для задачи детекции объектов в работе была использована концепция Faster R-CNN. Faster R-CNN – это архитектура детекции объектов на изображении, описанная в работе [19].

В ней разработан новый метод локализации объекта взамен RPN (Region Proposal Networks – алгоритм, который предлагает несколько объектов, которые можно однозначно идентифицировать на конкретном изображении). Архитектура Faster R-CNN построена следующим образом [12].

На вход CNN (convolution neural network) подается графическое изображение. С помощью слоя RPN выбираются якоря и формируется карта признаков. Скользящее окно проходит по карте признаков. Якорь – это область, имеющая 3 разных соотношения сторон и 3 разных размера. Центр скользящего окна связан с центром якорей. На основе метрики IoF (intersection-over-union – пересечение над объединением, или измерение корреляции между реальным и прогнозируемым размещением: чем выше корреляция, тем выше значение [1]), принимается решение о текущем регионе – является он объектом или нет. Полученная карта признаков, посредством алгоритма Faster R-CNN передается слою RoI (Region of interest pooling – объединение областей интереса, или максимальное объединение входных данных [6]), который обрабатывает полносвязные слои и классифицирует, а также определяет смещение регионов.

Проведен детальный анализ датасета. Выявилась несбалансированность распределения количества оленей на изображениях. График распределения количества размеченных особей оленей представлен на рисунке 5. По оси X указаны группы по количеству изображений, с одинаковым количеством оленей на одном изображении. На оси Y – количество оленей на одном изображении.

В связи с тем, что только на 1-м изображении имеется более 70 особей оленей, а на почти 300-х изображениях по 1-2 особей, можно сделать вывод, что датасет не сбалансирован.

Общий объем датасета был искусственно увеличен и сбалансирован за счет применения технологии аугментации. Изображения были отражены по нескольким осям и вращались на 90 градусов. Из некоторых изображений были извлечены фрагменты и добавлены как новые изображения (с сохранением размеров и разметки). Для части изображений изменена яркость и наложены блики. Аугментация позволила увеличить объем выборки в три раза.

Аугментация – это стандартный прием, который используется для обучения нейронных сетей. Он реализуется с использованием библиотеки

Albumentations, в которой имеется множество методов для изменения изображений. Пример использования аугментации представлен на рисунках 6-8. На них приведено исходное и измененное изображения.



Рис. 5. График распределения количества размеченных особей



Рис. 6. Слева: изображение с аугментацией, справа: исходное изображение

В работе используется предобученная нейронная сеть Resnet50. Resnet50 основана на оптимизаторе SGD – стохастический градиентный спуск. Основные настройки спуска: шаг равен 0,005, коэффициент импульса равен 0,9, а штраф для весов равен 0,0005.

Эксперименты были связаны с разделением выборки на обучающую, которая включала 80% элементов и тестовую, включающую 10% элементов и валидационную – 10%. Точность обнаружения без аугментации в соответствии с показателем F1-score с пороговым значением 0.6 на обучающей выборке составила 0,82, на тестовой выборке составила 0,78, на

валидационной – 0,77. Точность обнаружения с аугментацией в соответствии с показателем F1-score с пороговым значением 0.6 на обучающей выборке составила 0,96, а на тестовой выборке составила 0,91.

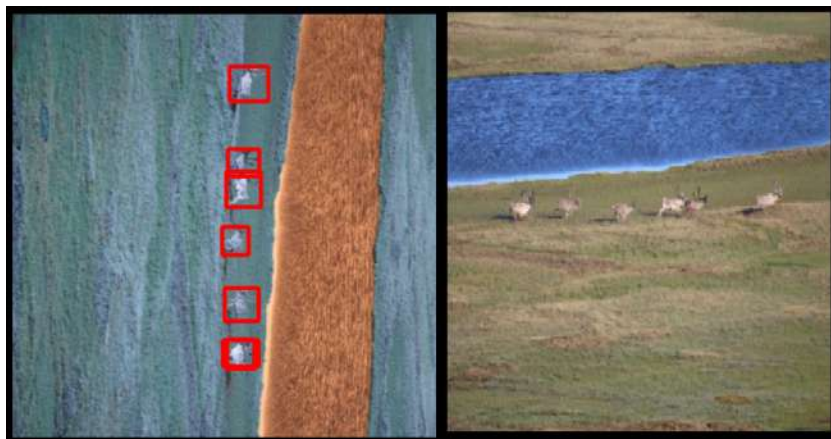


Рис. 7. Слева: изображение с аугментацией, справа: исходное изображение



Рис. 8. Слева: изображение с аугментацией, справа: исходное изображение

Аугментация проводилась путем вертикального и горизонтального зеркалирования и поворотом на 90 градусов влево и вправо изображений.

Точность обнаружения при обучении сети по всей выборке без разбиения на пороговое значение равнялась 0.99.

В результате обучения модели при прогнозе на тестовой выборке с учетом аугментации по метрике F1-score с пороговым значением 0.6 (совпадения площади предсказанной разметки и фактической) точность детекции составила 0,91.

Таким образом, точность определения количества особей оленей существенно повышается, если использовать процесс аугментации.

Скорость падения ошибки представлена на рисунке 9. На оси “Value” отображена шкала значения ошибки в процессе обучения, на оси “Time” – количество эпох обучения. Как видно скорость уменьшения ошибки заметно падает после 125 эпохи. Всего обучение проводилось в 200 эпох.

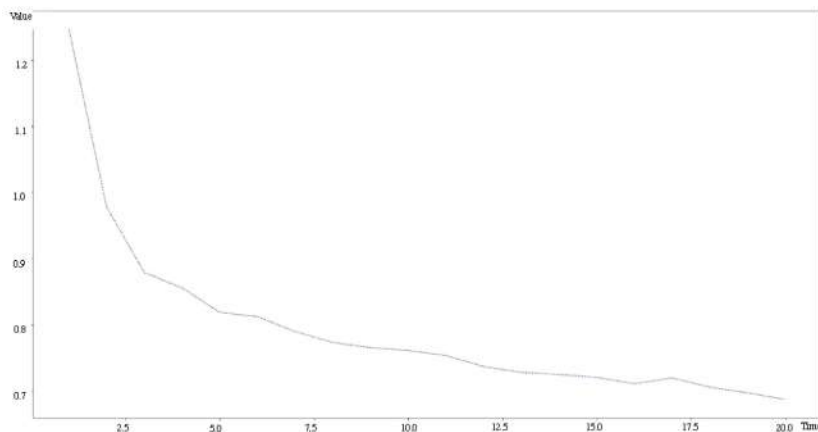


Рис. 9. Скорость падения ошибки

В работе представлены стандартные технологии методов машинного обучения, основанные на сверточных нейронных сетях, которые широко применяются в системах искусственного интеллекта. Приведена оценка перспективности их применения для учета численности популяции оленей методами компьютерного зрения.

Обсуждение

Подсчет количества особей оленей в популяции очень важна, особенно в период миграции диких животных и для сохранения численности оленей в сельскохозяйственном обороте. Обученная нейронная сеть, способна с большой вероятностью определять количество особей оленей и может играть ключевую роль для решения задачи контроля популяции.

Широкое распространение смартфонов и дронов (не говоря об авиаспособе съемки) привело к тому, что проблем со сбором данных нет, но есть проблема обработки этих данных. Поэтому, использование ансамбля из собираемого массива изображений и нейронной сети для их обработки может значительно повысить эффективность учета численности популяций оленей.

Представленная модель на основе сверточной нейронной сети рекомендуется для практического применения по учету численности популяций оленей в отраслях сельского хозяйства и экологии.

Заключение

Сохранение численности популяций оленей – это одна из важных задач экологии и сельского хозяйства. Текущие способы учета являются либо дорогими (использование чипов и ошейников), либо имеют невысокую точность (человеческий фактор при ручном счете).

Результаты данной работы могут рассматриваться как альтернативное решение путем использования сверточной нейронной сети для автоматического расчета количества особей оленей на изображениях. Основываясь на открытые данные, нейронная сеть учится распознавать наличие отдельных особей, достигая точности 0,91.

В работе был исследован подход использования машинного обучения для автоматической детекции особей оленей на изображении. Описан способ подготовки данных для дальнейшего обучения, применение аугментации для выравнивания классового неравенства, описаны основные параметры обучения нейронной сети.

Информация о конфликте интересов. Отсутствие конфликта интересов.

Информация о спонсорстве. Исследование не имело спонсорской поддержки.

Список литературы

1. Понимание концепций IU и IoU (Intersection over Union) в глубоком обучении и реализации программ на Python / Русские Блоги. URL: <https://russianblogs.com/article/4211133576/> (дата обращения: 22.03.2022).
2. Современная история таймырской популяции дикого северного оленя: динамика, управление, угрозы и пути сохранения / Серия Экологические исследования. URL: <http://journals.krc.karelia.ru/index.php/ecology/article/view/1045> (дата обращения: 22.03.2022).

3. Терещенко С.Н., Перов А.А., Осипов А.Л. Определение заболеваний ма­ниока методами компьютерного зрения // *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*. 2021. Т. 13. № 1. С. 144-155. <https://doi.org/10.12731/2658-6649-2021-13-1-144-155>
4. Терещенко С.Н., Перов А.А., Осипов А.Л. Классификация внекорневых за­болеваний яблоневых культур методами компьютерного зрения // *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*. 2021. Т. 13. № 3. С. 103-118. <https://doi.org/10.12731/2658-6649-2021-13-3-103-118>
5. Численность охотничьих ресурсов / Федеральное государственное бюд­жетное учреждение «Федеральный центр развития охотничьего хозяй­ства». URL: <http://www.ohotcontrol.ru/resource/number/> (дата обращения: 22.03.2022).
6. Region of interest pooling explained / Deepsense.ai. URL: <https://deepsense.ai/region-of-interest-pooling-explained/> (дата обращения: 22.03.2022).
7. Kilgo J.C., Ray H.S., Vukovich M., Goode M.J., Ruth C. Predation by coyotes on white-tailed deer neonates in South Carolina // *Journal of Wildlife Manage­ment*, 2012, vol. 76(7), pp. 1420-1430. <https://doi.org/10.1002/jwmg.393>
8. Loe L.E., Mysterud A., Veiberg V., Langvatn R. Negative density-dependent emigration of males in an increasing red deer population // *Proc Biol Sci.*, 2009, vol. 276(1667), pp. 2581-2587. <https://doi.org/10.1098/rspb.2009.0224>
9. Lyubing Zhang, Eric I. Ameca y Juárez, Zhigang Jiang. Viability analysis of the wild sika deer (*Cervus nippon*) population in China: Threats of habitat loss and effectiveness of management interventions // *Journal for Nature Conservation*, 2018, vol. 43, pp. 117-125. <https://doi.org/10.1016/j.jnc.2018.02.014>
10. Mariana B. Nagy-Reis, Mark A. Lewis, William F. Jensen, Mark S. Boyce. Conservation Reserve Program is a key element for managing white-tailed deer populations at multiple spatial scales // *Journal of Environmental Management*, 2019, vol. 248. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2019.109299>
11. Marrett D. Grund, Alan Woolf. Development and evaluation of an accounting model for estimating deer population sizes // *Ecological Modelling*, 2004, vol. 180, no. 2-3, pp. 345-357. <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2004.04.025>
12. Region Proposal Network (RPN) — Backbone of Faster R-CNN. URL: <https://medium.com/egen/region-proposal-network-rpn-backbone-of-faster-r-cnn-4a744a38d7f9> (дата обращения: 22.03.2022).
13. Michelle H.G. Wong Yanni Mo, Bosco Pui Lok Chan. Past, present and future of the globally endangered Eld's deer (*Rucervus eldii*) on Hainan Island, China // *Global Ecology and Conservation*, 2021, vol. 26. <https://doi.org/10.1016/j.gecco.2021.e01505>

14. Challenges / Reindeer Herding. URL: <https://reindeerherding.org/challenges> (дата обращения: 22.03.2022).
15. Herders / Reindeer Herding. URL: <https://reindeerherding.org/herders> (дата обращения: 22.03.2022).
16. Tereshchenko S.N., Moiseeva E.D. Computer vision for determining the fraction of proppant for hydraulic fracturing // Proceedings - 2021 International Conference on Industrial Engineering, Applications and Manufacturing, ICIEAM, 17-21 May 2021, pp. 742–746. <https://doi.org/10.1109/ICIEAM51226.2021.9446381>
17. Tereshchenko S.N., Osipov A.L., Moiseeva E.D. Determining the Number of Wheatears on the Images of Wheat Fields by the Computer Vision Method // Optoelectronics, Instrumentation and Data Processing, 2022, vol. 58(3), pp. 266-272. <https://doi.org/10.3103/S8756699022030074>
18. Tereshchenko S.N., Perov A.A., Osipov A.L. Features of Applying Pretrained Convolutional Neural Networks to Graphic Image Steganalysis // Optoelectronics, Instrumentation and Data Processing, 2021, vol. 57(4), pp. 419-425. <https://doi.org/10.3103/S8756699021040117>
19. Faster RCNN Object detection. URL: <https://towardsdatascience.com/faster-rcnn-object-detection-f865e5ed7fc4> (дата обращения: 22.03.2022).
20. Zini V., Wäber K., Hornigold K. et al. Human and environmental associates of local species-specific abundance in a multi-species deer assemblage // Eur J Wildl Res, 2021, vol. 67, 99. <https://doi.org/10.1007/s10344-021-01539-6>

References

1. Understanding the concepts of IU and IoU (Intersection over Union) in deep learning and program implementation in Python / Russian Blogs. URL: <https://russianblogs.com/article/4211133576/> (accessed 22.03.2022).
2. Modern history of the Taimyr wild reindeer population: dynamics, management, threats and ways of conservation / Ecological Research Series. URL: <http://journals.krc.karelia.ru/index.php/ecology/article/view/1045> (accessed 22.03.2022).
3. Tereshchenko S.N., Perov A.A., Osipov A.L. Determination of cassava diseases by computer vision methods. *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*, 2021, vol. 13, no. 1, pp. 144-155. <https://doi.org/10.12731/2658-6649-2021-13-1-144-155>
4. Tereshchenko S.N., Perov A.A., Osipov A.L. Classification of foliar diseases of apple crops by computer vision methods. *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*, 2021, vol. 13, no. 3, pp. 103-118. <https://doi.org/10.12731/2658-6649-2021-13-3-103-118>
5. The number of hunting resources / Federal State Budgetary Institution “Federal Center for the Development of Hunting Economy”. URL: <http://www.ohotcontrol.ru/resource/number/> (accessed 22.03.2022).

