

НАУЧНОЕ ОБОЗРЕНИЕ • БИОЛОГИЧЕСКИЕ НАУКИ № 4

SCIENTIFIC REVIEW • BIOLOGICAL SCIENCES 2025

*Журнал «Научное обозрение. Биологические науки»
зарегистрирован Федеральной службой
по надзору в сфере связи, информационных
технологий и массовых коммуникаций.
Свидетельство ПИ № ФС77-57454
выдано 27.03.2014
ISSN 2500-3399*

**Двухлетний импакт-фактор РИНЦ – 0,670
Пятилетний импакт-фактор РИНЦ – 0,351**

*Учредитель, издатель и редакция:
ООО НИЦ «Академия Естествознания»*

*Почтовый адрес: 101000, г. Москва, а/я 47
Адрес учредителя, издателя: 410056, г. Саратов,
ул. им. Чапаева В.И., д. 56
Адрес редакции: 410035, г. Саратов,
ул. Мамонтовой, д. 5*

**Founder, publisher and edition:
LLC SPC Academy of Natural History**

**Post address: 101000, Moscow, p.o. box 47
Founder's, publisher's address: 410056, Saratov,
56 Chapaev V.I. str.
Editorial address: 410035, Saratov,
5 Mamontovoi str.**

*Подписано в печать 30.12.2025
Дата выхода номера 30.01.2026
Формат 60×90 1/8*

*Типография
ООО НИЦ «Академия Естествознания»,
410035, г. Саратов, ул. Мамонтовой, д. 5*

**Signed in print 30.12.2025
Release date 30.01.2026
Format 60×90 8.1**

**Typography
LLC SPC «Academy Of Natural History»
410035, Saratov, 5 Mamontovoi str.**

*Технический редактор Доронкина Е.Н.
Корректор Галенкина Е.С., Дудкина Н.А.*

*Распространяется по свободной цене
Тираж 1000 экз. Заказ НО 2025/4*

© ООО НИЦ «Академия Естествознания»

Журнал «НАУЧНОЕ ОБОЗРЕНИЕ» выходил с 1894 по 1903 год в издательстве П.П. Сойкина. Главным редактором журнала был Михаил Михайлович Филиппов. В журнале публиковались работы Ленина, Плеханова, Циолковского, Менделеева, Бехтерева, Лесгафта и др.

Journal «Scientific Review» published from 1894 to 1903. P.P. Soykin was the publisher. Mikhail Filippov was the Editor in Chief. The journal published works of Lenin, Plekhanov, Tsiolkovsky, Mendeleev, Bekhterev, Lesgaft etc.



М.М. Филиппов (M.M. Philippov)

С 2014 года издание журнала возобновлено
Академией Естествознания

**From 2014 edition of the journal resumed
by Academy of Natural History**

Главный редактор: Н.Ю. Стукова

Editor in Chief: N.Yu. Stukova

НАУЧНОЕ ОБОЗРЕНИЕ • БИОЛОГИЧЕСКИЕ НАУКИ

SCIENTIFIC REVIEW • BIOLOGICAL SCIENCES

www.science-education.ru

2025 г.



***В журнале представлены научные обзоры,
статьи проблемного
и научно-практического характера***

***The issue contains scientific reviews,
problem and practical scientific articles***

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

д.б.н., проф. Абдуллаев Абдуманон (Душамбе), д.т.н., к.ф.-м.н., проф. Айдосов Аллаярбек (Алматы), д.м.н., проф. Аксенова В.А. (Москва), д.м.н., проф. Аллахвердиев А.Р. (Баку), д.б.н., проф. Аллахвердиев С.Р. (Москва), д.м.н., проф. Ананьев В.Н. (Москва), д.т.н., проф. Артюхова С.И. (Пушино), д.м.н., доцент Барышева Е.С. (Оренбург), д.б.н., к.с.-х.н., доцент Белоус О.Г. (Сочи), д.б.н., проф. Белых О.А. (Иркутск), д.м.н., проф. Бриль Г.Е. (Саратов), д.б.н., проф. Буданцев А.Ю. (Пушино), д.б.н., проф. Бударков В.А. (Вольгинский), д.б.н., проф. Ворсанова С.Г. (Москва), д.м.н. Гансбургский А.Н. (Ярославль), д.б.н. Гемеджиева Н.Г. (Алматы), д.м.н., проф. Герасимова Л.И. (Чебоксары), д.б.н., доцент Годин В.Н. (Москва), д.б.н., проф. Гречитаева М.В. (Белгород), д.с.-х.н., к.б.н., проф. Дементьев М.С. (Ставрополь), д.м.н., доцент Евстропов В.М. (Ростов-на-Дону), д.м.н. Извин А.И. (Тюмень), д.б.н. Кавцевич Н.Н. (Мурманск), д.б.н., проф. Калаев В.Н. (Воронеж), д.м.н., к.т.н., проф. Кику П.Ф. (Владивосток), д.б.н., доцент Князева О.А. (Уфа), д.м.н. Косарева П.В. (Пермь), д.б.н. Ларионов М.В. (Балашов), д.б.н. Лебедева С.Н. (Улан-Удэ), д.б.н., д.м.н. Медведев И.Н. (Москва), д.б.н. Мосягин В.В. (Курск), д.б.н. Околенова А.А. (Волгоград), д.с.-х.н., проф. Партоев Курбонали (Душамбе), д.б.н. Петраш В.В. (Санкт-Петербург), д.т.н. Похиленко В.Д. (Оболensk), д.м.н., проф. Пучиньян Д.М. (Саратов), д.б.н. Романова Е.Б. (Нижний Новгород), д.м.н. Самигулли А.Э. (Бишкек), д.б.н., проф. Сафонов М.А. (Оренбург), д.м.н., проф. Сентюрова Л.Г. (Астрахань), д.б.н. Симонович Е.И. (Ростов-на-Дону), д.б.н. Смирнов А.А. (Магадан), д.б.н., проф. Соловых Г.Н. (Оренбург), д.м.н., проф. Сомова Л.М. (Владивосток), д.б.н., проф. Тамбовцева Р.В. (Москва), д.б.н., доцент Хацаева Р.М. (Москва), д.м.н., доцент Хворостухина Н.Ф. (Саратов), д.б.н. Хованский И.Е. (Хабаровск), д.б.н. Шабдарбаева Г.С. (Алматы), д.б.н., проф. Шалпыков К.Т. (Бишкек), д.б.н., проф. Юров И.Ю. (Москва)

СОДЕРЖАНИЕ

Биологические науки

СТАТЬИ

ИЗМЕНЕНИЕ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ПОЧВ ПОД ВОЗДЕЙСТВИЕМ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ (НА ПРИМЕРЕ САРИАСИЙСКОГО, УЗУНСКОГО, ДЕНАУСКОГО РАЙОНОВ СУРХАНДАРЬИНСКОЙ ОБЛАСТИ РЕСПУБЛИКИ УЗБЕКИСТАН)	
<i>Жобборов Б.Т., Абдушикурова М.Р., Шакаров Ф.Б.</i>	7
ВЛИЯНИЕ ФИТОПРЕПАРАТОВ НА ОСНОВЕ <i>ACHILLEA MILLEFOLIUM</i> L. И <i>ACHILLEA ARABICA</i> KOTSCHY НА ФАГОЦИТАРНУЮ АКТИВНОСТЬ И ПОКАЗАТЕЛИ КРОВИ У ОВЕЦ, ЗАРАЖЕННЫХ МОНИЕЗИОЗОМ	
<i>Истамкулова М.М., Даминов А.С., Келдияров Х.О., Душанова Г.А.</i>	13
СРАВНИТЕЛЬНАЯ ПОЛУКОЛИЧЕСТВЕННАЯ ОЦЕНКА НАКОПЛЕНИЯ МИКРОЧАСТИЦ ПЛАСТИКА РАЗМЕРОМ 100 И 1000 НМ В ЛЕГКИХ КРЫСЫ ПОСЛЕ ОДНОКРАТНОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ	
<i>Каримов Д.О., Хуснутдинова Н.Ю., Смолянкин Д.А., Гизатуллина А.А., Ахмадеев А.Р., Мухаммадиева Г.Ф., Рябова Ю.В.</i>	22
ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ КОРМОВОГО РАЦИОНА И ВЛИЯНИЕ МОЛОЧНОЙ СЫВОРОТКИ НА ПЕРЕВАРИВАНИЕ ПИТАТЕЛЬНЫХ ВЕЩЕСТВ	
<i>Кузиев М.С., Эргашев Д.У.</i>	28
СОЗДАНИЕ БИОЛОГИЧЕСКИ ЭФФЕКТИВНОГО ТЕРМИТОЦИДНОГО ПРЕПАРАТА ИЗ РАСТЕНИЯ <i>RINDERA TETRASPIS</i>	
<i>Хашимова М.Х., Ганиева З.А., Рустамов К.Ж., Мирзаева Г.С., Ембергенов М.А., Мукаррамов Н.И., Олимова Х.Н.</i>	34
ВОЗРАСТНЫЕ ОСОБЕННОСТИ СИСТЕМЫ КРОВООБРАЩЕНИЯ У БАЙДАРЧНИКОВ И КАНОИСТОВ 18–21 ЛЕТ ПРИ ТРЕНИРОВКАХ В УСЛОВИЯХ ЖАРКОГО КЛИМАТА	
<i>Хужабеков М.А.</i>	40
РАСПРОСТРАНЕНИЕ И ИННОВАЦИОННЫЙ ПОТЕНЦИАЛ ЛЕКАРСТВЕННОГО ГРИБА <i>TRAMETES VERSICOLOR</i> (L.) LLOYD В УЗБЕКИСТАНЕ	
<i>Шеркулова Ж.П., Мустафаев И.М., Узаков З.З.</i>	46
ФАУНА ФИТОНЕМАТОД ВИНОГРАДНИКОВ АНДИЖАНСКОЙ ОБЛАСТИ	
<i>Эргашева Н.С., Абдурахманова Г.А.</i>	52
ОСНОВНЫЕ СВОЙСТВА ОРОШАЕМЫХ ТИПИЧНЫХ СЕРОЗЕМОВ, РАСПРОСТРАНЕННЫХ В ПАРКЕНТСКОМ РАЙОНЕ ТАШКЕНТСКОЙ ОБЛАСТИ	
<i>Гулимов К.Х., Баходиров З.А., Ахмедов А.У.</i>	58

ИЗУЧЕНИЕ ДЕЙСТВИЯ ИНТАКТНЫХ БАКТЕРИЙ И ИХ ВТОРИЧНЫХ
МЕТАБОЛИТОВ НА РАЗНЫЕ СТАДИИ ЖИЗНЕННОГО ЦИКЛА
ПОЧВЕННОЙ НЕМАТОДЫ *CAENORHABDITIS ELEGANS*

Калинникова Т.Б., Егорова А.В., Гатиятуллина А.Ф., Фролов М.Д., Валидов Ш.З. 65

МЕТОДЫ СНИЖЕНИЯ УЧАСТИЯ В БИОЗАЩИТЕ
SPERMOPHILUS FULVUS, ВСТРЕЧАЮЩЕГОСЯ В ЮЖНЫХ
РАЙОНАХ УЗБЕКИСТАНА

Турсунов О.Т. 72

НАУЧНЫЙ ОБЗОР

ПРИМЕНЕНИЕ ХИТИНОЛИТИЧЕСКИХ ФЕРМЕНТОВ
ДЛЯ МОДИФИКАЦИИ ХИТИНА И ХИТОЗАНА

Рысакова К.С., Новиков В.Ю. 77

СТАТЬИ

ГЕЛЬМИНТОЛОГИЧЕСКАЯ И ЭПИЗООТОЛОГИЧЕСКАЯ
ХАРАКТЕРИСТИКА АКАНТОЦЕФАЛОВ АМФИБИЙ СЕМЕЙСТВ
BUFONIDAE И *RANIDAE* ЮЖНОГО УЗБЕКИСТАНА