6. Region of interest pooling explained / Deepsense.ai. URL: <https://deepsense.ai/region-of-interest-pooling-explained/> (accessed 22.03.2022).
7. Kilgo J.C., Ray H.S., Vukovich M., Goode M.J., Ruth C. Predation by coyotes on white-tailed deer neonates in South Carolina. *Journal of Wildlife Management*, 2012, vol. 76(7), pp. 1420-1430. <https://doi.org/10.1002/jwmg.393>
8. Loe L.E., Myserud A., Veiberg V., Langvatn R. Negative density-dependent emigration of males in an increasing red deer population. *Proc Biol Sci.*, 2009, vol. 276(1667), pp. 2581-2587. <https://doi.org/10.1098/rspb.2009.0224>
9. Lyubing Zhang, Eric I. Ameca y Juárez, Zhigang Jiang. Viability analysis of the wild sika deer (*Cervus nippon*) population in China: Threats of habitat loss and effectiveness of management interventions. *Journal for Nature Conservation*, 2018, vol. 43, pp. 117-125. <https://doi.org/10.1016/j.jnc.2018.02.014>
10. Mariana B. Nagy-Reis, Mark A. Lewis, William F. Jensen, Mark S. Boyce. Conservation Reserve Program is a key element for managing white-tailed deer populations at multiple spatial scales. *Journal of Environmental Management*, 2019, vol. 248. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2019.109299>
11. Marrett D. Grund, Alan Woolf. Development and evaluation of an accounting model for estimating deer population sizes. *Ecological Modelling*, 2004, vol. 180, no. 2-3, pp. 345-357. <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2004.04.025>
12. Region Proposal Network (RPN) — Backbone of Faster R-CNN. URL: <https://medium.com/egen/region-proposal-network-rpn-backbone-of-faster-r-cnn-4a744a38d7f9> (accessed 22.03.2022).
13. Michelle H.G. Wong Yanni Mo, Bosco Pui Lok Chan. Past, present and future of the globally endangered Eld's deer (*Rucervus eldii*) on Hainan Island, China. *Global Ecology and Conservation*, 2021, vol. 26. <https://doi.org/10.1016/j.gecco.2021.e01505>
14. Challenges / Reindeer Herding. URL: <https://reindeerherding.org/challenges> (accessed 22.03.2022).
15. Herders / Reindeer Herding. URL: <https://reindeerherding.org/herders> (accessed 22.03.2022).
16. Tereshchenko S.N., Moiseeva E.D. Computer vision for determining the fraction of proppant for hydraulic fracturing. *Proceedings - 2021 International Conference on Industrial Engineering, Applications and Manufacturing, ICIEAM, 17-21 May 2021*, pp. 742–746. <https://doi.org/10.1109/ICIEAM51226.2021.9446381>
17. Tereshchenko S.N., Osipov A.L., Moiseeva E.D. Determining the Number of Wheatears on the Images of Wheat Fields by the Computer Vision Method. *Optoelectronics, Instrumentation and Data Processing*, 2022, vol. 58(3), pp. 266-272. <https://doi.org/10.3103/S8756699022030074>

18. Tereshchenko S.N., Perov A.A., Osipov A.L. Features of Applying Pretrained Convolutional Neural Networks to Graphic Image Steganalysis. *Optoelectronics, Instrumentation and Data Processing*, 2021, vol. 57(4), pp. 419-425. <https://doi.org/10.3103/S8756699021040117>
19. Faster RCNN Object detection. URL: <https://towardsdatascience.com/faster-rcnn-object-detection-f865e5ed7fc4> (accessed 22.03.2022).
20. Zini V., Wäber K., Hornigold K. et al. Human and environmental associates of local species-specific abundance in a multi-species deer assemblage. *Eur J Wildl Res*, 2021, vol. 67, 99. <https://doi.org/10.1007/s10344-021-01539-6>

ДАННЫЕ ОБ АВТОРАХ

Терещенко Сергей Николаевич, заведующий кафедрой «Прикладная информатика», доцент, кандидат технических наук
ФГБОУ Новосибирский государственный университет экономики и управления
ул. Каменская, 56, г. Новосибирск, Новосибирская область, 630099,
Российская Федерация
sg12@ngs.ru

Осипов Александр Леонидович, доцент, кандидат технических наук
ФГБОУ Новосибирский государственный университет экономики и управления
ул. Каменская, 56, г. Новосибирск, Новосибирская область, 630099,
Российская Федерация
alosip@mail.ru

Моисеева Екатерина Дмитриевна, студент
ФГБОУ Новосибирский государственный университет экономики и управления
ул. Каменская, 56, г. Новосибирск, Новосибирская область, 630099,
Российская Федерация
medngueu@gmail.com

DATA ABOUT THE AUTHORS

Sergei N. Tereshchenko, Department Chair «Applied Informatics», associate professor, Candidate of Engineering Science
Novosibirsk State University of Economics and Management
56, Kamenskaya Str., Novosibirsk, 630099, Russian Federation

sg12@ngs.ru

ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-2309-8445>

SPIN-code: 2036-7632

Scopus Author ID: 57224680881

Alexander L. Osipov, Associate Professor, Candidate of Engineering Science

Novosibirsk State University of Economics and Management

56, Kamenskaya Str., Novosibirsk, 630099, Russian Federation

alosip@mail.ru

ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-1809-9147>

SPIN-code: 5697-8004

Scopus Author ID: 7202978114

Ekaterina D. Moiseeva, student

Novosibirsk State University of Economics and Management

56, Kamenskaya Str., Novosibirsk, 630099, Russian Federation

medngueu@gmail.com

ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-6417-9503>

SPIN-code: 8081-4456

Scopus Author ID: 57283315400

Поступила 14.06.2023

После рецензирования 23.08.2023

Принята 22.09.2023

Received 14.06.2023

Revised 23.08.2023

Accepted 22.09.2023

DOI: 10.12731/2658-6649-2024-16-2-1079

УДК 159.99



Научная статья

ПРОФЕССИОНАЛЬНАЯ ЖИЗНЕСТОЙКОСТЬ И ПСИХОЛОГИЧЕСКАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ МЕДИЦИНСКИХ РАБОТНИКОВ

Е.А. Шмелева, П.А. Кисляков, Т.В. Карасева, Д.А. Прияткин

Обоснование. Профессиональная жизнестойкость врачей и медицинского персонала представляет собой динамический процесс и интегративную характеристику личности, которая отражает способность успешно справляться с трудностями, вызовами и изменениями, возникающими в профессиональной деятельности, адаптироваться к сложным условиям работы, рискам и оказывает косвенное влияние на повышение уровня качества медицинской помощи.

Цель – изучение профессиональной жизнестойкости медицинских работников (врачей и медицинского персонала) как представителей социально-экономических профессий и разработка авторской методики.

Методы. Была изучена группа из 183 медицинских работников, в т.ч. врачей, среднего и младшего медицинского персонала. Шкала профессиональной жизнестойкости оценивала общий показатель жизнестойкости и ее компонентов у специалистов социально-экономической сферы, шкала ощущения безопасности определяла безопасность межличностного общения и чувство уверенности и контроля в прогнозировании личной жизни. Оценивались доминирующие ценности среди врачей и медицинского персонала и их влияние на поведение и принятие решений, мера рефлексивности личности. Для проверки валидности методики использовалась краткая шкала жизнестойкости. Связи между переменными были изучены с помощью коэффициентов корреляции Спирмена с учетом должности и множественного регрессионного анализа.

Результаты. Обоснованы параметры профессиональной жизнестойкости врачей и медицинских работников: Я и коллеги, Я и подопечные, Я в профессии. Обнаружены значимые положительные корреляции между профессиональной жизнестойкостью медицинских работников и ценностями конформности - традиций ($r = 0,218$, $p < 0,01$), риска-новизны ($r = 0,151$, $p < 0,05$),

заботы ($r = 0,215$, $p < 0,01$); межличностной безопасностью ($r = 0,298$, $p < 0,01$) и уверенностью и контролем ($r = 0,238$, $p < 0,01$). Подтверждена надежность и валидность авторского опросника шкалы профессиональной жизнестойкости на выборке врачей и медицинского персонала. Выявлено, что большей профессиональной жизнестойкостью обладает средний медицинский персонал.

Заключение. Профессиональная жизнестойкость врачей и медицинского персонала основывается на психологических механизмах, обеспечивающих надежные отношения, взаимодействия и поддержку среди коллег, эмпатию и заботу и профессионализм в отношении пациентов и их родных, адаптации к изменениям, саморазвитию и самоидентификации в профессии. На развитие профессиональной жизнестойкости оказывают влияние ценностные ориентации врачей и медицинского персонала и ощущение ими психологической безопасности. Рекомендуется проводить тренинги по развитию жизнестойкости для медицинских работников.

Ключевые слова: профессиональная жизнестойкость; социономические профессии; психологическая безопасность; медицинские работники; ценности

Для цитирования. Шмелева Е.А., Кисляков П.А., Карасева Т.В., Прияткин Д.А. Жизнестойкость и психологическая безопасность медицинских работников // Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture. 2024. Т. 16, №2. С. 450-480. DOI: 10.12731/2658-6649-2024-16-2-1079

Original article

PROFESSIONAL RESILIENCE AND PSYCHOLOGICAL SAFETY OF MEDICAL WORKERS

E.A. Shmeleva, P.A. Kislyakov, T.V. Karaseva, D.A. Priyatkin

Background. Professional resilience of doctors and medical staff is a dynamic process and integrative characteristic of personality, which reflects the ability to successfully cope with difficulties, challenges and changes arising in professional activities, adapt to difficult working conditions, risks and has an indirect impact on improving the level of quality of medical care.

Purpose - study of professional resilience of medical workers (doctors and medical staff) as representatives of socioeconomic professions and approbation of the author's methodology.

Methods. A group of 183 medical workers, including doctors, nurses and medical assistants, was studied. The scale of professional resilience assessed the general index of resilience and its components in specialists of the socioeconomic sphere, the scale of feeling of security determined the security of interpersonal communication and the feeling of confidence and control in predicting personal life. The dominant values among doctors and medical personnel and their influence on behaviour and decision-making, the measure of personality reflexivity were assessed. A brief resilience scale was used to test the validity of the methodology. Relationships between variables were studied using Spearman's correlation coefficients with regard to position and multiple regression analysis.

Results. The parameters of professional resilience of doctors and medical workers were substantiated: I and colleagues, I and mentees, I in the profession. Significant positive correlations between professional resilience of medical workers and values of conformity - traditions ($r = 0.218, p < 0.01$), risk-novelty ($r = 0.151, p < 0.05$), care ($r = 0.215, p < 0.01$); interpersonal safety ($r = 0.298, p < 0.01$) and confidence and control ($r = 0.238, p < 0.01$) were found. The reliability and validity of the author's questionnaire of the professional resilience scale on a sample of doctors and medical staff was confirmed. It has been revealed that middle medical personnel possess more professional resilience.

Conclusion. Professional resilience of physicians and medical staff is based on psychological mechanisms that ensure reliable relationships, interactions and support among colleagues, empathy and care and professionalism towards patients and their relatives, adaptation to change, self-development and self-identification in the profession. The development of professional resilience is influenced by the value orientations of doctors and medical staff and their sense of psychological safety. It is recommended to conduct trainings on resilience development for medical workers.

Keywords: professional resilience; socioeconomic professions; psychological safety; health professionals; values

For citation. Shmeleva E.A., Kislyakov P.A., Karaseva T.V., Prijatkin D.A. Professional Resilience and Psychological Safety of Medical Workers. *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*, 2024, vol. 16, no. 2, pp. 450-480. DOI: 10.12731/2658-6649-2024-16-2-1079

Введение

Врачи, медицинские сестры, младший медицинский персонал – это медицинские работники, которые регулярно сталкиваются с людьми, находящимися в тяжелом состоянии. Не случайно их относят к front-line health care workers - медицинским работникам первой линии [27]. Исследования

отечественных и зарубежных ученых, в области рисков, возникающих в профессиональной деятельности специалистов, занятых в лечении и уходе за больными, свидетельствуют о том, что люди, работающие в сфере здравоохранения, подвержены высокому риску хронического стресса, выгорания и связанных с этим психических последствий [9, 10, 11, 13, 25].

Врачи и медицинский персонал в своей работе часто сталкиваются с трудными ситуациями, связанными с общением с пациентами и их семьями - иногда с угрозой здоровью и даже самой жизни. Поэтому способность проявлять понимание и поддержку к пациентам, коллегам и к себе как к непосредственному субъекту оказания помощи, имеет важное значение для тех, кто обеспечивает лечение и уход за больными.

Для медицинских работников, также как и для педагогов, психологов, специалистов, связанных с заботой о других или их эмоциональных переживаниях, свойственна усталость от сострадания [26]. A.G. Nolte с колл. отмечают дефицит общения с пациентами, членами семьи и другими коллегами [35], которое она может вызывать, что T. Babineau с колл. рассматривает как механизм избегания, принятым в ответ на страдания пациентов и их семей [20]. Как следствие с большой вероятностью у медиков может возникать эмоциональное истощение и деперсонализация [30], из-за воздействия оккупационного стресса снижаться личная самореализация в профессии [21, 34].

L.N. Dyrbye с колл. в качестве причин выгорания указывают также на значительные затраты времени, высокие требования и ограниченность ресурсов [24], а J. Ward с колл. отмечают, что уже на этапе студенческой практики может начаться снижение эмпатии, приводящее впоследствии к выгоранию среди студентов медицинских профилей подготовки [39].

Z. Cong и L. An, изучая особенности преодоления трудностей, рассматривают психологическую безопасность как чувство силы индивида, возникающее при столкновении с реальными или прогнозируемыми опасностями или рисками, связанное с опытом личной безопасности в межличностном общении и уверенностью и контролем над ситуацией [22]. Люди с низкой психологической безопасностью могут чувствовать себя отвергнутыми и изолированными, а также воспринимать внешний мир и других людей как угрожающих, ненадежных и неуправляемых. Неуверенность может привести к трудным межличностным отношениям и обсессивно-компульсивному расстройству [19]. На основе данной модели авторами разработан «Опросник чувства безопасности» (Security Questionnaire – SQ), широко применяющийся в Китае, особенно в области клинической психологии.

Считается, что психологическими ресурсами, позволяющими снижать влияние рассмотренных стрессовых факторов на психологическую безопасность и благополучие является жизнестойкость – «убежденность личности, которая помогает ей оставаться активной, препятствует проявлению разрушающих последствий стресса», «формирует мужество признавать (а не отрицать) стресс и мужество пытаться превратить его в преимущество» [32, 33]. Ресурсный подход к жизнестойкости личности С. Мадди, методология которого основана на принципах экзистенциальной психологии и психотерапии В. Франкла, С. Мадди, С. Хобфолла [1, 7, 12, 17, 28, 29], можно рассматривать в качестве теоретико-методологической базы эмпирического поиска. В нем жизнестойкость выступает как убежденность личности, которая помогает ей оставаться активной, рассматривает ресурсы в контексте жизненных стратегий как возможностей и средств, которые препятствуют проявлению разрушающих последствий стресса и включает вовлеченность, контроль и вызов / принятие риска, можно справиться со стрессом [4,5].

В связи с вышеизложенным, ссылаясь на результаты многочисленных исследований, мы предприняли изучение ощущения безопасности личности специалистов-медиков в связи с профессиональной жизнестойкостью, возможных взаимных корреляций, а также их связи с другими независимыми переменными.

Мы рассматриваем жизнестойкость специалистов социномического профиля в качестве интегративной характеристики личности, которая отражает способность успешно справляться с требованиями, вызовами и изменениями, возникающими в профессиональной деятельности. Она отражает готовность и способность специалистов к адаптации, саморазвитию, преодолению трудностей и достижению успеха в сфере помогающих профессий. Профессионально жизнестойкий человек характеризуется гибкостью и находчивостью, адаптивностью, уверенностью в своих навыках и знаниях, саморегуляцией и настойчивостью, креативностью и инновационностью, альтруизмом, высоким уровнем личностного адаптивного потенциала, умением управлять временем, готовностью к обучению и саморазвитию, умением решать проблемы, устойчивостью к стрессам, целеустремленностью и мотивацией [15].

Профессиональная жизнестойкость врачей и медицинского персонала как динамический процесс характеризуется относительно хорошей адаптацией человека к существующим условиям, несмотря на выявленные угрозы или травмы [31], отражает способность личности справляться

с трудностями, вызовами и изменениями, возникающими в профессиональной деятельности, адаптироваться к сложным условиям работы, рискам и оказывает косвенное влияние на повышение качества медицинской помощи.

N. Oginska-Bulik с колл. предложили шкалу измерения жизнестойкости - SPP-25 и факторов, ее обуславливающих: упорство и решительность в действии, открытость новому опыту, чувство юмора, личная компетентность в вопросах преодоления и переноса негативных эмоций, терпимость к неудачам и восприятие жизни как испытания, оптимистичное отношение к жизни и способность мобилизоваться в трудных ситуациях [36].

T. Shanafelt с колл. выявили пять потребностей медицинских работников, которые они испытывали в трудных профессиональных ситуациях во время пандемии COVID-19. Медики хотели бы быть услышанными, защищенными, подготовленными, поддержанными и заботливыми [38]. Поэтому факторы взаимодействия с коллегами и коллективом, пациентами для ощущения чувства собственной психологической безопасности и благополучия целесообразно включать в модель профессиональной жизнестойкости врачей и медицинского персонала. Поэтому для изучения и оценки выраженности профессиональной жизнестойкости у специалистов социномического профиля нами рассматриваются такие ее параметры, как «Я и коллеги», «Я и подопечные», «Я в профессии». Объектом оказания помощи в социномической сфере выступает подопечный, в разных профессиях он называется по-разному, в частности, в лечебном деле подопечным выступает пациент.

Целью исследования является изучение профессиональной жизнестойкости медицинских работников как представителей социномических профессий и апробация методики ее оценки на выборке врачей и медицинского персонала.

Материалы и методы исследования

Участники исследования. Исследование проводилось в 2024 году среди врачей и медицинских работников лечебно-профилактических учреждений гг.Москвы и Иваново. В исследовании приняло участие 183 человека, из них 76 врачей (72,4% составили женщины, 27,6% - мужчины), 99 человек – среднего медицинского персонала (91,9% - женщины, 8,1% - мужчины) и 8 человек – младшего медицинского персонала (87,5% - женщины, 12,5 % - мужчины). Возраст участников опроса распределился следующим образом (табл.1.):

Таблица 1.

**Распределение целевой выборки врачей и медицинского персонала
по возрасту и стажу**

Возрастной диапазон	Врачи	средний медицинский персонал	младший медицинский персонал
до 35 лет	53,9	48,5	25,0
от 35 до 55 лет	30,3	46,5	50,0
от 55 до 60 лет	7,9	3,0	12,5
старше 60	7,9	2,0	12,5
средний возраст, лет	38,75	35,42	46
стаж, лет	14,7	15,31	21,5

Методический инструментарий. Исследование было направлено на анализ профессиональной жизнестойкости врачей и медицинского персонала. Онлайн-анкета была разработана с использованием Яндекс-форм, респонденты были уведомлены о том, что ответы на вопросы свидетельствовали об их согласии. Приглашения принять участие в исследовании были распространены среди соответствующих профессиональных организаций (больниц, поликлиник и т.п.), и размещены в социальных сетях, в основном в близких группах медицинских работников. Участники добровольно ответили на анонимный опрос и выразили свое информированное согласие в рамках опроса. Процедуры были четко объяснены, и участники могли прервать опрос или выйти из него в любой момент, не объясняя причин своего поступка.

Онлайн-анкета охватывала следующие области: общие демографические данные, ценностные ориентации, профессиональную жизнестойкость, рефлексивность, чувство безопасности.

Были собраны социально-демографические данные о поле, возрасте, профессии, стаже профессиональной деятельности.

Для оценивания жизнестойкости врачей и медицинского персонала использовались:

- «Тест жизнестойкости» С. Мадди (в русскоязычной адаптации Е.Н. Осина, Е.И. Рассказовой [8]), оценивающий вовлеченность, контроль, принятие риска, которые препятствует возникновению внутреннего напряжения в стрессовых ситуациях за счет стойкого совладания со стрессами и восприятия их как менее значимых. Более высокий балл указывает на более высокий уровень жизнестойкости. Вопросы оценивались по 4-балльной шкале Лайкерта (не согласен = 0, согласен = 3);

- «Опросник чувства безопасности» Ч. Конг и Л. Ан [25] (в русскоязычной адаптации П.А. Кислякова, Е.А. Шмелевой [3]), оценивающий

психологическую безопасность через показатели межличностного общения, чувство уверенности и контроля в прогнозировании личной жизни. Более высокий балл указывает на более высокую степень ощущения безопасности. Вопросы оценивались по 5-балльной шкале Лайкерта (не соответствует = 1, соответствует = 5);

- «Портретный ценностный опросник» (Portrait Values Questionnaire, PVQ) Ш. Шварца (русскоязычная версия Е. Давыдова с соавт. [14, 23]), прогнозирующий влияние доминирующих ценностей личности на поведение и принятие решений через ценности безопасности, конформизма, традиции, заботы, самостоятельности, риска, новизны, гедонизм, самоутверждения. Ответы даются по 6-балльной шкале Лайкерта (совсем не похож на меня = 1, очень похож на меня = 6);

- «Опросник рефлексивности» А.В. Карпова [2] для выявления индивидуальной меры рефлексивности личности; вопросы оцениваются по 7-балльной шкале Лайкерта (абсолютно неверно = 1, совершенно верно = 7), состоит из прямых и обратных вопросов;

- авторский опросник «Профессиональная жизнестойкость специалистов социномического профиля», направленный на оценку выраженности ее показателей: Я и коллеги, Я и подопечные, Я в профессии. Опросник представляет собой инструмент самоотчета, заполняемый индивидуально, испытуемые отвечают на приведенные утверждения, которые оцениваются по 5-балльной шкале Лайкерта (не согласен = 1, полностью согласен = 5).

Анализ данных. Полученные эмпирические данные осмысливались и обрабатывались с помощью качественных и количественных методов анализа, в том числе: анализ процентных соотношений, дескриптивный корреляционный анализ Спирмена, линейный регрессионный анализ (метод шагового отбора), Н-критерий Краскела-Уоллиса, U-Манна-Уитни. Расчеты производились на базе пакета статистических программ SPSS 26.

Результаты исследования и их обсуждение

Результаты диагностики у медицинских работников жизнестойкости, ценностных ориентаций, рефлексивности и ощущения безопасности представлены в табл. 2.

Результаты, представленные в таблице 2 позволяют подтвердить статистически более высокий уровень профессиональной жизнестойкости по шкале Я и коллеги ($p = 0,022$) и общей жизнестойкости у медсестер по сравнению с врачами и младшим медицинским персоналом ($p = 0,034$). В группе врачей достигнут более высокий уровень ценности самоутверждения по сравнению с другими группами профессий ($p < 0,001$).

Таблица 2.

**Описательные статистики жизнестойкости, ценностных ориентаций,
рефлексивности и ощущения безопасности у врачей ($n = 76$)
и медицинского персонала ($n = 107$)**

Переменные / Шкалы	Врачи ($n = 76$)	Средний меди- цинский персо- нал ($n = 99$)	Младший меди- цинский персо- нал ($n = 8$)	Критерий	P
	$M \pm SD$	$M \pm SD$	$M \pm SD$		
Жизнестойкость					
Вовлеченность	20,18 $\pm$ 5,740	22,02 $\pm$ 5,276	21,50 $\pm$ 5,855		
Ранг	81,59	99,87	93,5	H=5,150	0,076
Контроль	14,99 $\pm$ 3,866	16,11 $\pm$ 4,354	16,13 $\pm$ 3,907		
Ранг	83,31	98,33	96,19	H=3,530	0,171
Принятие риска	11,12 $\pm$ 3,417	11,85 $\pm$ 3,612	12,63 $\pm$ 5,855		
Ранг	85,10	96,46	102,31	H=2,313	0,315
Общая жизнестойкость	46,29 $\pm$ 12,054	49,98 $\pm$ 12,259	50,25 $\pm$ 13,403		
Ранг	80,81	101,37	82,31	H=6,773	0,034
Профессиональная жизнестойкость					
Коллектив	20,18 $\pm$ 5,740	22,02 $\pm$ 5,276	21,50 $\pm$ 5,855		
Ранг	79,24	100,76	104,88	H=7,660	0,022
Подопечные	14,99 $\pm$ 3,866	16,11 $\pm$ 4,354	16,13 $\pm$ 3,907		
Ранг	86,84	97,35	74,88	H=2,607	0,272
Я	11,12 $\pm$ 3,417	11,85 $\pm$ 3,612	12,63 $\pm$ 4,104		
Ранг	86,47	97,14	81,00	H=2,126	0,345
Профессиональная жизнестойкость	46,29 $\pm$ 12,054	49,98 $\pm$ 12,259	50,25 $\pm$ 13,403		
Ранг	80,81	101,37	82,31	H=6,773	0,034
Ценностные ориентации					
Безопасность	4,47 $\pm$ 1,087	4,01 $\pm$ 1,386	4,06 $\pm$ 1,016		
Ранг	102,26	84,85	83,00	H=4,953	0,084
Конформность- традиция	3,82 $\pm$ 1,009	3,52 $\pm$ 0,990	4,03 $\pm$ 0,958		
Ранг	99,09	84,97	96,06	H=4,233	0,12
Самостоятельность	4,08 $\pm$ 1,137	3,77 $\pm$ 1,146	4,00 $\pm$ 0,845		
Ранг	100,07	85,47	96,06	H=3,372	0,185
Риск-новизна	3,45 $\pm$ 1,418	3,34 $\pm$ 1,269	3,38 $\pm$ 1,408		
Ранг	94,01	90,67	89,44	H=0,193	0,908
Гедонизм	4,14 $\pm$ 1,210	3,71 $\pm$ 1,445	3,50 $\pm$ 1,282		
Ранг	101,54	86,07	74,75	H=4,607	0,100
Самоутверждение	3,77 $\pm$ 1,154	3,05 $\pm$ 1,182	3,50 $\pm$ 1,157		
Ранг	110,91	77,11	96,69	H=17,670	<0,001
Забота	4,39 $\pm$ 0,830	4,12 $\pm$ 1,142	4,30 $\pm$ 0,741		
Ранг	98,25	87,29	72,94	H=1,913	0,384
Рефлексивность					
Рефлексивность					
Ранг	100,14	87,29	72,94	H=3,619	0,164
Чувство безопасности					
Межличностная безопасность					
Ранг	89,36	94,59	85,06	H=0,563	0,755
Уверенность и контроль					
Ранг	90,74	93,88	80,69	H=0,534	0,766

Выявлено, что квалификация оказалась связана с уровнем жизнестойкости. Полученные данные показывают, что респонденты, относящиеся к категории средний и младший медицинский персонал, более оптимистично смотрят на жизнь и лучше справляются с трудными ситуациями, чем врачи. Такой же вывод получен в исследовании жизнестойкости и эмпатии врачей и медицинских сестер E. Wilczek-Rużyczka [40]. Последние же видят в профессиональной деятельности способ самоутверждения через склонность к самостоятельности в выражении своих идей, к инновационности в деятельности и к соблюдению собственных убеждений, несмотря на возможные давления со стороны окружающих.

В табл.3 представлены значимые различия показателей жизнестойкости, ценностных ориентаций, рефлексивности и ощущения безопасности у врачей и медицинского персонала с учетом возраста.

Таблица 3.