Алиев Ш.Т., Амиров О.О. 85

ИЗМЕНЕНИЕ МОРФОЛОГИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ПОЧВЕННО-
ГРУНТОВЫХ СЛОЕВ ВОСТОЧНОЙ ЧАСТИ ВЫСОХШЕГО ДНА
АРАЛЬСКОГО МОРЯ, А ТАКЖЕ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ЕС, дС/м И pH

Жаббаров З.А., Махаммадиев С.К., Номозов У.М., Имомов О.Н.,
Махкамова Д.Ю., Абдуллаев Ш.З., Соатов Г.Т., Абдукаримов Ж.Ж. 93

МОНИТОРИНГ СОСТОЯНИЯ ПОПУЛЯЦИИ *NUMPHOIDES PELTATA*
(S.G. GMEL.) O. KUNTZE В АРХАНГЕЛЬСКОЙ ОБЛАСТИ

Марковская Е.Ф., Дьячкова Т.Ю., Морозова К.В. 103

ФАУНИСТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ И БИОЭКОЛОГИЧЕСКИЕ
ОСОБЕННОСТИ РЫБ РЕКИ ИСФАЙРАМСАЙ

Гафурова С.О., Назаров М.Ш., Мирзахалилов М.М., Мукимов М.А. 109

ХАРАКТЕРИСТИКА ФИТОПЛАНКТОНА СОЛОНОВАТОГО ОЗЕРА
(ЧЕЛЯБИНСКАЯ ОБЛАСТЬ, ОЗЕРО БОЛЬШОЕ КЕСЕНЕ)

Саган В.В., Кравцова А.В., Сташкевич Д.С., Ковалева А.П., Баикатова К.Ю. 115

CONTENTS

Biological sciences

ARTICLES

CHANGES IN THE ECOLOGICAL STATE OF SOILS UNDER
THE INFLUENCE OF HEAVY METALS (ON THE EXAMPLE
OF SARIASI, UZUN, DENAU DISTRICTS OF THE SURKHAN-
DARYA REGION OF THE REPUBLIC OF UZBEKISTAN)

Zhobborov B.T., Abdushukurova M.R., Shakarov F.B. 7

EFFECT OF HERBAL PREPARATIONS BASED ON *ACHILLEA*
MILLEFOLIUM L. AND *ACHILLEA ARABICA* KOTSCHY
ON PHAGOCYTIC ACTIVITY AND BLOOD PARAMETERS
IN SHEEP INFECTED WITH MONIESIOSIS

Istamkulova M.M., Daminov A.S., Keldiyarov Kh.O., Dushanova G.A. 13

COMPARATIVE SEMI-QUANTITATIVE ASSESSMENT
OF THE ACCUMULATION OF 100 NM AND 1000 NM
POLYSTYRENE MICROPARTICLES IN RAT LUNG
TISSUE FOLLOWING A SINGLE EXPOSURE

*Karimov D.O., Khusnutdinova N.Yu., Smolyankin D.A., Gizatullina A.A.,
Akhmadeev A.R., Mukhammadieva G.F., Ryabova Yu.V.* 22

CHEMICAL COMPOSITION OF THE FEED RATION AND THE EFFECT
OF WHEY ON THE DIGESTION OF NUTRIENTS

Kuziyev M.S., Ergashev D.U. 28

DEVELOPMENT OF A BIOLOGICALLY EFFECTIVE TERMITICIDE
FROM THE PLANT *RINDERA TETRASPIS*

*Khashimova M.Kh., Ganieva Z.A., Rustamov K.Zh.,
Embergenov M.A. Mirzaeva G.S., Mukarramov N.I., Olimova K.N.* 34

AGE-RELATED FEATURES OF THE CIRCULATORY SYSTEM
IN KAYAKERS AND CANOEISTS AGED 18-21 DURING
TRAINING UNDER HOT CLIMATE CONDITIONS

Khuzhabekov M.A. 40

DISTRIBUTION AND INNOVATION POTENTIAL OF THE MEDICINAL
MUSHROOM OF *TRAMETES VERSICOLOR* (L.) LLOYD IN UZBEKISTAN

Sherkulova Zh.P., Mustafaev I.M., Uzakov Z.Z. 46

FAUNA OF PHYTONEMATODES IN VINEYARDS OF ANDIJAN REGION

Ergasheva N.S., Abdurakhmanova G.A. 52

MAIN PROPERTIES OF IRRIGATED TYPICAL SEROZEM SOILS
DISTRIBUTED IN PARKENT DISTRICT, TASHKENT REGION

Gulimov K.Kh., Bakhodirov Z.A., Akhmedov A.U. 58

THE INVESTIGATION OF INTACT BACTERIA AND THEIR
METABOLITES ACTION ON DIFFERENT STAGES OF THE LIFE
CYCLE OF SOIL NEMATODE *CAENORHABDITIS ELEGANS*

Kalinnikova T.B., Egorova A.V., Gatiyatullina A.F., Frolov M.D., Validov Sh.Z. 65

METHODS FOR REDUCING THE INVOLVEMENT
OF *SPERMOPHILUS FULVUS* IN BIOPROTECTION
IN THE SOUTHERN REGIONS OF UZBEKISTAN

Tursunov O.T. 72

REVIEW

APPLICATION OF CHITINOLYTIC ENZYMES
FOR MODIFICATION OF CHITIN AND CHITOSAN

Rysakova K.S., Novikov V.Yu. 77

ARTICLES

HELMINTHOLOGICAL AND EPIZOOTOLOGICAL
CHARACTERISTICS OF ACANTHOCEPHALANS
IN AMPHIBIANS OF THE FAMILIES BUFONIDAE
AND RANIDAE IN SOUTHERN UZBEKISTAN

Aliev Sh.T., Amirov O.O. 85

MORPHOLOGICAL CHANGES AND PHYSICO-CHEMICAL
PROPERTIES OF SOILS IN THE EASTERN PART OF THE DESICCATED
ARAL SEA BED BASED ON EC, dS/m AND pH INDICATORS

*Zhabbarov Z.A., Makhammadiev S.K., Nomozov U.M., Imomov O.N.,
Makhkamova D.Yu., Abdullaev Sh.Z., Soatov G.T., Abdukarimov Zh.Zh.* 93

MONITORING THE POPULATION STATUS OF *NYMPHOIDES*
PELTATA (S.G. GMEL.) O. KUNTZE IN THE ARKHANGELSK REGION

Markovskaya E.F., Dyachkova T.Yu., Morozova K.V. 103

FAUNISTIC ANALYSIS AND BIOECOLOGICAL FEATURES
OF FISH IN THE ISFAYRAMSAY RIVER

Gafurova S.O., Nazarov M.Sh., Mirzakhilov M.M., Mukimov M.A. 109

CHARACTERISTICS OF PHYTOPLANKTON OF BRACKISH LAKE
(CHELYABINSK REGION, LAKE B. KESENE)

Sagan V.V., Kravtsova A.V., Stashkevich D.S., Kovaleva A.P., Bashkatova K.Yu. 115

СТАТЬИ

УДК 631.416:504.5(575.1)

**ИЗМЕНЕНИЕ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ПОЧВ
ПОД ВОЗДЕЙСТВИЕМ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ (НА ПРИМЕРЕ
САРИАСИЙСКОГО, УЗУНСКОГО, ДЕНАУСКОГО РАЙОНОВ
СУРХАНДАРЬИНСКОЙ ОБЛАСТИ РЕСПУБЛИКИ УЗБЕКИСТАН)**

¹Жобборов Б.Т. ORCID ID 0000-0002-0015-3547,

²Абдушукурова М.Р. ORCID ID 0000-0002-0015-3548,

¹Шакаров Ф.Б. ORCID ID 0000-0002-0015-3550

¹Национальный университет Узбекистана имени Мирзо Улугбека, Ташкент,
Узбекистан, e-mail: bakhrom.jobborov@mail.ru;

²Денауский институт предпринимательства и педагогики, Денау, Узбекистан

В данной статье изучено трансграничное воздействие вредных химических соединений, образующихся в результате техногенной деятельности Таджикской алюминиевой компании, расположенной в Республике Таджикистан, на почвы Сарыасийского, Узунского и Денауского районов Сурхандарьинской области Республики Узбекистан. Были отобраны образцы почвы с данной территории и проведены лабораторные анализы. По полученным результатам было установлено наличие в составе почвы таких тяжелых металлов, как ванадий (V), кобальт (Co), цинк (Zn), мышьяк (As), кадмий (Cd), сурьма (Sb) и свинец (Pb). Согласно исследованию концентрации указанных металлов в ряде случаев превышают предельно допустимые нормы. Степень загрязнения изменяется в зависимости от близости к Таджикской алюминиевой компании: по мере увеличения расстояния концентрация металлов снижается. В частности, самые высокие показатели зафиксированы в образцах, взятых на расстоянии 16 км от предприятия, тогда как на расстоянии 38 км уровень загрязнения значительно снижен. Эти факты свидетельствуют о негативном воздействии деятельности Таджикской алюминиевой компании на окружающую среду региона. Кроме того, результаты данного исследования служат важной научной основой для оценки экологического состояния почвенных ресурсов региона, разработки мер экологической безопасности и формирования стратегии планового управления производственными отходами.

Ключевые слова: почва, экология, завод, предприятие, компания, загрязнение, территория, химические элементы, промышленность, атмосфера, предельно допустимая концентрация, площадь, отходы

**CHANGES IN THE ECOLOGICAL STATE OF SOILS UNDER THE INFLUENCE
OF HEAVY METALS (ON THE EXAMPLE OF SARIASI, UZUN, DENAU DISTRICTS
OF THE SURKHAN-DARYA REGION OF THE REPUBLIC OF UZBEKISTAN)**

¹Zhobborov B.T. ORCID ID 0000-0002-0015-3547,

²Abdushukurova M.R. ORCID ID 0000-0002-0015-3548,

¹Shakarov F.B. ORCID ID 0000-0002-0015-3550

¹National University of Uzbekistan named after Mirza Ulugbek, Tashkent,
Uzbekistan, e-mail: bakhrom.jobborov@mail.ru;

²Denau Institute of Entrepreneurship and Pedagogy, Denau, Uzbekistan

This article presents a scientific study of the transboundary impact of harmful chemical compounds resulting from the technogenic activity of the Tajik Aluminium Company, located in the Republic of Tajikistan, on the soils of Sariosiyo, Uzun, and Denov districts of the Surkhandarya region in the Republic of Uzbekistan. Soil samples were collected from the mentioned areas and analyzed under laboratory conditions. The results revealed the presence of heavy metals such as vanadium (V), cobalt (Co), zinc (Zn), arsenic (As), cadmium (Cd), antimony (Sb), and lead (Pb) in the soil composition. According to the study, the concentrations of these metals exceeded the permissible threshold levels. The degree of contamination varied depending on the proximity to the Tajik Aluminium Plant – the closer the distance, the higher the concentrations. Specifically, the highest metal concentrations were recorded in samples taken 16 km from the company, while significantly lower concentrations were observed at a distance of 38 km. These findings indicate the negative regional environmental impact of the Tajik Aluminium Company's activities. Furthermore, the results of this study serve as an important scientific basis for assessing the ecological condition of soil resources in the region, guiding environmental safety measures, and shaping a strategy for the planned management of industrial waste.