Значимые различия показателей жизнестойкости, ценностных ориентаций, рефлексивности и ощущения безопасности в зависимости от возраста

Возраст	Переменные	Врачи	Средний медицинский персонал	Младший медицинский персонал	Критерий	P
		M±SD	M±SD	M±SD		
до 35 лет	Ценностные ориентации					
	Безопасность	4,60±1,008	3,80±1,447	4,75±1,061	H=7,178	0,028
	Ранг	53,63	39,04	56,50		
	Самоутверждение	4,17±0,948	3,46±1,182	4,25±2,475	H=8,822	0,012
	Ранг	54,80	38,25	51,50		
	Рефлексивность					
	Рефлексивность	126,12±15,245	112,90±12,133	111,50±6,364	H=14,66	0,001
	Ранг	57,66	36,69	30,50		
	Ценностные ориентации					
	Самоутверждение	3,46±1,140	2,69±1,064	3,44±0,657	H=10,707	0,005
Ранг	47,43	30,80	48,25			
35-55 лет	Жизнестойкость					
	Вовлеченность	19,96±6,090	23,93±4,543	23,99±4,543	H=7,681	0,021
	Ранг	26,89	41,77	40,25		
	Чувство безопасности					
	Межличностная безопасность	25,13±6,771	25,69±7,669	29,50±6,952	H=8,210	0,016
	Ранг	26,61	42,10	38,13		
	Уверенность и контроль	24,08±6,302	28,04±6,689	26,0±10,42	H=6,675	0,036
Ранг	27,63	41,60	38,0			

Анализ детерминант профессиональной жизнестойкости в зависимости от возраста, позволяет заключить:

- в группе врачей до 35 лет статистически значимым является более высокий уровень ценности самоутверждения ($p = 0,012$) и рефлексивности ($p = 0,001$). Полученные возрастные различия соотносятся с этапами

развития профессионализма и профессионального самосознания. По классификации А.К. Марковой, внутри профессионализма выделяются такие этапы как адаптация к профессии, самоактуализация в профессии, этапы свободного владения профессией (в форме мастерства, творчества, свободного владения несколькими профессиями), этап творческого самопроектирования личности профессионала [6]. Таким образом, группа моложе 35 лет состоит, в основном из врачей, находящихся на этапе адаптации и самоактуализации в профессии, что во многом определяет приоритет ценности «самоутверждение». В период до 35 лет (молодость, ранняя зрелость) для специалиста характерны: понимание смысла профессии, уточнение критериев себя как профессионала, построение Я-концепции. Этим можно объяснить достаточно высокий уровень рефлексивности врачей данной возрастной группы.

Среди медицинских сестёр, статистически значимо более высокие уровень вовлеченности ($p = 0,021$), межличностной безопасности ($p = 0,016$), уверенности и контроля ($p = 0,036$) выявлены в возрасте от 35 до 55 лет. Полученные показатели соответствуют личностно-профессиональным характеристикам данного возрастного периода. Этот возрастной интервал (периоды расцвета и зрелости) характеризуется профессионально-личностной самореализацией, уверенной жизненной позицией, социальной ответственностью за других.

В то же время при анализе детерминант профессиональной жизнестойкости в зависимости от пола не выявлено статистически значимых межполовых различий, т.е. пол не является дифференцирующим фактором.

Мы рассматриваем профессиональную жизнестойкость как механизм саморегуляции, который универсален по своей природе и должен защищать от негативных последствий пережитых событий, как травмирующего, так и повседневного характера.

Шкала «Я и коллеги» демонстрирует, как психологические механизмы способствуют укреплению взаимоотношений и поддержке медицинского персонала в условиях командной работы. Она основана на взаимодействии, взаимопомощи, обмене опытом, совместных усилиях, поиске компромиссов и согласованной работе. Это поддерживается эмоциональной поддержкой и благоприятной атмосферой на рабочем месте. Эмоциональный интеллект помогает управлять эмоциями, предсказывать реакции коллег и повышать качество заботы о пациентах. Сотрудничество с коллегами требует эмпатии, понимания и уважения эмоционального состояния, что способствует саморазвитию и саморегуляции специалистов. Поддер-

жание жизнестойкости врачей и медицинского персонала достигается через эмоциональную саморегуляцию и дистанцирование с целью предотвращения излишней эмоциональной вовлеченности и психологического напряжения, соблюдение профессиональных стандартов и норм этики.

Шкала «*Я и подопечные*» отображает механизмы, обеспечивающие эмоциональную связь, профессионализм и удовлетворение в работе с пациентами. Она базируется на эмпатии, понимании чувств и потребностей пациентов и их родственников, позволяя улучшить качество заботы и взаимодействия в сложных ситуациях. Ключевыми элементами являются способность поставить себя на место пациента, эффективное общение в рамках установленных границ и анализ ситуации для принятия обоснованных, порой непопулярных решений. Медики, проявляющие высокий профессионализм, следуют высоким стандартам этики и могут эффективно работать с разнообразными вызовами, сохраняя баланс и способность справляться со стрессом, эмоциональным давлением, выслушивать, поддерживать и утешать пациентов, демонстрируя понимание, заботу и сострадание. С помощью самоанализа и понимания потребностей и мотивов подопечных, медики могут оставаться вдохновленными и удовлетворенными от своей работы, осознавая важность своего вклада в жизни пациентов. Это позволяет им поддерживать профессионализм, эмоциональную стабильность и заботу, что способствует плодотворной работе, улучшению и постоянному развитию навыков и компетенций, и желанию помогать другим.

Шкала «*Я в профессии*» описывает воздействие личностных психологических механизмов, которые помогают медицинским работникам чувствовать силы для преодоления трудностей, адаптироваться к изменениям, развиваться и сохранять свою профессиональную идентичность. Достижение этой стабильности в работе основывается на позитивном самовосприятии, самооценке, уверенности в своих навыках, умении принимать обоснованные решения и стремиться к постоянному развитию. Для совладания с сильными эмоциями в трудных ситуациях они используют консультации с коллегами или специалистами, физическую активность и релаксацию, а также способность сохранять дистанцию. Важные аспекты успешности работы медиков включают их мотивацию, ответственность, профессиональную компетентность, умение управлять эмоциями и межличностными отношениями, а также способность адаптироваться к изменениям и находить решения в сложных ситуациях. При изменении места работы, медики могут использовать свою профессиональную идентич-

ность, основанную на понимании и ценности своей профессии, для поддержания связи с собой и успешного выполнения своих обязанностей в любой медицинской организации. Понимание смысла и целей профессиональной деятельности мотивирует медицинских работников сохранять связь с сутью своей работы вне зависимости от внешних обстоятельств.

Эти психологические механизмы способствуют адаптации личности к сложным эмоциональным состояниям, развитию чувства уверенности, достижению успеха в профессиональной деятельности, поддержанию интереса к обучению и самосовершенствованию, эффективной адаптации к изменениям на рабочем месте, сохранению континуитета профессиональной идентичности и адаптации к изменениям без утраты профессионального «Я» в процессе смены места работы, поддержанию эффективности и эмоционального благополучия в условиях динамики и неопределенности.

На рис. 1 представлено распределение испытуемых по баллам опросника профессиональной жизнестойкости специалистов социэкономического профиля на выборке врачей и медицинского персонала.

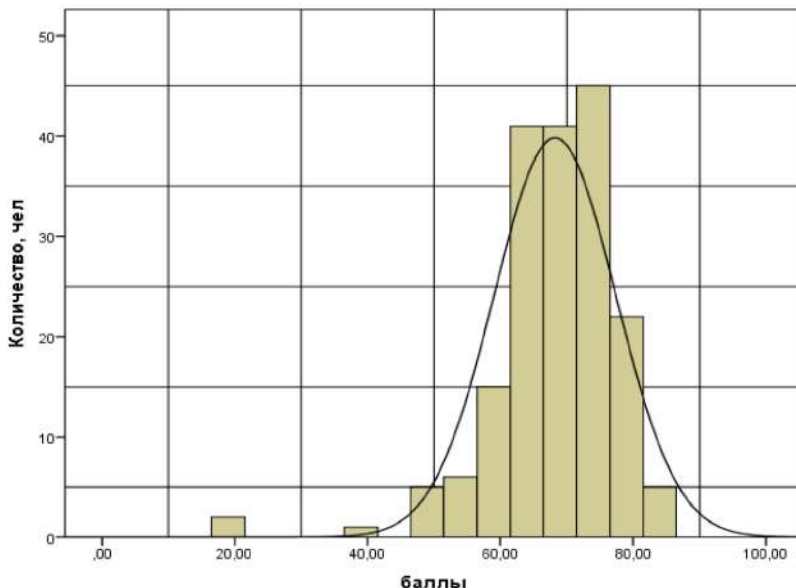


Рис. 1. Распределение испытуемых по баллам опросника профессиональной жизнестойкости специалистов социэкономического профиля на выборке врачей и медицинского персонала ($n = 183$ чел.)

Оценка нормальности распределения шкалы профессиональной жизнестойкости проводилась на основе расчета критерия Колмогорова-Смирнова. Был сделан вывод о несоответствии распределения нормальному.

На основании выделения 33-го и 66-го перцентилей можно предложить разделение испытуемых на три группы по степени выраженности у них профессиональной жизнестойкости - ниже среднего, средний, выше среднего значения (табл. 4).

Таблица 4.

Распределение результатов по 33 и 66 перцентильям

Шкалы	Диапазон баллов / уровень	% респондентов
Профессиональная жизнестойкость	до 66 - ниже среднего	38,3
	от 66 до 73 – средний	27,9
	более 73 – выше среднего	33,9

На рис. 2 видно и из табл. 4 видно, что профессиональная жизнестойкость специалистов медицинского профиля в целом ($68,22 \pm 9,165$) представлена на среднем и выше среднего уровнях. В исследуемой выборке 27,9% характеризуются средним и 33,9% – выше среднего уровня значениями профессиональной жизнестойкости.

Шкала обладает удовлетворительными психометрическими свойствами, так как внутренняя согласованность, определенная по альфа-Кронбаха, составляет 0,825 для всей шкалы. Надежность выделенных подшкал аналогична и составляет 0,679, 0,681 и 0,682 соответственно.

Расчет коэффициента корреляции Спирмена между шкалами и составляющих их пунктами позволил установить достаточную согласованность всех пунктов опросника ($r > 0,5$, $p < 0,001$) для врачей и медицинских работников. Также между шкалами опросника установлена прямая корреляционная связь ($r = 0,723$; $p < 0,001$).

Таблица 5.

Корреляционные связи между пунктами опросника профессиональной жизнестойкости

	Я и коллеги	Я и подопечные	Я в профессии	Профессиональная жизнестойкость
Я и коллеги	1,000			
Я и подопечные	0,535**	1,000		
Я в профессии	0,397**	0,635**	1,000	
Профессиональная жизнестойкость	0,777**	0,858**	0,812**	1,000

Проверка валидности опросника профессиональной жизнестойкости специалистов социномических профессий на выборке врачей осуществлялась с помощью краткой шкалы жизнестойкости Е.Н. Осина и Е.Н. Рассказовой. Выбор этой методики обусловлен, тем, что вовлеченность в профессиональную деятельность, контроль за выполняемыми действиями и возникающими трудными ситуациями, готовность к новым вызовам и рискам профессии выступают фактором обеспечения устойчивости медицинских работников и приверженности их профессии [8].

С помощью корреляционного анализа между шкалами опросника профессиональной жизнестойкости специалистов социномического профиля с краткой шкалой была подтверждена конвергентная валидность опросника на выборке медицинских работников (табл. 6).

Таблица 6.

Результаты корреляционного анализа профессиональной жизнестойкости медицинских работников и краткой шкалы жизнестойкости (Е.Н. Осин, Е.Н. Рассказова)

Шкалы	Вовлеченность	Контроль	Готовность к риску	Общая жизнестойкость
Я и коллеги	0,317**	0,254**	0,218**	0,294**
Я и подопечные	0,336**	0,397**	0,343**	0,384**
Я в профессии	0,331**	0,335**	0,309**	0,352**
Профессиональная жизнестойкость	0,402**	0,390**	0,335**	0,412**

Примечание: уровень значимости ** $p < 0,01$

На основе анализа и обобщения данных можно сделать вывод о соответствии шкал общей и профессиональной жизнестойкости. Вовлеченность в профессиональную деятельность медицинских работников, обусловленность результатов оказания медицинской помощи от совместной работы врачей, медицинских сестер и младшего медицинского персонала в условиях поддержки друг друга способствует эффективной работе и укреплению психологической устойчивости каждого из них. Врачи, работая в команде, обмениваются опытом, обсуждают сложные случаи, делятся нагрузкой и поддерживают друг друга в трудные моменты. В связи с этим вовлеченность и работа в сотрудничестве с коллегами взаимосвязаны и могут содействовать формированию жизнестойкости у медиков, помогая им успешно справляться с вызовами медицинской практики.

Контроль как убежденность в возможности влиять на результаты происходящего, активность в разрешении сложных ситуаций с пациентами и их родными, поддерживает чувство компетентности и самоэффективности медиков, что важно для успешной работы и достижения высоких результатов. Контроль над процессом лечения позволяет медикам более эффективно уделять внимание потребностям и благополучию пациентов, обеспечивать более персонализированный и качественный уход, учитывая индивидуальные особенности и предпочтения каждого пациента. Жизнестойкие медики, благодаря контролю, могут легче адаптировать свои методы лечения, графики работы и подходы к коммуникации с пациентами, что способствует улучшению качества медицинской помощи. Поэтому контроль как компонент жизнестойкости медиков помогает им эффективнее заботиться о пациентах, создавая условия для индивидуализированного и доверительного взаимодействия между врачом и пациентом.

Медицинские работники с высокой готовностью к риску более склонны к принятию ответственности за свои решения и действия, идя на риск в интересах благополучия пациентов. Они более способны к новым и нестандартным способам лечения и ухода. Они верят в свои способности решать сложные клинические задачи, отражая высокую самоэффективность и самоидентификацию с профессией, несмотря на внешние обстоятельства. Таким образом, готовность к риску как компонент жизнестойкости медицинских работников может быть тесно связана с самоидентификацией с профессией. Активность, оптимизм, направленность на активное преодоление трудностей и саморазвитие обуславливают высокий уровень жизнестойкости личности.

В табл. 7-8 представлены результаты корреляционного анализа профессиональной жизнестойкости с другими независимыми переменными.

Достоверные связи среди медицинских работников выявлены между профессиональной жизнестойкостью и ценностями конформности-традиции, заботы, риска-новизны.

Взаимосвязь с ценностью *«конформность-традиции»* и он формируется, прежде всего, параметра «Я и коллеги». Особенности медицинской профессии формируют как внутреннюю, так и внешнюю конформность персонала. Внутренняя конформность, в большей мере, определяется традициями медицинской профессии. Она предполагает обязательное усвоение каждым медицинским работником этико-деонтологических основ профессии, является своеобразным рефлексивным контролёром, способ-

ствующем соблюдению установленных норм поведения в коллективе. Внешняя конформность, на наш взгляд, во многом связана с современной стандартизацией медицинского обслуживания, что предусматривает соблюдение закреплённого в нормативных документах взаимосвязанного порядка действий врачей и медицинских сестёр. Таким образом, конформность выступает механизмом, поддерживающим непрерывность и этапность медицинского обслуживания, а также коллективную ответственность и коммуникации.

Таблица 7.