Keywords: soil, ecology, plant, enterprise, company, pollution, territory, chemical elements, industry, atmosphere, maximum permissible concentration, area, waste

Введение

В настоящее время деградация почв вследствие промышленной деятельности становится все более распространенным явлением в глобальном масштабе. Поэтому комплексное изучение состояния загрязнения почв, выявление загрязняющих факторов и источников является одной из акту-

альных задач обеспечения экологической устойчивости, поскольку почва является ключевым компонентом биосферы и важным ресурсом, обеспечивающим питание всех живых организмов.

В мире проведено множество исследований по изучению и предотвращению загрязнения окружающей среды и почв про-

мышленными предприятиями. В частности, были проведены исследования по изучению состояния загрязнения почв, вызванного техногенными факторами, такими как горнодобывающая промышленность и металлургия, тепловые электростанции и заводы по переработке металла, в промышленно развитых странах – России, Китае, Японии, Украине и Корее. Поэтому важно оценивать уровень загрязнения почв вокруг промышленных объектов, выявлять основные источники и факторы загрязнения, оценивать техногенные изменения почв и разрабатывать соответствующие технологии рекультивации. В районах с высоким уровнем индустриализации наблюдаются высокие концентрации тяжелых металлов в атмосферном воздухе. Такие сложные вредные вещества, в частности аэрозольные частицы, через дыхательную систему человека проникают в ткани легких и далее в кровеносную систему. Это приводит к ряду биологических нарушений в организме, создавая основу для развития различных соматических и хронических заболеваний [1]. На этом основании можно сделать вывод, что тяжелые металлы и связанные с ними токсичные элементы поглощаются растениями через почвенную среду, а затем через пищевую цепь воздействуют на организм человека, представляя угрозу его здоровью [2]. В связи с этим загрязнение почв тяжелыми металлами считается одной из наиболее актуальных проблем среди современных экологических угроз [3].

Оксиды тяжелых металлов, выбрасываемые промышленными предприятиями Краснодарского края Российской Федерации, оказывают негативное воздействие не только на почвенную экосистему, но и на общее состояние здоровья человека. Согласно статистике Всемирной организации здравоохранения (ВОЗ), проблемы со здоровьем среди населения мира, обусловленные неблагоприятными факторами окружающей среды, составляют в среднем от 25 до 33% [4].

Горнодобывающая промышленность в процессе своей деятельности оказывает прямое и косвенное негативное воздействие на все основные компоненты природной среды – атмосферу, гидросферу, биосферу и литосферу. В частности, техногенные отходы, образующиеся при добыче и переработке полезных ископаемых, приводят к морфологическим и структурным изменениям природных ландшафтов. Кроме того, в результате интенсивной горнодобывающей деятельности нарушаются физико-химические свойства почвенного покрова, снижается численность полезных микроорганизмов, а образующиеся вредные эле-

менты накапливаются в тканях доминирующих на данной территории видов растений через их корни и листья. Это, в свою очередь, серьезно подрывает экологическую устойчивость почвы и приводит к резкому снижению флористического разнообразия [5].

В промышленно развитых странах, таких как США, Германия, Китай и Япония, в результате открытой добычи и металлургической переработки полезных ископаемых в поверхностном слое почвы на глубине 0–20 см обнаружены высокие концентрации таких элементов, как Pb, Zn, Ni, Mn, Ba, As, Hg, Mo, Cr, Sr, V, Co, Cu, F, Al, Li, Be, Ag, Ti, Cd, Se, Sn, Tl, Bi, Na, K, S, Cl. Наблюдается значительное увеличение содержания тяжелых металлов и других вредных компонентов, особенно в районах, близких к промышленным объектам [6].

В результате научно-практических исследований, проведенных в Китае, была оценена степень загрязнения тяжелыми металлами педозкосистем, сформированных под воздействием промышленной деятельности. В ходе исследований количественное содержание тяжелых металлов было определено в пробах почв, отобранных на 402 промышленных объектах [7]. Кроме того, в почвах промышленных зон обнаружено наличие потенциально токсичных элементов, таких как Pb, Zn, Tl, Cd, Cu, As, Ag, Co, Cr и Ni, причем содержание некоторых компонентов превышало предельно допустимые значения (ПДК – предельно допустимые концентрации) [8]. В почвах, сформированных под влиянием горнодобывающей, металлургической и металлообрабатывающей промышленности в западных регионах России, отмечено высокое содержание тяжелых металлов. Это привело к значительному сокращению численности полезных микробных сообществ в почве и значительному снижению агроэкологической продуктивности [9]. При изучении уровня антропогенного воздействия на эдафические слои и экосистему в целом вокруг крупного фосфатного химического промышленного центра в Китае было установлено, что это воздействие было существенно распределено в радиусе до 2500 м. В результате деятельности этого промышленного комплекса состав почвы был загрязнен не только фторидами, но и токсичными элементами тяжелых металлов, такими как свинец [10].

В ряде научных исследований были глубоко проанализированы экологические проблемы, возникающие в окружающей среде, и основной причиной их является увеличение вредных химических форм органического вещества. В то же время одним из негативных воздействий техногенных

производственных объектов в микрополи-
тических районах на биофизическую среду
было определено снижение плодородия поч-
вы из-за попадания вредных химических
компонентов в почвенные ресурсы [11].
Микропластиковые отходы являются одним
из негативных воздействий современных
производственных предприятий, которые
считаются одним из основных источников
загрязнения, ухудшающего физические
свойства почвы, такие как воздухо- и водо-
проницаемость [12]. Для оценки почвенных
ресурсов вокруг нескольких промышлен-
ных объектов, расположенных в городе Ли-
ньань, Китай, было изучено 188 образцов
почвы. Результаты исследования показали,
что количество экологически опасных эле-
ментов, таких как Cd, Cu, Zn, Pb, Ni и Cr,
в почве было выше нормы, и было опре-
делено, что они напрямую связаны с про-
мышленной деятельностью. Также было
замечено, что высокие концентрации этих
тяжелых металлов приводят к изменению
морфологической структуры растений [13].

Кроме того, многие научные исследо-
вания зафиксировали случаи накопления
тяжелых металлов в культурных и дикора-
стущих растениях, произрастающих вбли-
зи промышленных объектов. В частности,
было убедительно доказано, что такие ме-
таллы, как Ag, Al, As, Cd, Co, Cr, Cu, Fe,
Mn, Mo, Ni, Pb, Sb, Se, Sn, Tl, V, Zn, по-
глощаются листьями и зернами кукурузы
[14]. Влияние на почвенную среду вред-
ных химических веществ, выбрасываемых
промышленными предприятиями, широко
изучалось. Установлено, что эти отходы
оказывают неблагоприятное воздействие
на организмы через почву. Кроме того, на-
блюдалась циркуляция тяжелых металлов
и других вредных химических соединений
через почву [15].

Ряд ученых отметили изменение пока-
зателя pH в почвах, расположенных вблизи
промышленных и производственных пред-
приятий, в сторону кислотности. В то же
время отходы в почве стали причиной сни-
жения способности растений усваивать ми-
неральные удобрения, такие как азот, фос-
фор и калий [16].

Цель исследования – анализ измене-
ний экологического состояния почв Сариас-
ийского, Узунского и Денауского районов
Сурхандарьинской области под влиянием
тяжелых металлов.

Материалы и методы исследования

В ходе полевых работ были выполнены
следующие работы:

– сбор общих данных о почвах исследу-
емой территории;

– выявление источников и факторов за-
грязнения почв исследуемой территории;

– отбор проб почв для лабораторного из-
учения их химического состояния;

– определение содержания тяжелых ме-
таллов в почве. Масс-спектральный анализ
проводился в Центральной лаборатории АО
«Узбекгеологоразведочная компания» Ми-
нистерства горного дела и геологии Респу-
блики Узбекистан по методике выполнения
измерений (МВИ) УзОУ 0677:2015 (МВИ
№ 499-АЭМ/МС), разработанной в России
и утвержденной в Узбекистане.

Результаты исследования и их обсуждение

В настоящее время в результате бурного
развития промышленности и расширения
интенсивной сельскохозяйственной дея-
тельности в глобальном масштабе в почвен-
ной среде накапливаются различные загряз-
няющие вещества, в частности тяжелые
металлы. Это приводит к существенным из-
менениям в структуре и функционировании
агроэкосистем и фитоценозов, способствуя
возникновению глобальных экологических
проблем. Поэтому одной из актуальных
задач является оценка эколого-санитарно-
го состояния системы «почва – растение»,
разработка биологических методов, на-
правленных на снижение фитотоксичности
почв, загрязненных тяжелыми металлами,
ограничение миграции тяжелых металлов
из почвы через растения, а также разработ-
ка научно обоснованных подходов, направ-
ленных на производство экологически без-
опасной сельскохозяйственной продукции.

Степень загрязнения, продолжитель-
ность и структурные особенности почв ис-
следуемой территории анализировались
с использованием комплексного подхода.
Как было отмечено выше, в результате раз-
нообразия загрязняющих факторов типы
образующихся в составе почв химических
элементов и их воздействие на почвен-
ную систему существенно различались.
Следы загрязнения, обнаруженные в поч-
венном слое, были связаны с различными
химическими компонентами в зависимо-
сти от масштаба и характера воздействия,
а в некоторых из них наблюдались случаи
превышения предельно допустимых значе-
ний (ПДК). Результаты данного научного
наблюдения подробно представлены в та-
блице. В данном исследовании изучалось
воздействие Таджикской алюминиевой
компании (ТАК) на типичные орошаемые
и светлоокрашенные почвы, распростра-
ненные в Сариасийском, Узунском и Дена-
уском районах Сурхандарьинской области,
которые и были объектом исследования.

Химическое загрязнение типичных и светлых орошаемых почв Сариясийского,
Узунского и Денауского районов Сурхандарьинской области

Название химического элемента	Расстояние от Таджикской алюминиевой компании (ТаджАК) составляет км			
	КУ – 16 км на глубине 0,5 см	КС – 24 км на глубине 0,5 см	КД – 30 км на глубине 0,5 см	КД – 38 км на глубине 0,5 см
Li	33,0	34,0	31,0	28,0
Be	1,90	1,60	1,20	1,90
B	16,0	20,0	15,0	16,0
Na	13000	11000	10000	8000
Mg	18000	19000	18000	17000
Al	65000	62000	59000	57000
P	780	700	670	660
K	19000	17000	17000	16000
Ca	84000	93000	85000	110000
Sc	12,0	12,0	10,0	11,0
Ti	2900	2800	2500	2500
V	180	175,0	161,0	156,0
Cr	65,0	54,0	58,0	52,0
Mn	600	620	580	620
Fe	30000	31000	29000	31000
Co	11,0	13,0	7,0	4,0
Ni	35,0	37,0	35,0	33,0
Cu	30,0	32,0	44,0	33,0
Zn	185	150	123	108
Ga	12,0	13,0	12,0	13,0
As	25,0	16,0	5,0	3,0
Se	4,00	5,80	6,10	4,50
Rb	91,0	86,0	92,0	80,0
Sr	330	370	380	320
Y	18,0	17,0	17,0	15,0
Zr	64,0	75,0	69,0	63,0
Nb	8,90	10,0	8,90	8,00
Mo	2,70	3,80	3,90	5,50
Ag	0,370	0,390	0,360	0,430
Cd	0,13	0,25	0,16	0,11
In	0,055	0,072	0,72	0,055
Sn	2,50	2,10	2,70	2,30
Sb	8,20	7,40	5,30	1,90
Te	< 0,30	< 0,30	< 0,30	< 0,30
Cs	6,10	6,50	5,80	6,10
Ba	480	770	720	820
La	27,0	25,0	23,0	27,0
Ce	56,0	52,0	47,0	54,0
Pr	6,90	6,50	6,00	6,70
Nd	26,0	23,0	22,0	24,0
Sm	5,50	5,50	5,20	4,80
Eu	1,00	1,10	0,890	0,970

Окончание табл.