Результаты корреляционного анализа профессиональной жизнестойкости медицинских работников и портретного ценностного опросника (PVQ)

Ценностные ориентации (PVQ)	Профессиональная жизнестойкость			
	Я и коллеги	Я и подопечные	Я в профессии	Профессиональная жизнестойкость
Безопасность	-0,008	-0,028	0,047	-0,017
конформность-традиции	0,251**	0,140	0,147*	0,218**
Самостоятельность	-0,021	0,157*	0,112	0,087
риск-новизна	0,003	0,231**	0,190**	0,151*
Гедонизм	0,017	0,097	0,146*	0,095
Самоутверждение	-0,071	0,109	0,198**	0,090
Забота	0,170*	0,208**	0,186*	0,215**

Примечание: уровень значимости * $p < 0,05$, ** $p < 0,01$.

Достоверные показатели корреляции с ценностью «забота» отмечены по всем компонентам, среди которых в наибольшей степени выделяется параметр «Я и подопечные», что закономерно с позиций социомической профессии. Этот компонент также проявляет наибольшую корреляцию с ценностной ориентацией «риск-новизна». Эти две ценностные ориентации медицинского персонала взаимосвязаны, поскольку, чем более новой и рискогенной для подопечных становится медицинская деятельность, тем большее значение приобретают забота и внимание по отношению к ним. В отношении с пациентами достоверна корреляционная связь с ценностью «самостоятельность».

Значимые корреляционные связи обнаружены также между профессиональной жизнестойкостью и ощущением безопасности личности (табл.8).

Таблица 8.

Результаты корреляционного анализа профессиональной жизнестойкости медицинских работников и чувством безопасности

Чувство безопасности	Профессиональная жизнестойкость			
	Я и коллеги	Я и подопечные	Я в профессии	Профессиональная жизнестойкость
Межличностная безопасность	0,198**	0,289**	0,267**	0,293**
Уверенность и контроль	0,137	0,285**	0,184*	0,238**

Примечание: уровень значимости * $p < 0,05$, ** $p < 0,01$

Выявленные корреляционные связи между профессиональной жизнестойкостью и чувством безопасности отражают профессионально важные качества медицинских работников. Специфика медицинской профессии предполагает психологическое управление лечебно-диагностическим процессом, прежде всего, через доверительное общение, взаимодействие и контроль за пациентом. Опыт личной безопасности в межличностном общении с пациентом во многом определяет профессионализм медицинского работника.

Проведенный регрессионный анализ выявил, что, в целом, по выборке медицинских работников на профессиональную жизнестойкость оказывают влияние их ценностные ориентации и ощущение ими безопасности ($R^2 = 0,129$): ценности «заботы» ($\beta = 0,155$, $p < 0,01$), «конформности-традиций» ($\beta = 0,164$, $p = 0,001$), «риска – новизны» ($\beta = 0,105$, $p < 0,05$), «уверенности и контроля» ($\beta = 0,178$, $p < 0,001$).

Ценности заботы оказывают значительное влияние на жизнестойкость врачей и медсестер в силу ряда причин: заботливое отношение к пациентам может быть сильным мотиватором для медицинского персонала. Чувство удовлетворения от помощи, заботы и улучшения состояния пациентов может повысить моральное состояние и стимулировать врачей и медсестер продолжать свою работу, даже в трудные моменты, способствовать позитивному и доверительному взаимодействию с пациентами. Установление связи с пациентами, забота о них может понижать уровень стресса и эмоционального истощения у врачей и медсестер, способствуя сохранению у них психологического равновесия. Кроме этого, забота придает жизненный смысл и цель медицинским работникам, усиливая их способности преодолевать трудности, укреплять мотивацию, удовлетворенность работой и эмоциональное благополучие.

Существующие в медицине профессиональные стандарты, протоколы лечения, базирующиеся на надежных методах, традиционные принципы медицинской этики поддерживают у врачей и медсестер чувство стабильности и уверенности в своих действиях. Поэтому работа в соответствии с установленными правилами и нормами регулирует чувство неопределенности и стресса, что способствует повышению жизнестойкости личности. Получение опыта от предыдущих поколений медицинских работников влияет на рост авторитета в коллективе, укрепляет самооценку и уверенность в способности разрешать сложные профессиональные ситуации. Поэтому предиктор конформности – традиции влияет на поддержание профессиональной жизнестойкости врачей и медицинского персонала, обеспечивая стабильность, уверенность в своих силах и профессиональное развитие.

Другим предиктором профессиональной жизнестойкости оказалась ценность «риск-новизна». Его влияние выражается в применении новых методов лечения, интерес к проведению исследований, поиску новых лекарств, апробированию новых процедур и оборудования, готовности к вызовам при внедрении новых подходов. Обучение и постоянное профессиональное развитие поддерживает в медицинских работниках жизнестойкость, а готовность к риску способствует правильному поведению в сложных ситуациях. Благодаря работе в коллективе и сотрудничеству со специалистами из других сфер врачи внедряют инновации в практику лечения.

При всем позитивном влиянии готовности к риску и новым вызовам на профессиональное развитие (новые методы и практики становятся источником мотивации и вдохновения), нужно уточнить, что неопределенность, риск неудач и необходимость гибко и быстро реагировать на них могут повысить уровень стресса у медицинского персонала. У недостаточно жизнестойких врачей и медсестер, предпочитающих стабильность в работе, новизна и риск могут вызывать сопротивление инновациям. Поэтому необходимо соблюдать баланс между стремлением к новизне и поддержанием стабильности и уверенности.

Для медицинских работников чувство уверенности и контроля выполняет роль защитного механизма: человек чувствует себя более уверенно при встрече с трудностями, что позволяет ему избегать выгорания, поддерживать жизнестойкость, более грамотно управлять своими эмоциями и сохранять профессиональное отношение к пациентам в сложных ситуациях. Медицинские работники, способные контролировать ситуацию, более склонны к тому, чтобы искать пути решения проблем, вместо того чтобы погружаться в чувство беспомощности и усталости. Они с большей

вероятностью преодолеют трудности и стресс, будут менее подвержены выгоранию, и достигнут ощущения психологической безопасности, успеха в работе и карьере, сохраняя баланс с личной жизнью.

Имеются данные по программам поддержки жизнестойкости и психологической безопасности врачей и медицинского персонала. L.Grabbe с колл. реализовали тренинг жизнестойкости медицинских работников, базирующийся на сильных сторонах личности, который объясняет дистрессовую реакцию на травму как биологическую по своей природе, а не как следствие психической слабости [27]. F.J. Sautter выделяет долгосрочные программы обучения жизнестойкости, которые направлены на развитие психосоциальных, поведенческих и когнитивных аспектов. Этот вид сопровождения медицинских работников позволяет избежать нежелательных симптомов, поощряя эффективное общение, сотрудничество и снижая тревожность [37].

На основе выявленной связи между жизнестойкостью и эмпатией, а также способности к развитию эмпатии с возрастом, E. Wilczek-Rużyczka предлагает с помощью тренинга развития эмпатии повышать жизнестойкость [40]. Б.А. Ясько придает особое значение программам консультативной поддержки медицинских работников и приемам, направленным на активизацию компонента принятия риска, осознание смысла труда и значимости приобретенного профессионального опыта; на восстановление расходуемых витальных ресурсов - физического самочувствия после отработанных смен; на овладение элементарными навыками психофизиологической саморегуляции, снятия стресса; на формирование проактивных стратегий совладающего поведения [18]. Проведенное исследование актуализирует действие психологических ресурсов, связанных с взаимоотношениями с коллегами, пациентами и их родственниками и профессиональной самоидентификацией.

Заключение

В ходе исследования обоснована структура профессиональной жизнестойкости по параметрам «Я и коллеги», «Я и подопечные», «Я в профессии». Опросник, построенный на ее основе для специалистов социального профиля, продемонстрировал надежность и валидность, что позволяет его применять на выборке врачей и медицинского персонала.

Выявлена более высокая профессиональная жизнестойкость в группе среднего медицинского персонала, что подтверждает полученные ранее результаты по изучению жизнестойкости и психологического благополучия [16]. Профессиональную жизнестойкость медицинских работников

обуславливают их ценностные ориентации (заботы, конформизма, следования традициям, риска и новизны) и чувство безопасности через уверенность и контроль над ситуацией.

Полученные данные об особенностях профессиональной жизнестойкости врачей и медицинского персонала в связи с ощущением ими психологической безопасности свидетельствуют о необходимости продолжения работы, связанной с их поддержкой. Рассмотрение жизнестойкости как процесса приобретения навыков использования внутренних и внешних ресурсов для лучшей адаптации к будущим или уже выявленным неблагоприятным факторам делает возможным проведение мероприятий по ее повышению. Результаты исследований подтверждают необходимость включения компетенций, связанных с психологической травматизацией и устойчивостью к ней, в образовательные программы и программы повышения квалификации врачей и медицинских сестер. Актуальность приобретают программы и тренинги жизнестойкости, наименее ресурсоемкие и ориентированные на профилактику стрессов и профессионального выгорания.

К ограничениям результатов следует отнести то, что исследование проводилось на неслучайной выборке с использованием только самоотчетов. В исследовании участвовало мало мужчин.

Заключение комитета по этике. Исследование было проведено в соответствии с принципами положения Хельсинкской декларации Всемирной медицинской ассоциации (Declaration of Helsinki, and approved by the Institutional Review Board), а также Этическим кодексом психолога Российского психологического общества.

Информированное согласие. Информированное согласие было получено от всех субъектов, участвовавших в исследовании.

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

Информация о спонсорстве. Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 22-18-00678, <https://rscf.ru/project/22-18-00678/>, ИвГУ.

Список литературы

1. Водопьянова Н. Е. Противодействие синдрому выгорания в контексте ресурсной концепции человека // Вестник Санкт-Петербургского университета. Серия: Психология. 2011. № 3. С. 38-50.

2. Карпов А. В. Рефлексивность как психическое свойство и методика ее диагностики // Психологический журнал. 2003. Т. 24. № 5. С. 45-57.
3. Кисляков П.А., Шмелева Е.А. Психологическая безопасность: психодиагностика. Красноярск: Научно-инновационный центр, 2024. 270 с. <https://doi.org/10.12731/978-5-907608-21-4>
4. Леонтьев Д.А., Рассказова Е.И. Тест жизнестойкости. М.: Смысл, 2006. 63 с.
5. Лобза О.В. Жизнестойкость как компонент психологической безопасности личности // Вестник Прикамского социального института. 2019. № 2 (83). С. 75–79.
6. Маркова А. К. Психология профессионализма. М.: Международный гуманитарный фонд «Знание», 1996. 309 с.
7. Одинцова М. А. Психология жизнестойкости. М.: ФЛИНТА, 2015. 296 с.
8. Осин Е.Н., Рассказова Е.И. Краткая версия теста жизнестойкости: психометрические характеристики и применение в организационном контексте. Вестник Московского университета. Серия №14. Психология. 2013. № 2. С. 147-165.
9. Панков В. А., Лахман О. Л., Кулешова М. В., Рукавишников В. С. Эмоциональное выгорание у медицинских работников в условиях работы в экстремальных ситуациях // Гигиена и санитария. 2020. Т. 99. № 10. С. 1034-1041. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2020-99-10-1034-1041>
10. Петриков С. С., Холмогорова А. Б., Суроегина А. Ю. и др. Профессиональное выгорание, симптомы эмоционального неблагополучия и дистресса у медицинских работников во время эпидемии COVID-19 // Консультативная психология и психотерапия. 2020. Т. 28. № 2 (108). С. 8-45. <https://doi.org/10.17759/cpp.2020280202>
11. Скрипкина Т. П., Херсонский И. И. Особенности эмоционального выгорания у медицинского персонала // Вестник Мининского университета. 2023. Т. 11. № 1(42). <https://doi.org/10.26795/2307-1281-2023-11-1-11>
12. Франкл В. Человек в поисках смысла. М.: Прогресс, 1990. 368 с.
13. Чемяков В. П., Полищук А.Р., Чуткова Д. А. Исследование соотношения вовлеченности в профессию и профессионального выгорания врачей: результаты опроса // Психическое здоровье. 2023. Т. 18. № 6. С. 23-36. <https://doi.org/10.25557/2074-014X.2023.06.23-36>
14. Шварц Ш., Бутенко Т.П., Седова Д.С., Липатова А.С. Уточненная теория базовых индивидуальных ценностей: применение в России // Психология. Журнал Высшей школы экономики. 2012. Т. 9. № 1. С. 43–70.
15. Шмелева Е. А., Кисляков П. А., Меерсон А. Л. С., Фан Ч. К. Влияние учебно-профессиональной жизнестойкости на субъективное благополучие

- студентов социономического профиля: роль стилей совладания // Образование и наука. 2023. Т. 25, № 9. С. 118-155. <https://doi.org/10.17853/1994-5639-2023-9-118-155>
16. Шмелева Е. А., Кисляков П. А., Карасева Т. В., Силаева О. А., Прияткин Д. А. Благополучие в профессиональной сфере и жизнестойкость врачей и медицинского персонала // Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture. 2023. Т. 15. № 5. С. 413-438. <https://doi.org/10.12731/2658-6649-2023-15-5-949>
 17. Ярошук И. В. Психология жизнестойкости: обзор теоретических концепций, эмпирических исследований и методик диагностики // Ученые записки СПбГИПСР. 2020. Т. 33. № 1. С. 50-60.
 18. Ясько Б.А., Казарин Б.В., Городин В.Н., Чугунова Н.А. и др. Жизнестойкость и персональные ресурсы врачей «красных зон» ковид-госпиталей: психологический анализ // Вестник Российского государственного медицинского университета. 2021. № 4. С. 68-76. <https://doi.org/10.24075/vrgmu.2021.042>
 19. An L., Cong Z. A review of research on psychological security // Chinese Journal of Behavioural Medical Science, 2003, vol. 12, no. 6, pp. 698-699. <https://doi.org/10.3760/cma.j.issn.1674-6554.2003.06.052>
 20. Babineau T., Thomas A., Wu V. Physician burnout and compassion fatigue: Individual and institutional response to an emerging crisis // Current Treatment Options in Pediatrics, 2019, vol. 5, pp. 1-10. <https://doi.org/10.1007/s40746-019-00146-7>
 21. Cañadas-De la Fuente G., Ortega E., Ramirez-Baena L., De la Fuente-Solana E., Vargas C., Gómez-Urquiza J. Gender, marital status, and children as risk factors for burnout in nurses: A metaanalytic study // International Journal of Environmental Research and Public Health, 2015, vol. 15, no. 10, p. 2102. <https://doi.org/10.3390/ijerph15102102>
 22. Cong Z., An L. Developing of security questionnaire and its reliability and validity // Chinese Mental Health Journal, 2004, vol. 18, pp. 97-99.
 23. Davidov E., Schmidt P., Schwartz Sh. Bringing Values Back in: the Adequacy of the European Social Survey to Measure Values in 20 Countries // Public Opinion Quarterly, 2008, vol. 72, no. 3, pp. 420-445. URL: <https://nbn-resolving.org/urn:nbn:de:0168-ssor-66692> (дата обращения: 09.02.2023).
 24. Dyrbye L. N., Massie F. S., Eacker A., Harper W., Power D., Durning S.J., ... Shanafelt T. D. Relationship between burnout and professional conduct and attitudes among US medical students // Jama, 2010, vol. 304, no. 11, pp. 1173-1180. <https://doi.org/10.1001/jama.2010.1318>