Название химического элемента	Расстояние от Таджикской алюминиевой компании (ТаджАК) составляет км			
	КУ – 16 км на глубине 0,5 см	КС – 24 км на глубине 0,5 см	КД – 30 км на глубине 0,5 см	КД – 38 км на глубине 0,5 см
Gd	4,50	4,70	4,00	4,30
Tb	0,540	0,570	0,480	0,490
Dy	3,80	3,60	3,50	3,20
Ho	0,560	0,550	0,580	0,520
Er	2,10	1,70	1,60	1,60
Tm	0,240	0,260	0,250	0,200
Yb	1,80	1,90	1,70	1,70
Lu	0,220	0,270	0,260	0,250
Hf	2,00	2,10	1,70	1,70
Ta	0,800	0,780	0,660	0,630
W	2,00	2,40	1,70	1,90
Re	<0,01	0,012	0,0018	<0,01
Pt	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05
Au	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05
Tl	0,510	0,420	0,430	0,420
Pb	44,0	35,0	31,0	29,0
Bi	0,220	0,290	0,210	0,260
Th	9,80	9,70	10,0	9,90
U	2,60	3,20	2,80	2,80

В ходе исследований было установлено, что некоторые элементы в составе почвы увеличились от ПДК под влиянием различных химических соединений, поступающих с Таджикского алюминиевого завода. В частности, почва, взятая с расстояния 16 км от Таджикской алюминиевой компании, содержала V 180, Co 11,0, Zn 185, As 25,0, Cd 0,13, Sb 8,20, Pb 44,0; почва, взятая с расстояния 24 км от Таджикской алюминиевой компании, содержала V 175,0, Co 13,0, Zn 150, As 16,0, Cd 0,25, Sb 7,40, Pb 35,0; почва, взятая с расстояния 30 км от Таджикской алюминиевой компании, содержала V 161,0, Co 7,0, Zn 123, As 5,0, Cd 0,16, Sb 5,30, Pb 31,0; почва, взятая с расстояния 38 км от Таджикской алюминиевой компании, содержала V 156,0, Zn 108, As 3,0, Cd 0,11, и все вышеперечисленные химические элементы в составе почвы, распределенные на этих расстояниях, превышали предельно допустимые концентрации. В приведенной выше таблице наблюдается уменьшение содержания химических элементов в составе почвы по мере удаления от Таджикской алюминиевой компании. Это напрямую объясняется воздействием вредных химических соединений, выбрасываемых данным предприятием.

Заключение

Проведенные анализы выявили, что в результате деятельности Таджикской алюминиевой компании в окружающей среде, в частности на орошаемых почвах Сариясийского, Узунского и Денауского районов Сурхандарьинской области, обнаружено превышение предельно допустимых значений ряда тяжелых металлов и вредных химических элементов. В частности, такие элементы, как ванадий (V), кобальт (Co), цинк (Zn), сурьма (Sb), мышьяк (As), кадмий (Cd) и свинец (Pb), концентрируются в почве в высоких концентрациях, и наблюдается четкое уменьшение их количества по мере удаления от Таджикской алюминиевой компании. Это означает, что воздействие отходов, выбрасываемых в результате деятельности Таджикской алюминиевой компании, уменьшается пропорционально территориальному расстоянию. Это подтверждает, что вредные соединения, выбрасываемые предприятием, оказывают прямое и существенное воздействие на почвенную среду. Масштабное и устойчивое загрязнение может привести к нарушению биологических процессов в агроэкосистеме, фитоценозах и системе почва – растение, а также к снижению эколого-агрономического каче-

ства почв. Поэтому систематический мониторинг уровня загрязнения почв тяжелыми металлами в данном регионе, оценка изменений в фитосистемах и внедрение биологических, агротехнических и природоохранных мероприятий, направленных на снижение токсического воздействия, имеют большое научное и практическое значение.

Список литературы

1. Радомская В.И., Бородина Н.А. Оценка антропогенного загрязнения почвы урбанизированной территории на примере города Благовещенска // Геоэкология. инженерная геология, гидрогеология, геокриология. 2019. № 6. С. 79–93. DOI: 10.18799/24131830/2020/10/2850.
2. Adeleke B.O., Kinuthia J.M., Jonathan E. Oti. Impacts of MgO waste: GGBS formulations on the performance of a stabilised natural high sulphate bearing soil // Construction and Building Materials. 2022. Vol. 315. № 125745. P. 1–12. URL: <https://pure.southwales.ac.uk/ws/portalfiles/portal/5844566> (дата обращения: 25.07.2025).
3. Ушакова Е.С., Караваева Т.И., Белкин П.А. Экологическое состояние почв промышленных территорий (на примере г. Березники, Пермский край): сравнение отечественных и зарубежных методов оценки // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. 2020. Т. 331. № 10. С. 58–70. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2021.125745.
4. Liu Z., Fei Y., Shi H., Mo L., Qi J. Prediction of high-risk areas of soil heavy metal pollution with multiple factors on a large scale in industrial agglomeration areas // Science of the Total Environment. 2022. Vol. 808 151874. P. 1–12. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2021.151874.
5. Ghazaryan K., Movsesyan H., Ghazaryan N., Amanda B. Copper phytoremediation potential of wild plant species growing in the mine polluted areas of Armenia // Elsevier Ltd. All rights reserved. Environmental Pollution. 2019. Vol. 249. P. 491–501. DOI: 10.1016/j.envpol.2019.03.070.
6. Голлобова А.Г., Легостаева Я.Б. Влияние горнодобывающей и перерабатывающей деятельности на содержание тяжелых металлов и микроэлементов в мерзлотных почвах // Геология и минерально-сырьевые ресурсы северо-востока России: материалы XI Всероссийской научно-практической конференции. Якутск, 2021. С. 367–370. DOI: 10.52994/9785751331399_2021_97.
7. Qianqi Y., Zhiyuan L., Xiaoning L., Qiannan D., Lei H., Jun B. A review of soil heavy metal pollution from industrial and agricultural regions in China: Pollution and risk assessment // Science of the Total Environment. 2018. Vol. 642. P. 690–700. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2018.06.068.
8. Zhou Y., Wang L., Xiao T., Chen Y., Beiyuan J., She J., Zhou Y., Yin M., Liu J., Liu Y., Wang Y., Wang J. Legacy of multiple heavy metal (loid)s contamination and ecological risks in farmland soils from a historical artisanal zinc smelting area // Science of the Total Environment. 2020. Vol. 720. P. 1–9. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2020.137541.
9. Barsova N., Yakimenko O., Tolpeshta I., Motuzova G. Current state and dynamics of heavy metal soil pollution in Russian Federation A review // Environmental Pollution. 2019. Vol. 249. P. 200–207. DOI: 10.1016/j.envpol.2019.03.020.
10. Yang H., Wang F., Yu J., Huang K., Zhang H., Fu Z. An improved weighted index for the assessment of heavy metal pollution in soils in Zhejiang, China // Environmental Research. 2021. 192 110246. P. 1–12. DOI: 10.1016/j.envres.2020.110246.
11. Qu Ch., Albanese S., Lima A., Hope D., Pond P., Fortelli A., Romano N., Cerino P., Pizzolante A., De Vivo B. The occurrence of OCPs, PCBs, and PAHs in the soil, air, and bulk deposition of the Naples metropolitan area, southern Italy: Implications for sources and environmental processes // Environment International. 2019. Vol. 124. P. 89–97. DOI: 10.1016/j.envint.2018.12.031.
12. Zhu F., Zhu Ch., Wang Ch., Gu Ch. Occurrence and Ecological Impacts of Microplastics in Soil Systems: A Review // Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology. 2019. Vol. 102. P. 741–749. DOI: 10.1007/s00128-019-02623-z.
13. Zhao K., Zhang L., Dong J., Wua J., Yec Z., Zhaod W., Dingd L., Fu W. Risk assessment, spatial patterns and source apportionment of soil heavy metals in a typical Chinese hickory plantation region of southeastern China // Geoderma. 2020. Vol. 360. № 114011. P. 1–11. DOI: 10.1016/j.geoderma.2019.114011.
14. Antoniadis V., Golia E.E., LiubYu, Wang Sh., Shaheen Sh., Rinklebe J. Soil and maize contamination by trace elements and associated health risk assessment in the industrial area of Volos, Greece // Environment International. 2019. Vol. 24. P. 79–88. DOI: 10.1016/j.envint.2018.12.053.
15. Chen R., Chen H., Song L., Yao Z., Meng F., Teng Ya. Characterization and source apportionment of heavy metals in the sediments of Lake Tai (China) and its surrounding soils // Science of the Total Environment. 2019. Vol. 694. 133819. P. 1–11. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2019.133819.
16. Kabir Z., Khan I. Environmental impact assessment of waste to energy projects in developing countries: General guidelines in the context of Bangladesh // Sustainable Energy Technologies and Assessments. 2020. Vol. 37. № 100619. P. 1–13. DOI: 10.1016/j.seta.2019.100619.

Конфликт интересов: Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest: The authors declare that there is no conflict of interest.

УДК 619+636.3+591.1]:615.89

ВЛИЯНИЕ ФИТОПРЕПАРАТОВ НА ОСНОВЕ *ACHILLEA MILLEFOLIUM* L. И *ACHILLEA ARABICA* KOTSCHY НА ФАГОЦИТАРНУЮ АКТИВНОСТЬ И ПОКАЗАТЕЛИ КРОВИ У ОВЕЦ, ЗАРАЖЕННЫХ МОНИЕЗИОЗОМ

¹Истамкулова М.М. ORCID ID 0009-0007-7821-7161,

²Даминов А.С. ORCID ID 0009-0003-1288-7657,

¹Келдияров Х.О. ORCID ID 0009-0006-4514-3744,

¹Душанова Г.А. ORCID ID 0000-0003-0971-5160

¹Самаркандский государственный университет имени Шарофа Рашидова,
Самарканд, Узбекистан, e-mail: moxistamkulova@gmail.com;

²Самаркандский государственный университет ветеринарной медицины,
животноводства и биотехнологий, Самарканд, Узбекистан

В исследовании изучено терапевтическое действие фитопрепаратов, полученных из *Achillea millefolium* L. и *Achillea arabica* Kotschy, у овец, естественно зараженных мониезиезом. Целью работы была оценка их влияния на паразитарную нагрузку, а также на гематологические, биохимические и иммунологические показатели. Эфирное масло выделяли методом гидроdistилляции и анализировали с использованием газовой хромато-масс-спектрометрии. В эксперимент включены 40 овец с клиническими признаками заболевания, разделенных на контрольную и опытную группы. В крови определяли количество эритроцитов, лейкоцитов, уровень гемоглобина, показатели белкового обмена и фагоцитарную активность нейтрофилов. Применение фитопрепаратов на основе тысячелистника показало выраженную антипаразитарную активность, что подтверждалось снижением количества яиц гельминтов в фекалиях. На фоне терапии выявлено достоверное улучшение гематологических параметров: повышение уровня гемоглобина и нормализация числа лейкоцитов. Биохимические исследования продемонстрировали восстановление концентрации общего белка, альбумина и глобулинов, что свидетельствует о стабилизации обменных процессов и снижении воспалительных реакций. Иммунологический анализ показал активацию врожденного иммунитета за счет увеличения числа фагоцитов и роста индекса фагоцитоза. Таким образом, фитопрепараты из *A. millefolium* и *A. arabica* оказывают комплексное действие – антигельминтное, противовоспалительное, иммуномодулирующее и общеукрепляющее. Полученные данные подтверждают перспективность применения данных средств в ветеринарной практике для лечения гельминтозов у сельскохозяйственных животных.

Ключевые слова: *Achillea millefolium* L., *Achillea arabica* Kotschy, эфирные масла, мониезиез овец, иммуномодуляция

Благодарности: Авторы выражают искреннюю благодарность Даминову Асадулло Сувоновичу за помощь в проведении исследования и ценные рекомендации.