25. Felton J. S. Burnout as a clinical entity – its importance in health care workers // *Occupational medicine*, 1988, vol. 48, no. 4, pp.237-250. <https://doi.org/10.1093/occmed/48.4.237>
26. Figley C. R. Systemic traumatization: Secondary traumatic stress disorder in family therapists. In: R.H. Mikesell D.D. Lusteran S. H. McDaniel (eds.) // *Integrating family therapy: Handbook of family psychology and systems theory*. Washington, D.C.: American Psychological Association, 1995, pp. 571-581. <https://doi.org/10.1037/10172-033>
27. Grabbe L., Higgins M.K., Baird M., Pfeiffer K.M. Impact of a Resiliency Training to Support the Mental Well-being of Front-line Workers: Brief Report of a Quasi-experimental Study of the Community Resiliency Model // *Med Care*, 2021, vol. 59, no. 7, pp. 616-621. <https://doi.org/10.1097/MLR.0000000000001535>
28. Hobfoll S.E. *Stress, culture, and community*. N.Y.: London, 1998, 296 p.
29. Kobasa S. C. Stressful life events, personality, and health - inquiry into hardiness // *Journal of Personality and Social Psychology*, 2011, vol. 37, no. 1, pp. 1–11. <https://doi.org/10.1037/0022-3514.37.1.1>
30. Lahana E., Papadopoulou K., Roumeliotou O., Tsounis A., Sarafis P., Niakas D. Burnout among nurses working in social welfare centers for the disabled // *BMC Nursing*, 2017, vol. 16, no. 1, p. 15. <https://doi.org/10.1186/s12912-017-0209-3>
31. Luthar S.S. Resilience in development: A synthesis of research across five decades // *Developmental psychopathology: Risk, disorder, and adaptation*, 2015, vol. 5, pp.739-795. <https://doi.org/10.1002/9780470939406.ch20>
32. Maddi S. Hardiness: an Operationalization of Existential Courage // *Journal of Humanistic Psychology*, 2007, vol. 44, no. 3, pp. 279-298. <https://doi.org/10.1177/0022167804266101>
33. Maddi S. The Courage and Strategies of Hardiness as Helpful in Coping Despite Major, Destructive Stresses // *American Psychologist*, 2008, vol. 63, no. 6, pp. 563-564. <https://doi.org/10.1037/0003-066X.63.6.563>
34. Maslach C., Jackson S. E. The measurement of experienced Burnout // *Journal of Occupational Behavior*, 1981, vol. 2, pp. 99-113. <https://doi.org/10.1002/job.4030020205>
35. Nolte A. G., Downing C., Temane A., Hastings Tolsma M. Compassion fatigue in nurses: A metasynthesis // *Journal of Clinical Nursing*, 2017, vol. 6, no. 23-24, pp. 4364–4378. <https://doi.org/10.1111/jocn.13766>
36. Ogińska-Bulik N., Juczyński Z. Skala Pomiaru Prężności – SPP25 // *Nowiny Psychologiczne*, 2008, no. 3, pp. 39-56.
37. Sautter F. J., Glynn S. M., Thompson K. E., Franklin L., Han X. A couple-based approach to the reduction of PTSD avoidance symptoms: Preliminary findings //

- Journal of marital and family therapy, 2009, vol. 35, no. 3, pp.343-349. <https://doi.org/10.1111/j.1752-0606.2009.00125.x>
38. Shanafelt T., Ripp J., Trockel M. Understanding and addressing sources of anxiety among health care professionals during the COVID-19 Pandemic // *Jama*, 2020, vol. 323, pp. 2133–2134.
39. Ward J., Cody J., Schaal M., Hojat M. The empathy enigma: an empirical study of decline in empathy among undergraduate nursing students // *Journal of Professional Nursing*, 2012, vol. 28, no. 1, pp. 34-40. <https://doi.org/10.1016/j.profnurs.2011.10.007>
40. Wilczek-Rużyczka E. Empathy and resilience in health care professionals // *Acta Neuropsychologica*, 2023, vol. 21, no. 4, pp. 395-410. <https://doi.org/10.5604/01.3001.0053.9172>

References

1. Vodop'janova N. E. Protivodejstvie sindromu vygoranija v kontekste resursnoj koncepcii cheloveka. [Counteraction to burnout syndrome in the context of resource concept of a person]. *Vestnik Sankt-Peterburgskogo universiteta. Serija: Psihologija* [Bulletin of St. Petersburg University. Series: Psychology], 2011, no. 3, pp. 38-50.
2. Karpov A. V. Refleksivnost' kak psihicheskoe svojstvo i metodika ee diagnostiki [Reflexivity as a mental property and the methodology of its diagnostics]. *Psihologicheskij zhurnal* [Psychological Journal], 2003, vol. 24, no. 5, pp. 45-57.
3. Kisljakov P.A., Shmeleva E.A. *Psihologicheskaja bezopasnost': psihodiagnostika* [Psychological safety: psychodiagnosics]. Krasnojarsk: Nauchno-innovacionnyj centr Publ., 2024, 270 p. <https://doi.org/10.12731/978-5-907608-21-4>
4. Leont'ev D.A., Rasskazova E.I. *Test zhiznestojkosti* [Test of resilience]. Moscow: Smysl Publ., 2006, 63 p.
5. Lobza O.V. Zhiznestojkost' kak komponent psihologicheskoj bezopasnosti lichnosti [Resilience as a component of psychological security of the individual]. *Vestnik Prikamskogo social'nogo instituta* [Bulletin of the Prikamsky Social Institute], 2019, vol. 2, no. 83, pp. 75–79.
6. Markova A. K. *Psihologiya professionalizma* [Psychology of professionalism]. M.: Znanie Publ., 1996, 309 p.
7. Odincova MA. *Psihologija zhiznestojkosti* [Psychology of resilience]. M.: FLINTA Publ., 2015, 296 p.
8. Osin E.N., Rasskazova E.I. Kratkaya versiya testa zhiznestojkosti: psihometricheskie harakteristiki i primenenie v organizacionnom kontekste [A brief version of the resilience test: psychometric characteristics and application in an organization-

- al context]. *Vestnik Moskovskogo universiteta. Seriya 14. Psihologiya* [Bulletin of the Moscow University. Series 14. Psychology], 2013, no. 2, pp. 147-165.
9. Pankov V. A., Lahman O. L., Kuleshova M. V., Rukavishnikov V. S. Jemocional'noe vygoranie u medicinskih rabotnikov v usloviyah raboty v jekstremal'nyh situacijah [Emotional burnout in medical workers in conditions of work in extreme situations]. *Gigiena i sanitarija* [Hygiene and Sanitation], 2020, vol. 99, no. 10, pp. 1034-1041. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2020-99-10-1034-1041>
 10. Petrikov S. S., Holmogorova A. B., Suroegina A. Ju. i dr. Professional'noe vygoranie, simptomy jemocional'nogo neblagopoluchija i distressa u medicinskih rabotnikov vo vremja jepidemii COVID-19 [Professional burnout, symptoms of emotional well-being and distress in medical workers during the COVID-19 epidemic]. *Konsul'tativnaja psihologija i psihoterapija* [Counselling Psychology and Psychotherapy], 2020, vol. 28, no. 2 (108), pp. 8-45. <https://doi.org/10.17759/cpp.2020280202>
 11. Skripkina T. P., Hersonskij I. I. Osobennosti jemocional'nogo vygoranija u medicinskogo personala [Features of emotional burnout in medical personnel]. *Vestnik Mininskogo universiteta* [Vestnik of Mininn University], 2023, vol. 11, no. 1 (42). <https://doi.org/10.26795/2307-1281-2023-11-1-11>
 12. Frankl V. *Chelovek v poiskah smysla* [Man in search of meaning]. M.: Progress Publ., 1990, 368 p.
 13. Chemekov V. P., Polishhuk A.R., Chutkova D. A. Issledovanie sootnoshenija вовлеченности v professiju i professional'nogo vygoranija vrachej: rezul'taty oprosa [Study of the correlation of involvement in the profession and professional burnout of doctors: results of the survey]. *Psihicheskoe zdorov'e* [Mental Health], 2023, vol. 18, no. 6, pp. 23-36. <https://doi.org/10.25557/2074-014X.2023.06.23-36>
 14. Shvarc Sh., Butenko T.P., Sedova D.S., Lipatova A.S. Utochnennaja teorija bazovyh individual'nyh cennostej: primenenie v Rossii [Refined theory of basic individual values: application in Russia]. *Psihologija. Zhurnal Vysshej shkoly jekonomiki* [Psychology. Journal of the Higher School of Economics], 2012, vol. 9, no. 1, pp. 43-70.
 15. Shmeleva E. A., Kisljakov P. A., Meerson A. L. S., Fan Ch. K. Vlijanie uchebno-professional'noj zhiznestojkosti na sub"ektivnoe blagopoluchie studentov socionomicheskogo profilja: rol' stilej sovladanija [Influence of educational and professional viability on the subjective well-being of students of socioeconomic profile: the role of coping styles]. *Obrazovanie i nauka* [Education and Science], 2023, vol. 25, no. 9, pp. 118-155. <https://doi.org/10.17853/1994-5639-2023-9-118-155>

16. Shmeleva E. A., Kislyakov P. A., Karaseva T. V., Silaeva O. A., Prijatkin D. A. Blagopoluchie v professional'noj sfere i zhiznestojkost' vrachej i medicinskogo personala [Well-being in the professional sphere and resilience of doctors and medical staff]. *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*, 2023, vol. 15, no. 5, pp. 413-438. <https://doi.org/10.12731/2658-6649-2023-15-5-949>
17. Jaroshhuk I.V. Psihologija zhiznestojkosti: obzor teoreticheskikh koncepcij, jempiricheskikh issledovanij i metodik diagnostiki [Psychology of resilience: a review of theoretical concepts, empirical studies and diagnostic techniques]. *Uchenye zapiski SPbGIPSR* [Academic notes of SPbGIPSR], 2020, vol. 33, no. 1, pp. 50-60.
18. Jas'ko B.A., Kazarin B.V., Gorodin V.N., Chugunova N.A. i dr. Zhiznestojkost' i personal'nye resursy vrachej "krasnyh zon" kovid-gospitalej: psihologicheskij analiz [Resilience and personal resources of doctors of 'red zone' covid-hospitals: psychological analysis]. *Vestnik Rossijskogo gosudarstvennogo medicinskogo universiteta* [Bulletin of the Russian State Medical University], 2021, no. 4, pp. 68-76. <https://doi.org/10.24075/vrgmu.2021.042>
19. An L., Cong Z. A review of research on psychological security. *Chinese Journal of Behavioural Medical Science*, 2003, vol. 12, no. 6, pp. 6698-699.
20. Babineau T., Thomas A., Wu V. Physician burnout and compassion fatigue: Individual and institutional response to an emerging crisis. *Current Treatment Options in Pediatrics*, 2019, vol. 5, pp. 1-10. <https://doi.org/10.1007/s40746-019-00146-7>
21. Cañadas-De la Fuente G., Ortega E., Ramirez-Baena L., De la Fuente-Solana E., Vargas C., Gómez-Urquiza J. Gender, marital status, and children as risk factors for burnout in nurses: A metaanalytic study. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 2015, vol. 15, no. 10, p. 2102. <https://doi.org/10.3390/ijerph15102102>
22. Cong Z., An L. Developing of security questionnaire and its reliability and validity. *Chinese Mental Health Journal*, 2004, vol. 18, pp. 97-99.
23. Davidov E., Schmidt P., Schwartz Sh. Bringing Values Back in: the Adequacy of the European Social Survey to Measure Values in 20 Countries. *Public Opinion Quarterly*, 2008, vol. 72, no. 3, pp. 420-445. URL: <https://nbn-resolving.org/urn:nbn:de:0168-ssoar-66692> (accessed February, 9, 2023).
24. Dyrbye L. N., Massie F. S., Eacker A., Harper W., Power D., Durning S.J., ... Shanafelt T. D. Relationship between burnout and professional conduct and attitudes among US medical students. *Jama*, 2010, vol. 304, no. 11, pp. 1173-1180. <https://doi.org/10.1001/jama.2010.1318>
25. Felton J. S. Burnout as a clinical entity – its importance in health care workers. *Occupational medicine*, 1988, vol. 48, no. 4, pp. 237-250. <https://doi.org/10.1093/occmed/48.4.237>

26. Figley C. R. Systemic traumatization: Secondary traumatic stress disorder in family therapists. In: R.H. Mikesell D.D. Lusterma S. H. McDaniel (eds.), *Integrating family therapy: Handbook of family psychology and systems theory*. Washington, D.C.: American Psychological Association, 1995, pp. 571-581. <https://doi.org/10.1037/10172-033>
27. Grabbe L., Higgins M.K., Baird M., Pfeiffer K.M. Impact of a Resiliency Training to Support the Mental Well-being of Front-line Workers: Brief Report of a Quasi-experimental Study of the Community Resiliency Model. *Med Care*, 2021, vol. 59, no. 7, pp.616-621. <https://doi.org/10.1097/MLR.0000000000001535>
28. Hobfoll S.E. *Stress, culture, and community*. N.Y.: London, 1998, 296 p.
29. Kobasa S. C. Stressful life events, personality, and health - inquiry into hardiness. *Journal of Personality and Social Psychology*, 2011, vol. 37, no. 1, pp. 1–11. <https://doi.org/10.1037//0022-3514.37.1.1>
30. Lahana E., Papadopoulou K., Roumeliotou O., Tsounis A., Sarafis P., Niakas D. Burnout among nurses working in social welfare centers for the disabled. *BMC Nursing*, 2017, vol. 16, no. 1, p. 15. <https://doi.org/10.1186/s12912-017-0209-3>
31. Luthar S.S. Resilience in development: A synthesis of research across five decades. *Developmental psychopathology: Risk, disorder, and adaptation*, 2015, vol. 5, pp. 739-95. <https://doi.org/10.1002/9780470939406.ch20>
32. Maddi S. Hardiness: an Operationalization of Existential Courage. *Journal of Humanistic Psychology*, 2007, vol. 44, no. 3, pp. 279-298. <https://doi.org/10.1177/0022167804266101>
33. Maddi S. The Courage and Strategies of Hardiness as Helpful in Crowing Despite Major, Destructive Stresses. *American Psychologist*, 2008, vol. 63, no. 6, pp. 563-564. <https://doi.org/10.1037/0003-066X.63.6.563>
34. Maslach C., Jackson S. E. The measurement of experienced Burnout. *Journal of Occupational Behavior*, 1981, vol. 2, 99-113. <https://doi.org/10.1002/job.4030020205>
35. Nolte A. G., Downing C., Temane A., Hastings Tolsma M. Compassion fatigue in nurses: A metasynthesis. *Journal of Clinical Nursing*, 2017, vol. 6, no. 23–24, pp. 4364-4378. <https://doi.org/10.1111/jocn.13766>
36. Ogińska-Bulik N., Juczyński Z. Skala Pomiaru Prężności – SPP25. *Nowiny Psychologiczne*, 2008, no. 3, pp. 39-56.
37. Sautter F. J., Glynn S. M., Thompson K. E., Franklin L., Han X. A couple-based approach to the reduction of PTSD avoidance symptoms: Preliminary findings. *Journal of marital and family therapy*, 2009, vol. 35, no. 3, pp. 343-349. <https://doi.org/10.1111/j.1752-0606.2009.00125.x>
38. Shanafelt T., Ripp J., Trockel M. Understanding and addressing sources of anxiety among health care professionals during the COVID-19 Pandemic. *Jama*, 2020, vol. 323, pp. 2133-2134.

39. Ward J., Cody J., Schaal M., Hojat M. The empathy enigma: an empirical study of decline in empathy among undergraduate nursing students. *Journal of Professional Nursing*, 2012, vol. 28, no. 1, pp. 34-40. <https://doi.org/10.1016/j.profnurs.2011.10.007>
40. Wilczek-Rużyczka E. Empathy and resilience in health care professionals. *Acta Neuropsychologica*, 2023, vol. 21, no. 4, pp. 395-410. <https://doi.org/10.5604/01.3001.0053.9172>

ДАННЫЕ ОБ АВТОРАХ

Шмелева Елена Александровна, доктор психологических наук, доцент профессор кафедры психологии и социальной педагогики; профессор кафедры физической культуры, спорта и здорового образа жизни; профессор кафедры иностранных языков и профессиональных коммуникаций;

Ивановский государственный университет; Российский государственный социальный университет; Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России

ул. Кооперативная, 24, г. Шуя, 155508, Российская Федерация; ул. В. Пика, 4, стр. 1, г. Москва, 129226, Российская Федерация; просп. Строителей, 33, г. Иваново, 153040, Российская Федерация
pos_shmeleva@mail.ru

Кисляков Павел Александрович, доктор психологических наук, доцент, профессор кафедры психологии, конфликтологии и бихевиористики; главный научный сотрудник

Российский государственный социальный университет; Научно-исследовательский институт Федеральной службы исполнения наказаний (ФКУ НИИ ФСИН России)

ул. В. Пика, 4, стр. 1, г. Москва, 129226, Российская Федерация; ул. Житная, 14, г. Москва, 119991, Российская Федерация
pack.81@mail.ru

Карасева Татьяна Вячеславовна, доктор медицинских наук, профессор, профессор кафедры физической культуры и безопасности жизнедеятельности

Ивановский государственный университет

ул. Ермака, 39, г. Иваново, 153025, Российская Федерация
aktmecentr@mail.ru

Прияткин Данила Андреевич, студент, врач-ординатор

*Ивановская государственная медицинская академия
Шереметевский просп., 8, г. Иваново, 153012, Российская Федерация
danilapritkin@gmail.com*

DATA ABOUT THE AUTHORS

Elena A. Shmeleva, Dr. Sci. (Psychology), Associate Professor, Professor of the Department of Psychology and Social Pedagogy; Professor of the Department of Physical Culture, Sports and Healthy Lifestyle
Ivanovo State University; Russian State Social University; Ivanovo Fire and Rescue Academy of the State Fire Service of the Ministry of the Russian Federation for Civil Defense, Emergencies and Elimination of Consequences of Natural Disasters

24, Kooperativnaya Str., Shuya, 155508, Russian Federation; 4/1, V. Pika Str., Moscow, 129226, Russian Federation; 33, Stroiteley Ave., Ivanovo, 153040, Russian Federation

noc_shmeleva@mail.ru

SPIN-code: 3992-6436

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4698-5226>

ResearcherID: H-7821-2016

Scopus Author ID: 56375922700

Pavel A. Kislyakov, Dr. Sci. (Psychology), Associate Professor, Professor of the Department of Psychology, Conflictology and Behavioral; Chief Scientific Officer

Russian State Social University; Research Institute of the Federal Penitentiary Service (FKU Research Institute of the Federal Penitentiary Service of Russia)

4/1, V. Pika Str., Moscow, 129226, Russian Federation; 14, Zhitnaya Str., Moscow, 119991, Russian Federation

pack.81@mail.ru

SPIN-code: 1375-5625

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1238-9183>

Researcher ID: E-4701-2016

Scopus Author ID: 56348736600

Tatiana V. Karaseva, Doctor of Medical Sciences, Professor, Professor of the Department of Physical Culture and Life Safety

Ivanovo State University

39, Ermak Str., Ivanovo, 153025, Russian Federation

akmecentr@mail.ru

SPIN-code: 6817-9156,

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0708-7423>

Scopus Author ID: 7003527902

Danila A. Prijatkin, Resident Doctor

Ivanovo State Medical Academy

8, Sheremetyevo Ave., Ivanovo, 153012, Russian Federation

danilapritkin@gmail.com

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3084-6384>

Поступила 10.01.2024

После рецензирования 23.02.2023

Принята 29.02.2023

Received 10.01.2024

Revised 23.02.2023

Accepted 29.02.2023

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	полуторный
Отступ первой строки абзаца	1,25 см
Выравнивание текста	по ширине
Автоматическая расстановка переносов	включена
Нумерация страниц	не ведется
Формулы	в редакторе формул MS Equation 3.0
Рисунки	по тексту
Ссылки на формулу	(1)
Ссылки на литературу	[2, с.5], цитируемая литература приводится общим списком в конце статьи в порядке упоминания

**ЗАПРЕЩАЕТСЯ ИСПОЛЬЗОВАТЬ
ССЫЛКИ-СНОСКИ ДЛЯ УКАЗА-
НИЯ ИСТОЧНИКОВ**

Обязательная структура статьи

УДК

ЗАГЛАВИЕ (на русском языке)

Автор(ы): фамилия и инициалы (на русском языке)

Аннотация (на русском языке)

Ключевые слова: отделяются друг от друга точкой с запятой
(на русском языке)

ЗАГЛАВИЕ (на английском языке)

Автор(ы): фамилия и инициалы (на английском языке)

Аннотация (на английском языке)

Ключевые слова: отделяются друг от друга точкой с запятой
(на английском языке)

Текст статьи (на русском языке)

1. Введение.

2. Цель работы.

3. Материалы и методы исследования.

4. Результаты исследования и их обсуждение.

5. Заключение.

6. Информация о конфликте интересов.

7. Информация о спонсорстве.

8. Благодарности.

Список литературы

Библиографический список по ГОСТ Р 7.05-2008

References

Библиографическое описание согласно требованиям журнала

ДАННЫЕ ОБ АВТОРАХ

Фамилия, имя, отчество полностью, должность, ученая степень, ученое звание

Полное название организации – место работы (учебы) в именительном падеже без составных частей названий организаций, полный юридический адрес организации в следующей последовательности: улица, дом, город, индекс, страна (на русском языке)

Электронный адрес

SPIN-код в SCIENCE INDEX:

DATA ABOUT THE AUTHORS

Фамилия, имя, отчество полностью, должность, ученая степень, ученое звание

Полное название организации – место работы (учебы) в именительном падеже без составных частей названий организаций, полный юридический адрес организации в следующей последовательности: дом, улица, город, индекс, страна (на английском языке)

Электронный адрес

AUTHOR GUIDELINES

Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture is a multi-field dedicated peer reviewed scientific journal designed to promote both fundamental and applied regional achievements in the field of medicine, biology, agriculture and related sciences on the territory of the Russian Federation and abroad.

Requirements for the articles to be published

Volume of the manuscript	7-24 pages A4 format, including tables, figures, references; for post-graduates pursuing degrees of candidate and doctor of sciences – 7–10.
Margins	all margins –20 mm each
Main text font	Times New Roman
Main text size	14 pt
Line spacing	1.5 interval
First line indent	1,25 cm
Text align	justify
Automatic hyphenation	turned on
Page numbering	turned off
Formulas	in formula processor MS Equation 3.0
Figures	in the text
References to a formula	(1)
References to the sources	[2, p.5], references are given in a single list at the end of the manuscript in the order in which they appear in the text

DO NOT USE FOOTNOTES
AS REFERENCES

Article structure requirements

TITLE (in English)

Author(s): surname and initials (in English)

Abstract (in English)

Keywords: separated with semicolon (in English)

Text of the article (in English)

1. Introduction.

2. Objective.

3. Materials and methods.

4. Results of the research and Discussion.

5. Conclusion.

6. Conflict of interest information.

7. Sponsorship information.

8. Acknowledgments.

References

References text type should be Chicago Manual of Style

DATA ABOUT THE AUTHORS

Surname, first name (and patronymic) in full, job title, academic degree, academic title

Full name of the organization – place of employment (or study) without compound parts of the organizations' names, full registered address of the organization in the following sequence: street, building, city, postcode, country

E-mail address

SPIN-code in SCIENCE INDEX:

СОДЕРЖАНИЕ

ФИЗИОЛОГИЯ ЧЕЛОВЕКА И ЖИВОТНЫХ

- ИССЛЕДОВАНИЕ НЕЙТРОФИЛОВ
ПРИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОМ СТРЕССЕ У КОРОВ МЕТОДАМИ
ЛАЗЕРНОЙ ИНТЕРФЕРЕНЦИОННОЙ И ЭЛЕКТРОННОЙ
СКАНИРУЮЩЕЙ МИКРОСКОПИЙ
А.В. Дерюгина, М.Н. Иващенко, В.Б. Метелин,
Р.С. Ковылин, П.С. Игнатьев 11

- ОЦЕНКА ГЕМОСОВМЕСТИМОСТИ НАНОСТРУКТУР
В МОДЕЛЬНОЙ СИСТЕМЕ IN VITRO
Е.В. Невзорова, В.В. Немцова, А.А. Беляев 28

ФИЗИОЛОГИЯ И БИОХИМИЯ РАСТЕНИЙ

- РЕАЛЬНАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ФОТОСИСТЕМЫ PSII ERUCA
SATIVA ПОД РАЗЛИЧНЫМ МОНОХРОМНЫМ ОСВЕЩЕНИЕМ
Ю.Н. Кульчин, А.С. Холин, С.О. Кожанов,
Е.П. Субботин, К.В. Ковалевский, Н.И. Субботина,
А.С. Гомольский 50

ЭКОЛОГИЯ, ПОЧВОВЕДЕНИЕ И ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЕ

- ВЛИЯНИЕ РАЗНЫХ ДОЗ СОЛОМЫ И НАВОЗА
В СИСТЕМАХ С ЧЕРВЯМИ *Eisenia fetida* НА ПОКАЗАТЕЛИ РОСТА
РАСТЕНИЙ САЛАТА И КАЧЕСТВО СУБСТРАТА
Т.И. Зюбанова, О.М. Минаева, Е.Е. Акимова,
М.Е. Кириллова, Н.Н. Терещенко 70
- РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ ПРИМЕНЕНИЯ БПЛА ДЛЯ АНАЛИЗА
КАЧЕСТВЕННОГО СОСТОЯНИЯ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ
УГОДИЙ САХАЛИНСКОЙ ОБЛАСТИ
С.В. Абрамова, Е.Н. Бояров, А.Ю. Соболев 93

ЦИТОГЕНЕТИЧЕСКИЕ ЭФФЕКТЫ γ -РАДИАЦИИ
В КЛЕТКАХ КОРНЕВОЙ МЕРИСТЕМЫ *ALLIUM CEPA*

М.В. Смирнова, А.А. Смирнов 113

ИССЛЕДОВАНИЯ ВЛИЯНИЯ ОРГАНИЧЕСКИХ
ОТХОДОВ НА УРОЖАЙНОСТЬ РЕДЬКИ МАСЛИЧНОЙ
НА МАЛОПРОДУКТИВНЫХ И ДЕГРАДИРОВАННЫХ ЗЕМЛЯХ
С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ИНФОРМАЦИОННО-ЛОГИЧЕСКОГО
АНАЛИЗА

А.В. Тиньгаев, А.С. Давыдов, Ю.В. Чепрунова 126

БИОИНДИКАЦИОННЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ ФОНОВЫХ ВИДОВ
РАСТЕНИЙ ПРИРОДНИКОВЫХ УРОЧИЩ КАК ОСНОВА
ПРОСПЕКТИВНОГО БИОМОНИТОРИНГА

О.А. Соболева, Е.В. Ноздрачева, Л.Н. Анищенко 142

**БИОХИМИЯ, ГЕНЕТИКА
И МОЛЕКУЛЯРНАЯ БИОЛОГИЯ**

ИССЛЕДОВАНИЕ АЛЬБУМИНА, С-РЕАКТИВНОГО БЕЛКА
И КАЛЬПРОТЕКТИНА КАК НЕИНВАЗИВНЫХ ИНДИКАТОРОВ
ДЛЯ ДИАГНОСТИКИ И ДИФФЕРЕНЦИРОВКИ
ВОСПАЛИТЕЛЬНЫХ ЗАБОЛЕВАНИЙ КИШЕЧНИКА