EFFECT OF HERBAL PREPARATIONS BASED ON *ACHILLEA MILLEFOLIUM* L. AND *ACHILLEA ARABICA* KOTSCHY ON PHAGOCYtic ACTIVITY AND BLOOD PARAMETERS IN SHEEP INFECTED WITH MONIESIOSIS

¹Istamkulova M.M. ORCID ID 0009-0007-7821-7161,

²Daminov A.S. ORCID ID 0009-0003-1288-7657,

¹Keldiyarov Kh.O. ORCID ID 0009-0006-4514-3744,

¹Dushanova G.A. ORCID ID 0000-0003-0971-5160

¹Samarkand State University named after Sharof Rashidov, Samarkand,
Uzbekistan, e-mail: moxistamkulova@gmail.com;

²Samarkand State University of Veterinary Medicine,
Livestock and Biotechnologies, Samarkand, Uzbekistan

This study investigated the therapeutic potential of phytopreparations derived from *Achillea millefolium* L. and *Achillea arabica* Kotschy in sheep naturally infected with monieziasis. The objective was to evaluate their effect on parasite burden as well as on hematological, biochemical, and immunological parameters. Essential oil was obtained by hydrodistillation and characterized using gas chromatography-mass spectrometry. The trial included 40 sheep with clinical signs of infection, divided into control and experimental groups. Blood samples were analyzed for erythrocyte and leukocyte counts, hemoglobin level, protein fractions, and neutrophil phagocytic activity. The administration of yarrow-based phytopreparations demonstrated pronounced antiparasitic activity, reducing the number of helminth eggs in feces. Hematological analysis revealed significant improvements: increased hemoglobin concentration and normalization of leukocyte counts. Biochemical testing showed restoration of total protein, albumin, and globulin levels, indicating stabilization of metabolic processes and attenuation of inflammatory responses. Furthermore, immunological evaluation confirmed stimulation of innate immunity, reflected by an increased number of phagocytes and higher phagocytic index. In conclusion, phytopreparations from *A. millefolium* and *A. arabica* exhibit complex therapeutic effects, including antiparasitic, anti-inflammatory, immunomodulatory, and tonic actions. These findings suggest that plant-based remedies may serve as promising alternatives to synthetic anthelmintics in veterinary practice for the treatment of helminth infections in livestock.

Keywords: *Achillea millefolium* L., *Achillea arabica* Kotschy, essential oils, monieziasis in sheep, immunomodulation

Acknowledgements: The authors express their sincere gratitude to Asadullo Suvonovich Daminov for his assistance in conducting the research and for his valuable recommendations.

Введение

Растительный мир является богатейшим источником природных лечебных средств, целебные свойства которых известны человечеству с древнейших времен. Листья, цветки, корни, семена и эфирные масла многих растений легли в основу традиционной лечебной практики [1, с. 159–163]. Сегодня растительное сырье широко используется не только в народной медицине, но и в современной медицине и ветеринарии как уникальный биоресурс с высокой биологической ценностью. Для профилактики и лечения различных заболеваний из частей растений, богатых биологически активными веществами, готовят лекарственные формы – настои, отвары, вытяжки, экстракты. На основе природных или выделенных активных соединений создаются фитопрепараты, для производства которых используют части растений с наибольшей концентрацией активных компонентов – лекарственное растительное сырье.

Традиционные лекарственные растения широко применяются во многих регионах мира, особенно в странах Азии – Китае, Индии, Японии, Пакистане, Шри-Ланке и Таиланде. По статистике, только Китай потребляет около 40% всех производимых в мире растительных лекарственных средств. Современная фармакология во многом базируется на натуральных соединениях растительного происхождения и их синтетических аналогах, что подчеркивает исключительную роль растительного мира в медицине [2, с. 33–68].

Растительные препараты важны не только для здоровья человека, но и в животноводстве, являясь стратегической отраслью во многих странах, играет ключевую роль в обеспечении социально-экономической устойчивости сельских регионов. Одним из главных препятствий его развития остаются паразитарные болезни [3–5]. Пастбищное содержание овец значительно повышает риск заражения гельминтами, в том числе возбудителями мониезиоза – заболевания, вызываемого цестодами рода *Moniezia* (семейство Anoplocephalidae), паразитирующими в тонком кишечнике, преимущественно у овец [6]. Наиболее распространены *Moniezia expansa* и *Moniezia benedeni*. Паразиты оказывают механическое и токсическое воздействие на слизистую кишечника, вызывают воспаление, нарушают всасывание питательных веществ, что снижает продуктивность и репродуктивную способность животных, а также наносит экономический ущерб [7].

В этой связи растительные фитопрепараты, обладающие экологической безопасностью, биологической активностью и являющиеся альтернативой синтетическим сред-

ствам, приобретают особую актуальность в ветеринарии. По современным данным, в мире известно около 390–420 тыс. видов растений, из которых 2500–3000 относятся к эфиромасличным. В Узбекистане выявлено 607 видов эфиромасличных растений, относящихся к 261 роду и 56 семействам [8].

Эфиромасличные растения – одна из наиболее фармакологически значимых групп лекарственного сырья. Их биологически активные вещества применяются как самостоятельные препараты и как компоненты комплексных средств. К числу таких растений относятся представители рода *Achillea* L. семейства Asteraceae – многолетники, широко распространенные в Европе, Азии и Северной Америке [9]. В горных районах Самаркандской области встречаются *Achillea millefolium* L., *A. filipendulina* Lam., *A. arabica* Kotschy, *A. nobilis* L., *A. santolinoides* Lag. [10, с. 184–209]. Эфирные масла этих растений, по данным ГХ-МС анализа, содержат биоактивные соединения с выраженной антигельминтной активностью.

Полученные результаты служат научным обоснованием для применения фитопрепаратов из *A. millefolium* и *A. arabica* в медицине, фармацевтике, косметологии, ароматерапии и ветеринарии, что придает исследованию высокую практическую значимость.

Цель исследования – проанализировать химический состав эфирных масел *A. millefolium* и *A. arabica*, произрастающих в горных и предгорных районах Самаркандской области, и оценить их антигельминтную активность по влиянию на физиолого-биохимические показатели крови и процессы фагоцитоза.

Материалы и методы исследования

В качестве объектов исследования использовали свежие соцветия *Achillea millefolium* L. и *Achillea arabica* Kotschy, собранные в различных геоботанических районах Самаркандской области, фитопрепараты, приготовленные из этих растений, а также фекалии и кровь овец, зараженных мониезиозом и отобранных для эксперимента. Работа проводилась в лаборатории биофизики и биохимии животных Института биохимии Самаркандского государственного университета им. Шарофа Рашидова, а также на кафедре паразитологии и в лаборатории зоопаразитологии Самаркандского государственного университета ветеринарной медицины, животноводства и биотехнологий.

Эфирные масла выделяли из свежих цветков методом гидродистилляции [11]. Цветки помещали в дистилляционный аппарат, где осуществляли паровую дистилляцию. Пар, проходя через растительное сырье, захватывал летучие компоненты масла,

которые затем конденсировались и собирались в отдельной емкости. Химический состав масел определяли методом газовой хроматографии-масс-спектрометрии (ГХ-МС) на системе Agilent 5977B Series GC-MS с электронно-ударной ионизацией (режим SCAN) и газовым хроматографом Agilent 8890 GC. Пробы масел разводили гексаном. Анализ эфирного масла проводили с использованием газовой хромато-масс-спектрометрии при следующих условиях: колоночный термостат изначально поддерживал на уровне 60 °C в течение 3 мин изотермический режим, затем температуру повышали с шагом 15 °C/мин до 250 °C с последующей выдержкой 3 мин. Инжектор поддерживали при 250 °C, расход гелия составлял 1 мл/мин, а отношение деления потока (SplitRatio) было 1:100. Параметры масс-детектора включали задержку растворителя 3 мин, ток эмиссии 50 мА, диапазон масс 30–350 а.е.м., скорость сканирования 1600 а.е.м./с, температуру ионного источника 230 °C и температуру линии переноса 280 °C. Общая продолжительность анализа составила 21 мин. Идентификацию отдельных компонентов выполняли путем сопоставления спектров с библиотекой NIST и сравнением времени удерживания, используя метод внутренней нормализации [12]. Исследование фекалий овец проводили методом Фюллеборна для выявления яиц и фрагментов гельминтов [13]. Кровь животных исследовали на автоматическом гематологическом анализаторе Mindray BC-5000 (Китай), определяя более 20 параметров крови. Биохимические показатели плазмы определяли на автоматическом анализаторе Erba XL-200 (Чехия).

Для оценки иммунного статуса измеряли фагоцитарную активность (ФА), количество фагоцитов (КФ) и фагоцитарный индекс (ФИ). Все полученные результаты приведены в виде таблиц [14, с. 20–48; 15; 16].

Результаты исследования и их обсуждение

Методом ГХ-МС был изучен химический состав эфирных масел растений *Achillea millefolium* L. и *Achillea arabica* Kotschy. Установлены как общие, так и отличающиеся компоненты в маслах, полученных из обоих видов растений. Количество выявленных компонентов и их количественные характеристики отражают влияние географического происхождения, видовых особенностей растений и экологических факторов. Обобщенные данные об общих и доминирующих химических веществах в видах *A. millefolium* и *A. arabica* приведены в табл. 1.

Основным компонентом эфирного масла *Achillea millefolium* L. является Ascaridole (53,5%). Кроме того, в значительном количестве были выявлены m-Cymene (18,82%), Terpinolene (6,78%) и (-)-Terpinen-4-ol (2,96%). Эти соединения известны своими антипаразитарными и антимикробными свойствами, что обеспечивает высокую биологическую активность эфирного масла *A. millefolium*.

В составе эфирного масла вида *Achillea arabica* Kotschy также основным компонентом является Ascaridole (45,08%), однако в нем в значительных количествах присутствуют Terpinolene (11,52%), m-Cymene (19,51%), а также такие высокоактивные вещества, как Carvacrol, Thymol и Lavandulol.

Таблица 1

Сравнительный анализ основных и доминирующих компонентов эфирных масел *Achillea millefolium* L. и *Achillea arabica* Kotschy

Химический класс	Название компонента	<i>A. millefolium</i> , %	<i>A. arabica</i> , %
Монотерпеновый пероксид	Ascaridole	53,51	45,08
Ароматические углеводороды	m-Cymene	18,82	19,71
	1,3,8-p-Menthatriene	0,34	0,67
Монотерпены	Terpinolene	6,78	11,70
	Camphor	1,06	0,52
	Eucalyptol	1,94	1,33
Терпеноидные спирты	(-)-Terpinen-4-ol	2,96	2,90
	2-p-Menthen-1-ol	2,31	2,72
	Linalool	0,28	0,36
Сесквитерпены	Germacrene D	0,51	1,27
	Caryophyllene	0,28	0,47

Источник: составлено автором.

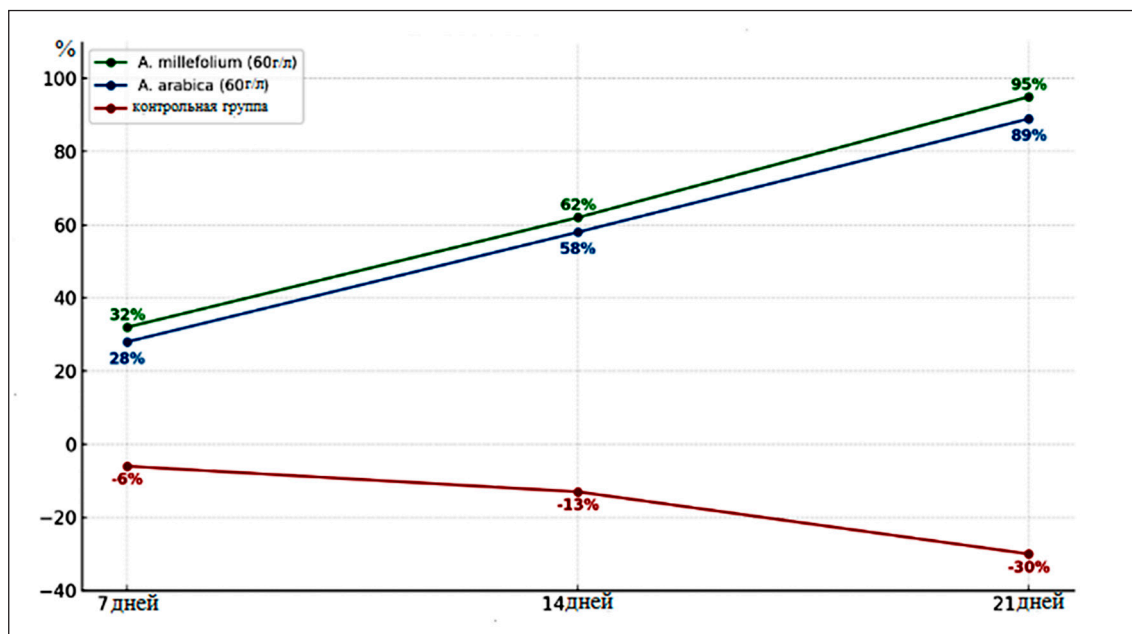


Рис. 1. Показатели эффективности настоев, приготовленных из растений *Achillea millefolium* L. и *Achillea arabica* Kotschy
Источник: составлено автором

Таблица 2

Физиологический анализ крови овец, зараженных мониезиезом, до и после лечения

Показатели	Норма (D.E. Eshimov, 2012)	Контрольная группа	Контрольная группа (21 день)	I группа (зараженные овцы)	I группа (после 21 дня лечения)	II группа (зараженные овцы)	II группа (после 21 дня лечения)
Гемоглобин (HGB), г/л	9–14	8,1±0,25	7,4 ± 0,30	8,3±0,1	12,6±0,18	8,0±0,19	11,9±0,16
Эритроциты (RBC), 10 ¹² /л	7–12	6,5±0,15	6,3±0,12	6,7±0,14	10,5±0,20	6,6±0,13	9,7±0,18
Лейкоциты (WBC), 10 ⁹ /л	6–14	15,2±0,30	16,0±0,32	14,9±0,27	9,2±0,25	15,0±0,28	10,1±0,22
Палочкоядерные лейкоциты, %	0,4–2,0	3,0±0,12	3,5±0,14	2,9±0,11	1,2 ± 0,10	2,7±0,12	1,5±0,09
Сегментоядерные лейкоциты, %	27–41	19±0,9	20±0,8	20±0,7	38 ± 1,1	21±0,6	36±1,0
Эозинофилы, %	2–8	10±0,6	12±0,7	9±0,5	3 ± 0,4	9±0,6	4±0,3
Моноциты, %	1,4–5,8	7,2±0,4	6,9±0,3	6,5±0,3	3,7 ± 0,2	6,2±0,3	4,0±0,2
Базофилы, %	0–0,8	1,1±0,05	1,3±0,06	1,0±0,04	0,5±0,03	0,9±0,04	0,6±0,02
Лимфоциты, %	43–68	38±1,3	7,4±1,1	8,3±1,2	12,6±1,0	8,0±1,1	11,9±1,0

Источник: составлено автором.

Результаты сравнительного анализа показали, что в эфирных маслах обоих видов основным соединением является Ascaridole, который играет ключевую роль

в их антигельминтном действии. Однако эфирное масло *A. millefolium* может быть более эффективным благодаря высокому содержанию и биологическому действию

Ascaridole, в то время как *A. arabica* отличается более выраженной антибактериальной активностью.

У овец с выраженными признаками мониезиоза были собраны и исследованы фекалии с помощью копрологических анализов, по результатам которых была определена степень заболевания, и по три зараженные овцы были отобраны в каждую из трех групп для проведения лечения.

Результаты гельминтокопрологических исследований показали, что фитопрепараты, приготовленные из растений *Achillea millefolium* L. и *Achillea arabica* Kotschy, обладают выраженной антигельминтной эффективностью, значительно снижая количество яиц паразитов у овец, зараженных мониезиозом (рис. 1).

Терапевтическую эффективность фитопрепаратов подтвердили не только копрологические, но и гематологические и биохимические показатели.

После лечения у зараженных животных наблюдалось восстановление уровня гемоглобина до нормы, снижение количества лейкоцитов, а также положительная динамика иммунологических показателей нейтрофилов и лимфоцитов, что свидетельствует о снижении гельминтной интоксикации и восстановлении общего состояния организма (табл. 2).

Данные физиологического анализа крови овец, представленные в табл. 2, подтверждают терапевтическую эффективность фитопрепаратов, приготовленных на основе *Achillea millefolium* L. и *Achillea arabica* Kotschy. У животных, инфицированных мониезиозом и получавших лечение, наблюдались положительные изменения в гематологических показателях по сравнению с контрольной группой.

У овец I группы, получавших фитонастой из *Achillea millefolium* L., уровень гемоглобина значительно повысился, с $8,3 \pm 0,21$ до $12,6 \pm 0,18$ г/л, приближаясь к физиологической норме 9–14 г/л, что свидетельствует о восстановлении кислородо-транспортной функции крови. Подобная тенденция наблюдалась и во II группе: после лечения *Achillea arabica* Kotschy гемоглобин повысился до $11,9 \pm 0,16$ г/л, количество эритроцитов также улучшилось в обеих опытных группах и достигло значений $10,5 \pm 0,20$ и $9,7 \pm 0,18 \times 10^{12}/л$ соответственно, что указывает на стабилизацию процессов кроветворения. В то же время в контрольной группе, где лечение не проводилось, фиксировалась анемия – $7,4 \pm 0,30$ г/л гемоглобина и $6,3 \pm 0,12 \times 10^{12}/л$ эритроцитов на 21-й день. Существенные различия наблюдались и в уровне лейко-

цитов. В контрольной группе он составлял $16,0 \pm 0,32 \times 10^9/л$, что указывает на выраженный лейкоцитоз как реакцию на воспаление и интоксикацию. Напротив, в обеих опытных группах после лечения этот показатель снизился до физиологических значений $9,2 \pm 0,25$ и $10,1 \pm 0,22 \times 10^9/л$, также положительная динамика была отмечена и среди дифференцированных лейкоцитов. В частности, уровень палочкоядерных нейтрофилов снизился до нормы $1,2 \pm 0,10$ и $1,5 \pm 0,09$ %, в то время как у животных из контрольной группы наблюдалось повышение $3,5 \pm 0,14$ %, уровень сегментоядерных нейтрофилов также восстановился до нормы $38 \pm 1,1$ и $36 \pm 1,0$ %, тогда как в контрольной группе он оставался пониженным $20 \pm 0,8$ %, что свидетельствует о недостаточной функциональной активности иммунной системы. Также у животных, получавших фитолечение, снизились уровни эозинофилов, моноцитов и базофилов клеток, участвующих в воспалительных и аллергических реакциях. Это указывает на снижение степени гельминтной интоксикации. Так, уровень эозинофилов снизился с 9–12 до 3–4 %, что соответствует показателям нормы. Особого внимания заслуживает динамика лимфоцитов, которые в контрольной группе критически снижались до $7,4 \pm 1,1$ %, тогда как после лечения в I и II группах их уровень повысился до $12,6 \pm 1,0$ и $11,9 \pm 1,0$ % соответственно, что указывает на восстановление адаптивного иммунного ответа. Таким образом, у животных из контрольной группы, которым не применялись никакие лечебные средства, наряду с увеличением количества яиц наблюдалось ухудшение гематологических показателей – анемия, лейкоцитоз и усиление признаков воспаления. Это свидетельствует о том, что мониезиоз вызывает тяжелое физиологическое состояние организма и требует срочных лечебных мер.

Результаты проведенного исследования показывают, что у овец, больных мониезиозом, происходят серьезные нарушения белкового обмена в организме. В частности, значительное снижение уровней общего белка, альбумина и глобулина связано с клиническими симптомами заболевания – истощением, диареей, ослаблением иммунитета, вялостью и воспалительными процессами.

У здоровых овец из контрольной группы уровень общего белка $60 \pm 2,3$ г/л, альбумина $26 \pm 1,1$ г/л и глобулина $34 \pm 1,4$ г/л был близок к физиологической норме. Однако в течение 21 дня у инфицированных овец контрольной группы, не получавших никакого фитопрепарата, данные показатели ухудшились: общий белок снизился

до $57 \pm 2,1$ г/л, альбумин до $25 \pm 1,2$ г/л, глобулин до $32 \pm 1,5$ г/л, что свидетельствует о развитии патологического состояния, вызванного дефицитом белка, воспалением кишечника и нарушением всасывания.

В I группе, при использовании экстракта из *Achillea millefolium* L., биохимические показатели значительно восстановились – общий белок повысился до $88 \pm 3,5$ г/л, альбумин до $53 \pm 2,7$ г/л, глобулин до $61 \pm 2,8$ г/л, изменения свидетельствуют о высокой эффективности фитопрепарата, а также о восстановлении процессов синтеза и всасывания белков.

Аналогичные положительные результаты были зафиксированы и во II группе, леченной препаратом из *Achillea arabica* Kotschy. Общий белок достиг $84 \pm 3,8$ г/л, альбумин $48 \pm 2,1$ г/л, глобулин $59 \pm 2,7$ г/л, эти показатели близки к результатам I группы, что свидетельствует о наличии как антигельминтных, так и восстанавливающих свойств у обоих видов растений (табл. 3).

Эти данные свидетельствуют о том, что нарушение белкового обмена является одним из основных патофизиологических факторов при мониезиозе, и данные нарушения могут быть эффективно устранены с помощью фитопрепаратов. Фитонастой *Achillea millefolium* L. продемонстрировал более высокие показатели восстановления белкового обмена

по сравнению со II группой, что позволяет рекомендовать его для применения в ветеринарной практике при лечении паразитарных заболеваний (табл. 4).

Согласно полученным результатам, у овец, зараженных мониезиозом, биохимические показатели, связанные с белковым обменом, – общие белки, альбумин и глобулин значительно снизились. Эти изменения напрямую связаны с основными клиническими признаками заболевания: истощением, поносом, снижением иммунитета и воспалительными процессами. Эффективность лечебных фитонастоев наглядно представлена на рис. 2.

В целом положительные изменения в показателях белкового обмена подтверждают терапевтическую эффективность растительных препаратов против мониезиоза, в частности их противовоспалительные, антипаразитарные и восстанавливающие свойства.

Дефицит белка и анемия ограничивают функциональную активность иммунных клеток, особенно фагоцитов, поскольку для их полноценной работы необходимы как энергетические, так и белковые ресурсы. Недостаток белка приводит к атрофии лимфоидной ткани, снижению выработки антител и иммунных клеток, что в свою очередь ослабляет не только фагоцитарную активность, но и общую сопротивляемость организма.