**Aamer M. Ali, Hayder H. Abed, Eman Mobder Nayif,
Hamzah Abdulrahman Salman** 166

ВОЗДЕЙСТВИЕ ФАКТОРОВ ТЕХНОГЕННОГО
ЗАГРЯЗНЕНИЯ ВОЗДУШНОЙ СРЕДЫ НА ИММУННУЮ
СИСТЕМУ ПРИ ЗАБОЛЕВАНИЯХ ОРГАНОВ ДЫХАНИЯ

Л.В. Веремчук, Т.И. Виткина, Е.В. Кондратьева 182

**ЗЕМЛЕДЕЛИЕ
И ЗАЩИТА РАСТЕНИЙ**

ASSESSMENT OF LAND RESOURCES EVALUATION BASED
ON LAND CAPACITY AND FERTILITY PERSPECTIVES
FOR AGRICULTURAL COMMODITIES IN LESTI SUB-WATERSHED

Maroeto, Rossyda Priyadarshini, Wahyu Santoso 198

ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ВЫДЕЛЕННЫХ
В ВОСТОЧНОЙ СИБИРИ ГРИБОВ РОДА *TRICHODERMA*
ПРОТИВ ФИТОПАТОГЕНОВ

В.Е. Кузнецова, Е.А. Матвеева, Л.А. Беловежец 213

ВЛИЯНИЕ КОМПЛЕКСНЫХ ПРЕПАРАТОВ
НА ОСНОВЕ ГИДРОГЕЛЯ И КУЛЬТУРЫ ФОСФАТМОБИЛИЗУЮЩИХ
БАКТЕРИЙ *BACILLUS MYCOIDES* A7 НА РОСТ ТОМАТОВ
В УСЛОВИЯХ СВЕТОКУЛЬТУРЫ

А.Д. Елисеева, А.Ю. Максимов 239

СОДЕРЖАНИЕ И ДИНАМИКА ПОСТУПЛЕНИЯ В ПОЧВУ
ОСНОВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ПИТАНИЯ В РАСТИТЕЛЬНЫХ
ОСТАТКАХ И ЗЕРНЕ ПОЛЕВЫХ КУЛЬТУР

Е.В. Семинченко 253

АГРОХИМИЯ И АГРОПОЧВОВЕДЕНИЕ

ПРАКТИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ
ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО БИОПРЕПАРАТА
ПРИ ВЫРАЩИВАНИИ ЯЧМЕНЯ

**А.В. Платонов, И.И. Рассохина, Л.А. Ильина,
Е.А. Ыылдырым, Г.Ю. Лаптев** 271

САДОВОДСТВО И ЛЕСОВОДСТВО

ПРОЛОНГИРОВАННОЕ ВЛИЯНИЕ КОРНЕВОЙ ПОДКОРМКИ
СТИМУЛЯТОРАМИ РОСТА ЦИРКОН И ЭПИН ОДНО-ДВУЛЕТНИХ
САЖЕНЦЕВ ЛИСТВЕННИЦЫ КАЯНДЕРА (*LARIX CAJANDERY*
MAYR.) НА ИХ РОСТ В 15-ЛЕТНЕМ ВОЗРАСТЕ

В.Ю. Острошенко, Л.Ю. Острошенко 292

ЗДРАВООХРАНЕНИЕ И ПРОФИЛАКТИЧЕСКАЯ МЕДИЦИНА

ПОЛОВЫЕ ОСОБЕННОСТИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ
ПОДКОЖНОЙ ЖИРОВОЙ ТКАНИ У СЛАВЯНСКОГО
НАСЕЛЕНИЯ ЯКУТИИ 17-35 ЛЕТ

А.Б. Гурьева, А.А. Осинская 314

РОЛЬ ХРОНИЧЕСКОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ ДИОКСИНОВ В ФОРМИРОВАНИИ ЖИРОВОЙ ДЕГЕНЕРАЦИИ ПЕЧЕНИ У ПОЖАРНЫХ В.Ю. Гацура, Л.Е. Дерягина, Е.Г. Сухотерина, В.Л. Рейнюк, А.О. Пятибрат, Е.Д. Пятибрат	328
ОЦЕНКА УРОВНЕЙ ВИТАМИНА D У ПАЦИЕНТОВ С ПАТЕЛЛОФЕМОРАЛЬНЫМ БОЛЕВЫМ СИНДРОМОМ У.А. Гусейнова, В.В. Козлов	349
СВЯЗЬ ПСИХОЛОГИЧЕСКИХ ОСОБЕННОСТЕЙ ПАЦИЕНТОВ С РАКОМ ЛЕГКОГО С РАННЕЙ ДИАГНОСТИКОЙ И ПОСЛЕДУЮЩИМ ТЕЧЕНИЕМ ОНКОЗАБОЛЕВАНИЯ Д.А. Циринг, Я.Н. Пахомова, И.В. Пономарева, А.И. Кузнецова	359
КЛИНИКО-АНАМНЕСТИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ПСОРИАЗА У ВЗРОСЛЫХ ЛИЦ ГОРОДА БАКУ П.Г. Манафов	377
УРОВЕНЬ ТРЕВОЖНОСТИ У ДЕВУШЕК С РАЗЛИЧНОЙ МАССОЙ ТЕЛА Н.Н. Тятенкова, А.М. Брагина, А.С. Спивак	388
МЕЖДИСЦИПЛИНАРНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ	
ПРОДУКТЫ ПЕРЕРАБОТКИ ЗЕРНА АМАРАНТА КАК ИСТОЧНИКИ РАСТИТЕЛЬНОГО БЕЛКА, КРАХМАЛА, ЖИРА И АНТИОКСИДАНТА Р.Х. Кандроков, К.С. Бекшоков, П.А. Бекшокова	403
ДЕТЕКЦИЯ ОСОБЕЙ ОЛЕНЕЙ НА ИЗОБРАЖЕНИЯХ ДЛЯ УЧЕТА ЧИСЛЕННОСТИ ПОПУЛЯЦИЙ МЕТОДАМИ КОМПЬЮТЕРНОГО ЗРЕНИЯ С.Н. Терещенко, А.Л. Осипов, Е.Д. Моисеева	431
ПРОФЕССИОНАЛЬНАЯ ЖИЗНЕСТОЙКОСТЬ И ПСИХОЛОГИЧЕСКАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ МЕДИЦИНСКИХ РАБОТНИКОВ Е.А. Шмелева, П.А. Кисляков, Т.В. Карасева, Д.А. Прияткин	450
ПРАВИЛА ДЛЯ АВТОРОВ	481

CONTENTS

HUMAN AND ANIMAL PHYSIOLOGY

INVESTIGATION OF NEUTROPHILS UNDER TECHNOLOGICAL
STRESS IN COWS BY METHODS OF LASER INTERFERENCE
AND ELECTRON SCANNING MICROSCOPY

**A.V. Deryugina, M.N. Ivashchenko, V.B. Metelin,
R.S. Kovylin, P.S. Ignatiev** 11

EVALUATION OF THE HEMOCOMPATIBILITY
OF NANOSTRUCTURES ON IN VITRO MODEL SYSTEMS

E.V. Nevzorova, V.V. Nemtsova, A.A. Belyaev 28

PLANT PHYSIOLOGY AND BIOCHEMISTRY

THE ERUCA SATIVA PSII OPERATING EFFICIENCY UNDER
DIFFERENT MONOCHROMATIC LIGHT

**Y.N. Kulchin, A.S. Kholin, S.O. Kozhanov, E.P. Subbotin,
K.V. Kovalevsky, N.I. Subbotina, A.S. Gomolsky** 50

ECOLOGY, SOIL SCIENCE AND NATURE MANAGEMENT

EFFECT OF VARIOUS STRAW/MANURE RATIOS
IN SYSTEMS WITH EARTHWORMS *Eisenia fetida* ON LETTUCE
GROWTH PARAMETERS AND SUBSTRATE QUALITY

**T.I. Zyubanova, O.M. Minaeva, E.E. Akimova,
M.E. Kirillova, N.N. Tereshchenko** 70

DEVELOPMENT OF A METHODOLOGY FOR THE APPLICATION
OF UAVS FOR ANALYSIS OF THE QUALITATIVE STATE
OF AGRICULTURAL LANDS IN THE SAKHALIN REGION

S.V. Abramova, E.N. Boyarov, A. Yu. Sobolev 93

CYTOGENETIC EFFECTS Y-RADIATION IN THE CELLS
OF THE ROOT MERISTEM OF *ALLIUM CEPA*

M.V. Smirnova, A.A. Smirnov 113

RESEARCH ON THE IMPACT OF ORGANIC WASTE ON OILSEED
RADISH YIELD ON LOW-PRODUCTIVE AND DEGRADED LANDS
USING INFORMATION-LOGIC ANALYSIS

A.V. Tingaev, A.S. Davydov, Y.V. Cheprunova 126

TO THE BIOINDICATION INDICATORS OF BACKGROUND PLANT
SPECIES IN NATURAL STOCKS AS THE BASIS OF PROSPECTIVE
BIOMONITORING

O.A. Soboleva, E.V. Nozdracheva, L.N. Anishchenko 142

**BIOCHEMISTRY, GENETICS
AND MOLECULAR BIOLOGY**

STUDY OF ALBUMIN, C-REACTIVE PROTEIN AND CALPROTECTIN
AS NON-INVASIVE INDICATORS FOR THE DIAGNOSIS
AND DIFFERENTIATION OF INFLAMMATORY BOWEL DISEASE

**Aamer M. Ali, Hayder H. Abed, Eman Mobder Nayif,
Hamzah Abdulrahman Salman** 166

IMPACT OF TECHNOGENIC AIR POLLUTION FACTORS
ON THE IMMUNE SYSTEM IN RESPIRATORY DISEASES

L.V. Veremchuk, T.I. Vitkina, E.V. Kondratyeva 182

SOIL FERTILITY AND PLANT PROTECTION

ASSESSMENT OF LAND RESOURCES EVALUATION BASED
ON LAND CAPACITY AND FERTILITY PERSPECTIVES
FOR AGRICULTURAL COMMODITIES IN LESTI SUB-WATERSHED

Maroeto, Rossyda Priyadarshini, Wahyu Santoso 198

THE PROSPECTS OF EASTERN SIBERIA *TRICHODERMA* FUNGI
FOR PHYTOPATHOGEN CONTROL

V.E. Kuznetsova, E.A. Matveeva, L.A. Belovezhets 213

THE INFLUENCE OF COMPLEX PREPARATIONS BASED
ON HYDROGEL AND CULTURE OF PHOSPHATE-MOBILIZING
BACTERIA *BACILLUS MYCOIDES* A7 ON TOMATO GROWTH
UNDER LIGHT CULTURE

A.D. Eliseeva, A.Yu. Maksimov 239

THE CONTENT AND DYNAMICS OF THE ENTRY INTO THE SOIL OF THE MAIN NUTRIENTS IN PLANT RESIDUES AND GRAINS OF FIELD CROPS E.V. Semenchenko	253
--	-----

AGROCHEMISTRY AND AGRICULTURAL SOIL SCIENCE

SUBSTANTIATION OF THE POSSIBILITY OF USING AN EXPERIMENTAL BIOLOGICAL PREPARATION IN BARLEY CULTIVATION A.V. Platonov, I.I. Rassokhina, L.A. Ilina, E.A. Yildirim, G.Yu. Laptev	271
---	-----

HORTICULTURE AND FORESTRY

THE PROLONGED INFLUENCE OF ROOT DRESSING OF CAJANDER LARCH (<i>LARIX CAJANDERY</i> MAYR.) ANNUAL AND BIENNIAL SEEDLINGS WITH THE GROWTH STIMULANTS ZIRCON AND EPIN ON THEIR GROWTH AT FIFTEEN YEARS OF AGE V.Yu. Ostroshenko, L.Yu. Ostroshenko	292
---	-----

PUBLIC HEALTH AND PREVENTIVE MEDICINE

SEXUAL CHARACTERISTICS OF THE DISTRIBUTION OF SUBCUTANEOUS ADIPOSE TISSUE IN THE SLAV POPULATION OF YAKUTIA AGED 17-35 YEARS A.B. Guryeva, A.A. Osinskaya	314
---	-----

FEATURES OF THE FORMATION OF FATTY LIVER DEGENERATION IN CHRONIC EXPOSURE TO TOXIC FIRE PRODUCTS IN FIREFIGHTERS V.Y. Gatsura, L.E. Deryagina, E.G. Sukhoterina, V.L. Reynyuk, A.O. Pyatibrat, E.D. Pyatibrat	328
---	-----

ASSESSMENT OF THE LEVEL OF PAIN IN THE TREATMENT OF PLANTAR FASCIITIS BY EXTRACORPOREAL SHOCK WAVE THERAPY U.A. Huseynova, V.V. Kozlov	349
--	-----

THE RELATIONSHIP OF PSYCHOLOGICAL CHARACTERISTICS
OF PATIENTS WITH LUNG CANCER WITH EARLY DIAGNOSIS
AND SUBSEQUENT TREATMENT OF CANCER

**D.A. Tsiring, Ya.N. Pakhomova, I.V. Ponomareva,
A.I. Kuznetsova** 359

THE CLINIC-ANAMNESTIC FEATURES OF PSORIASIS
AT ADULT PERSONS IN BAKU

P.G. Manafov 377

LEVEL OF ANXIETY OF YOUNG WOMEN WITH DIFFERENT
BODY WEIGHT

N.N. Tyatenkova, A.M. Bragina, A.S. Spivak 388

INTERDISCIPLINARY RESEARCH

AMARANTH GRAIN PROCESSING PRODUCTS AS SOURCES
OF PLANT PROTEIN, STARCH, FAT, AND ANTIOXIDANT

R.Kh. Kandrov, K.S. Bekshokov, P.A. Bekshokova 403

DETECTION OF DEER IN IMAGES TO ACCOUNT POPULATIONS
BY COMPUTER VISION METHODS

S.N. Tereshchenko, A.L. Osipov, E.D. Moiseeva 431

PROFESSIONAL RESILIENCE AND PSYCHOLOGICAL SAFETY
OF MEDICAL WORKERS

E.A. Shmeleva, P.A. Kislyakov, T.V. Karaseva, D.A. Prijatkin 450

RULES FOR AUTHORS 481

Подписано в печать 30.04.2024. Дата выхода в свет 30.04.2024. Формат 60x84/16. Усл. печ. л. 35,19. Тираж 5000 экз. Свободная цена. Заказ SJLSA162/024. Отпечатано с готового оригинал-макета в типографии «Издательство «Авторская Мастерская». Адрес типографии: ул. Пресненский Вал, д. 27 стр. 24, г. Москва, 123557 Россия.