Таблица 3

Биохимический анализ крови у овец, зараженных мониезиозом, до и после лечения

Показатели	Норма (Nafisat et. al.; Bazarov et. al. 2024)	Контрольная группа	Контрольная группа (21 день)	I группа (зараженные овцы)	I группа (после 21 дня лечения)	II группа (зараженные овцы)	II группа (после 21 дня лечения)
Общий белок, г/%	66–90	$60 \pm 2,3$	$57 \pm 2,1$	$59 \pm 2,5$	$88 \pm 3,5$	$58 \pm 2,4$	$84 \pm 3,8$
Альбумин, г/%	30,0–60,0	$26 \pm 1,1$	$25 \pm 1,2$	$27 \pm 1,1$	$53 \pm 2,7$	$26 \pm 1,3$	$48 \pm 2,1$
Глобулин, г/%	40,0–70,0	$34 \pm 1,4$	$32 \pm 1,5$	$33 \pm 1,6$	$61 \pm 2,8$	$32 \pm 1,5$	$59 \pm 2,7$

Источник: составлено автором.

Таблица 4

Оценка восстановительной эффективности настоев фитопрепаратов *A. millefolium* и *A. arabica*

Показатели	I группа <i>A. millefolium</i> , (%)	II группа <i>A. arabica</i> , (%)	Контрольная группа, (%)
Общий белок, г/%	93,5 %	81,3 %	0,0 %
Альбумин, г/%	78,8 %	64,7 %	0,0 %
Глобулин, г/%	75,7 %	71,1 %	0,0 %

Источник: составлено автором.

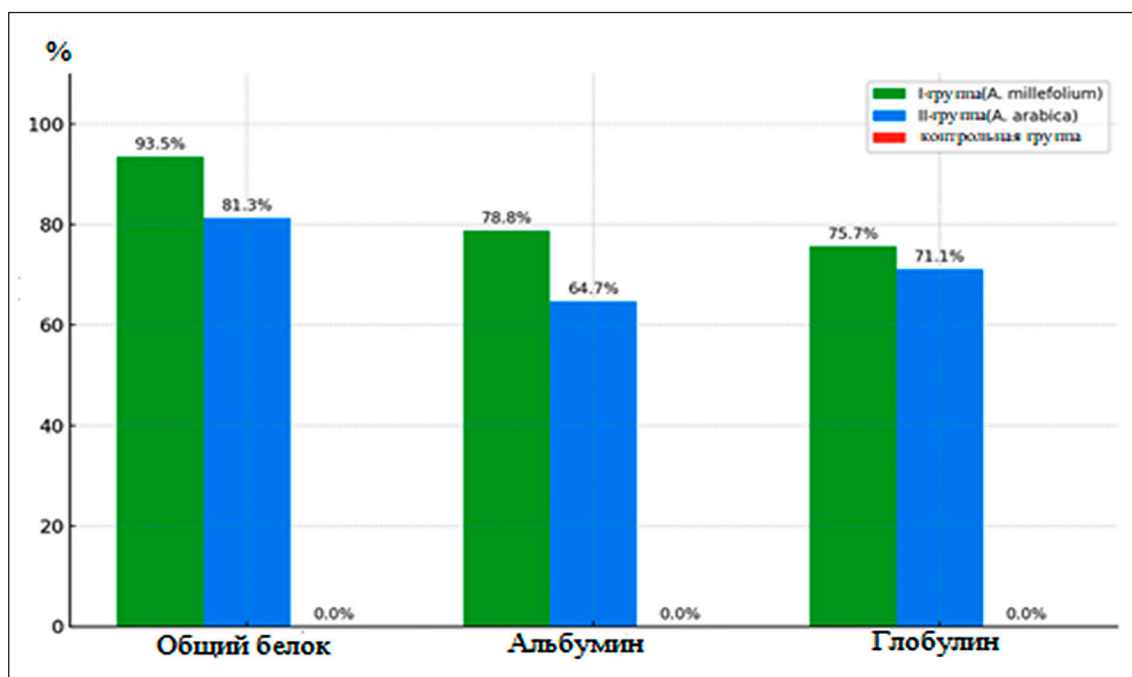


Рис. 2. Сравнительная эффективность настоек фитопрепаратов *A. millefolium* и *A. arabica* в восстановлении показателей белкового обмена
Источник: составлено автором

Таблица 5

Фагоцитарная активность у инфицированных овец под влиянием фитопрепаратов *Achillea millefolium* и *Acacia arabica*

Показатели	Норма	Контрольная группа	Контрольная группа (21 день)	I группа (зараженные овцы)	I группа (после 21 дня лечения)	II группа (зараженные овцы)	II группа (после 21 дня лечения)
Фагоцитарная активность (%)	➤ 40 %	32,0±1,0	16,0±0,61	33,0±1,0	32,0±1,8	67,0±1,1	62,0±3,1
Количество фагоцитов (КФ) (бактерия/клетка)	3–8 бактерия / клетка	2,1±0,1	2,2±0,2	2,2±0,2	2,0±0,1	6,7±0,3	6,1±0,8
Фагоцитозный индекс (ФА×КФ)	≥ 120 (условный минимум)	67,2	35,2	72,6	64,0	448,9	378,2

Источник: составлено автором.

У зараженных животных показатели фагоцитарной активности и количество фагоцитов были значительно ниже нормы, что подтверждает снижение иммунного статуса. Особенно это выражено у животных контрольной группы, где фагоцитарная активность снизилась до 16 %, что указывает на неспособность фагоцитарных клеток эффективно реагировать на инфекцию. Кроме того, у животных, получавших лечебные

фитонастои на основе *Achillea millefolium* L. и *Achillea arabica* Kotschy, наряду с улучшением белковых и гематологических показателей наблюдалась нормализация фагоцитарных параметров (табл. 5)

Полученные данные свидетельствуют о том, что биологически активные вещества, содержащиеся в растении, обладают иммуномодулирующими, антиоксидантными и противовоспалительными свойствами.

Таким образом, совместное изучение копрологических и гематологических анализов служит надежной методической основой для глубокого и комплексного оценивания эффективности фитотерапии.

Полученные результаты экспериментальных исследований свидетельствуют о высокой терапевтической эффективности фитопрепаратов, приготовленных из лекарственных растений *Achillea millefolium* L. и *Achillea arabica* Kotschy, в лечении мониезиоза у овец. Установлено, что данные растительные средства обладают выраженной антипаразитарной активностью, снижая количество яиц гельминтов, и показывают эффективность на 95 и 89 %. Наряду с этим, применение фитонастоев способствовало значительному улучшению гематологических показателей, включая повышение уровня гемоглобина и нормализацию количества лейкоцитов, что отражает укрепление общего состояния организма и активацию его защитных систем. Биохимический анализ показал восстановление концентраций общего белка, альбумина и глобулина, указывая на стабилизацию обменных процессов, улучшение пищеварительной функции и снижение воспалительных реакций. Немаловажно, что лечение сопровождалось усилением неспецифического иммунного ответа, о чем свидетельствует рост количества фагоцитов и индекса фагоцитоза.

Таким образом, гематологические данные подтверждают высокую терапевтическую активность фитопрепаратов из *Achillea millefolium* L. и *Achillea arabica* Kotschy. Восстановление показателей крови и нормализация иммунологических маркеров свидетельствуют не только об устранении гельминтной инвазии, но и об общем улучшении физиологического состояния организма. Особенно выраженный эффект был зафиксирован при применении фитонастоя из *Achillea millefolium* L., что согласуется с копрологическими результатами и подтверждает его более высокую антигельминтную активность.

Заключение

В ходе проведенного исследования изучены фитоактивные свойства растений *Achillea millefolium* L. и *Achillea arabica* Kotschy, химический состав эфирных масел обоих видов *Achillea* характеризуется высоким содержанием биологически активных соединений, таких как 1,8-цинеол, α - и β -пинен, борнеол, камфора и туйон. Некоторые компоненты были идентифицированы как общие для обоих видов, однако *A. arabica* продемонстрировала более высокую концентрацию определенных терпе-

ноидов и фенольных соединений. Экспериментальные данные, полученные на модели паразитарной инвазии у овец, показали, что настои из *A. millefolium* и *A. arabica* способствуют достоверному повышению фагоцитарной активности, что указывает на выраженное иммуностимулирующее действие данных фитопрепаратов. При анализе показателей белкового обмена установлено, что применение настоев из указанных видов *Achillea* способствует нормализации уровней общего белка и альбуминов в сыворотке крови зараженных животных. Особенно выраженный восстановительный эффект наблюдался при комбинированном использовании препаратов на основе *A. millefolium* и *A. arabica*. На основании полученных результатов можно утверждать, что фитопрепараты на основе *A. millefolium* и *A. arabica* являются перспективными средствами природного происхождения, обладающими иммуномодулирующим, антипаразитарным и метаболически корректирующим действием.

Список литературы

1. Хожиматов О.К. Лекарственные растения Узбекистана (свойства, применение и рациональное использование). Ташкент: Маънавият, 2021. 328 с. ISBN: 978-9943-04-408-1.
2. Khojimatov O.K. Ethnobiology of Uzbekistan: Ethnomedicinal Knowledge of Mountain Communities / Y. Gafforov, R. Bussmann (Eds.). Berlin, Heidelberg: Springer, 2023. P. 107–159. DOI: 10.1007/978-3-031-23031-8.
3. Vakhidova A., Daminov A., Muradova E., Nurullaev A. Changes in the content of certain macro- and microelements in the blood of karakul sheep exposed to helminth infestation // BIO Web of Conferences. 2024. Vol. 95. P. 01008. DOI: 10.1051/bio-conf/20249501008.
4. Tadić V., Arsić I., Zvezdanović J., Žugić A., Cvetković D., Pavkov S. The estimation of the traditionally used yarrow (*Achillea millefolium* L. Asteraceae) oil extracts with anti-inflammatory potential in topical application // J Ethnopharmacol. 2017. Mar 6. Vol. 199. P. 138–148. DOI: 10.1016/j.jep.2017.02.002.
5. Singh A. et al. Role of herbal plants in prevention and treatment of parasitic diseases // J. Sci. Res. 2020. Vol. 64, Is. 1. P. 50–58. DOI: 10.37398/JSR.2020.640106.
6. Дударчук А.Н. Особенности патогенеза овец при ассоциативных инвазиях желудочно-кишечного тракта // Известия Национальной академии наук Беларуси. Серия аграрных наук. 2021. Т. 59. № 1. С. 81–89. DOI: 10.29235/1817-7204-2021-59-1-81-89.
7. Terzić J., Stanković M., Stefanović O. Extracts of *Achillea millefolium* L. inhibited biofilms and biofilm-related virulence factors of pathogenic bacteria isolated from wounds // Microb Pathog. 2025 Feb. Vol. 199. № 107219. DOI: 10.1016/j.micpath.2024.107219.
8. Grigore A., Colceru-Mihul S., Bazdoaca C., Yuksel R., Ionita C., Glava L. Antimicrobial activity of an *Achillea millefolium* L. // Proceedings. 2020. Vol. 57. P. 34. DOI: 10.3390/proceedings2020057034.
9. Güçlü G., İnanır M., Uçar E., Eruygur N., Ataş M., Uskutoğlu T., Şenkal B.C. Biological activities of different plant species belonging to the Asteraceae family // International Journal of Secondary Metabolite. 2023. Vol. 10, Is. 1. P. 11–22. DOI: 10.21448/ijsm.1107819.

10. Тожибаев К.С., Бешко Н.Ю., Кодиров У.Х., Батошов А.Р., Мирзалиева Д.У. Кадастр флоры Узбекистана: Самаркандская область. Ташкент: Фан, 2018. С. 184–209. ISBN: 978-9943-19-468-7.
11. Villalva M., Jaime L., Villanueva-Bermejo D., Lara B., Fornari T., Reglero G., Santoyo S. Supercritical anti-solvent fractionation for improving antioxidant and anti-inflammatory activities of an *Achillea millefolium* L. extract // Food Res Int. 2019. Vol. 115. P. 128–134. DOI: 10.1016/j.foodres.2018.08.027.
12. Novák J. Quantitative analysis by gas chromatography. Advances in Chromatography. 2021. 71 p. ISBN: 978-1003209928.
13. Haqberdiev P.S. Parazitologiya fanidan amaliy mashg'ulotlarni bajarish bo'yicha uslubiy qo'llanma. Samarqand, 2010. 56 s.
14. Eshimov D.E., Ro'ziqulov R.F. "Hayvonlar fiziologiyasi" fanidan amaliy-laboratoriya mashg'ulotlari. Toshkent: Ilm Ziyo, 2007. S. 20–48. ISBN: 978-9943-319-11-0.
15. Bazarov B., Normammedova F., Tojikulova O., Safin M., Kuziev M., Seytkamalov K. Seasonal changes of some hematological parameters of *Ovis aries* L. reared in ecologically extreme conditions (Karnabchul steppe, Uzbekistan) // BIO Web of Conferences. 2024. Vol. 126. P. 01009. DOI: 10.1051/bioconf/202412601009.
16. Nafisat A. et al. Effect of breed, sex, age and season on the haematological parameters of sheep in Bauchi state, Nigeria // Nigerian Journal of Animal Science. 2021. Vol. 23, Is. 2. P. 28–37. URL: <https://core.ac.uk/download/487601809.pdf> (дата обращения: 28.08.2025).

Конфликт интересов: Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest: The authors declare that there is no conflict of interest.

УДК 57.013:574.24:615.9

СРАВНИТЕЛЬНАЯ ПОЛУКОЛИЧЕСТВЕННАЯ ОЦЕНКА НАКОПЛЕНИЯ МИКРОЧАСТИЦ ПЛАСТИКА РАЗМЕРОМ 100 И 1000 НМ В ЛЕГКИХ КРЫСЫ ПОСЛЕ ОДНОКРАТНОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ

^{1,2}Каримов Д.О. ORCID ID 0000-0003-0039-6757,¹Хуснутдинова Н.Ю. ORCID ID 0000-0001-5596-8180,¹Смолянкин Д.А. ORCID ID 0000-0002-7957-2399,¹Гизатуллина А.А. ORCID ID 0000-0002-7321-0864,¹Ахмадеев А.Р. ORCID ID 0000-0001-7309-4990,¹Мухаммадиева Г.Ф. ORCID ID 0000-0002-7456-4787,¹Рябова Ю.В. ORCID ID 0000-0003-2677-0479

¹Федеральное государственное учреждение науки «Уфимский научно-исследовательский институт медицины труда и экологии человека», Уфа, Российская Федерация, e-mail: ryabovayuvl@yandex.ru;

²Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Национальный научно-исследовательский институт общественного здоровья имени Н.А. Семашко», Москва, Российская Федерация

Цель исследования – сравнительная полуколичественная оценка накопления микрочастиц полистирола размером 100 и 1000 нм в ткани легких крыс после однократного воздействия. Экспериментальное моделирование осуществляли *in vivo* на крысах-самках. Микрочастицы полистирола вводили внутрисердечно в объеме 0,5 мл, что обеспечивало немедленное поступление их в кровоток. Через 5 ч животных выводили из эксперимента и немедленно проводили забор образцов тканей легких. Приготовленные криосрезы тканей исследовали методом микроскопии во флуоресцентном режиме. Для оценки накопления применялся полуколичественный метод на основе специально разработанной ранговой шкалы. Статистическая обработка полученных данных проводилась с использованием метода Bootstrap с поправкой Холма – Бонферрони. В результате проведенного исследования установлено, что микрочастицы пластика размером 100 и 1000 нм при внутрисердечном введении уже через 5 ч обнаруживаются в легких крыс как в виде отдельных частиц, так и в форме конгломератов. При этом частицы диаметром 1000 нм выявлялись в легочной ткани более чем в два раза чаще, что, вероятно, обусловлено как особенностями кровотока в системном и легочном кругах, так и различиями в захвате частиц альвеолярными макрофагами, обеспечивающими очищение легких от инородных объектов.

Ключевые слова: крысы, эксперимент, микропластик, легкие, полуколичественная оценка

COMPARATIVE SEMI-QUANTITATIVE ASSESSMENT OF THE ACCUMULATION OF 100 NM AND 1000 NM POLYSTYRENE MICROPARTICLES IN RAT LUNG TISSUE FOLLOWING A SINGLE EXPOSURE

^{1,2}Karimov D.O. ORCID ID 0000-0003-0039-6757,¹Khusnutdinova N.Yu. ORCID ID 0000-0001-5596-8180,¹Smolyankin D.A. ORCID ID 0000-0002-7957-2399,¹Gizatullina A.A. ORCID ID 0000-0002-7321-0864,¹Akhmadeev A.R. ORCID ID 0000-0001-7309-4990,¹Mukhammadiyeva G.F. ORCID ID 0000-0002-7456-4787,¹Ryabova Yu.V. ORCID ID 0000-0003-2677-0479

¹Federal State Scientific Institution "Ufa research institute of occupational health and human ecology", Ufa, Russian Federation, e-mail: ryabovayuvl@yandex.ru;

²Federal State Budgetary Scientific Institution "N.A. Semashko National Research Institute of Public Health", Moscow, Russian Federation

The aim of this study was to perform a comparative semi-quantitative assessment of the accumulation of 100 nm and 1000 nm polystyrene microparticles in rat lung tissue after a single exposure. The experimental modeling was conducted *in vivo* using female rats. Polystyrene microparticles were administered via intracardiac injection at a volume of 0.5 mL, ensuring immediate entry into the systemic circulation. After 5 hours, the animals were euthanized and lung tissue samples were promptly collected. Cryosections of the tissues were examined using fluorescence microscopy. The degree of microparticle accumulation was assessed using a semi-quantitative method based on a specially developed ranking scale. Statistical analysis of the obtained data was carried out using the Bootstrap method with Holm–Bonferroni correction. The results demonstrated that both 100 nm and 1000 nm plastic microparticles were detectable in the lungs as early as 5 hours after intracardiac injection, appearing as both individual particles and particle aggregates. Notably, 1000 nm particles were found in lung tissue more than twice as often as 100 nm particles. This difference is likely attributable to both the characteristics of pulmonary and systemic blood flow and the size-dependent efficiency of phagocytic uptake by alveolar macrophages responsible for clearing foreign material from the lungs.

Keywords: rats, experiment, micropaste, lungs, semiquantitative assessment

Введение

В последние годы микропластик рассматривается как один из приоритетных и относительно устойчивых загрязнителей окружающей среды [1, 2]. Наряду с широким распространением микропластика в пищевых продуктах, питьевой воде и Мировом океане все больше данных свидетельствует о его способности оказывать негативное биологическое действие на живые системы, в том числе человека. В метаанализе, оценившем результаты 13 исследований с привлечением добровольцев, установлена связь между уровнем загрязнения микропластика, репродуктивным здоровьем женщин и исходом беременности, в том числе задержкой внутриутробного развития плода [3]. Интересно, что авторами установлено: даже употребление пищи из пластиковых контейнеров увеличивает вероятность «загрязнения» микропластиком беременных женщин [3]. Подтверждена роль микропластициков в заболеваниях гепатобилиарной системы – в частности, его наличие усугубляет течение неалкогольной жировой болезни печени, как было продемонстрировано в экспериментальном исследовании на мышах [4]. Все чаще появляются свидетельства о влиянии на желудочно-кишечный тракт путем нарушения баланса кишечной микрофлоры, что, в свою очередь, само по себе способно приводить к системным эффектам, в том числе на иммунную и нервную системы [5, 6]. Среди упомянутых эффектов особенно выделяется способность провоцировать воспалительные процессы в печени, основном органе детоксикации, сопровождающиеся апоптозом клеток [5], что, безусловно, косвенно способствует снижению адаптационного потенциала организма к потенциальному воздействию ксенобиотиков любого рода. Однако, несмотря на бурное изучение вредных свойств микропластициков, вопросы его распределения в организме, тканеспецифичной локализации и кинетики накопления остаются слабо изученными. Имеются лишь единичные сведения о том, что микропластицики пластика благодаря своему небольшому размеру могут легко проникать в пищеварительный тракт и задерживаться там, впоследствии преодолевая биологические барьеры и перемещаясь в другие части организма, такие как кровь, печень, почки и мозг [7].

Вместе с тем большая часть доступной литературы сосредоточена преимущественно на оценке токсического действия микропластика, тогда как данные о его биораспределении, в том числе при системном поступлении, крайне ограничены. Между тем особенности распределения микропластициков

в организме могут напрямую определять как характер, так и выраженность их биологического действия. Это хорошо продемонстрировано в исследованиях, посвященных токсическим свойствам наночастиц, для которых токсичность определяется не только химическим составом, но и физико-химическими параметрами: размером, формой, зарядом поверхности, способностью образовывать белковую корону и агрегаты, адсорбировать на своей поверхности прочие вещества [8, 9]. Эти характеристики существенно влияют на проникновение частиц в ткани и их взаимодействие с клетками [9]. Кроме того, растет количество данных, указывающих на способность микропластика адсорбировать на своей поверхности другие загрязнители, включая органические соединения [10, 11], что потенциально может усиливать токсический эффект последних, способствовать их транспортировке вглубь биологических тканей вместе с самим микропластиком.

Следует отметить, что используемые в ряде исследований методы выявления микропластика в тканях часто предполагают сложные аналитические технологии, требующие дорогостоящего оборудования и высокой квалификации персонала. На этом фоне особую ценность приобретают простые и воспроизводимые подходы, такие как полуколичественные методы визуальной оценки, широко применяемые в различных отраслях науки. Подобные методы не требуют сложного оборудования или специализированной подготовки, обеспечивают быструю интерпретацию результатов и хорошо подходят для первичного скрининга. Несмотря на относительную субъективность, при правильно организованной системе ранжирования и двойной слепой оценке они могут давать стабильные и сопоставимые результаты, особенно в условиях, когда количественный анализ затруднен или экономически нецелесообразен.

Цель исследования – сравнительная полуколичественная оценка накопления микропластициков полистирола размером 100 и 1000 нм в ткани легких крыс после однократного воздействия.

Материалы и методы исследования

Самки крыс линии Wistar возрастом около 3 месяцев и массой 180–200 г на начало экспериментального исследования были получены из питомника «Рапполово» и содержались в оборудованном виварии в соответствии с действующими нормами и стандартами Российской Федерации, а также положениями Директивы 2010/63/ЕС Европейского парламента о защите животных,

используемых в научных целях. Содержание и уход за животными соответствовали требованиям ГОСТ 33215–2014. Этическое заключение на проведение исследования получено (протокол № 01-02 от 08.02.2024).

В исследование включено 12 интактных самок, которые были случайным образом распределены на 4 группы по 3 животных. Каждой крысе была нанесена индивидуальная метка, которая располагалась на хвосте. С учетом ограниченного количества животных в каждой группе, для повышения достоверности результатов от каждого органа отбиралось по 4 образца тканей из случайных областей, что в сумме обеспечивало 12 наблюдений на группу. Учет стадий эстрального цикла не проводился, однако, благодаря идентичным условиям содержания и случайному распределению животных по группам, влияние полового цикла на результаты считается минимальным.

Для изучения распределения микропластицик пластика использовались меченные флуоресцентным красителем полистирольные частицы сферической формы диаметром 100 и 1000 нм (QiuHuan, Китай; максимум возбуждения – 488 нм, максимум эмиссии – 518 нм), приготовленные в виде 1% суспензии в дистиллированной воде. Перед введением суспензии гомогенизировалась в ультразвуковой ванне (УЗО-«МЕДЭЛ») с использованием ротатора (BioSan) и контролировалась визуально с помощью фильтра EGFP на флуоресцентном имиджере Celena X (Logos Biosystems, Южная Корея). Контрольной субстанцией служил физиологический раствор.

Микрочастицы вводили в объеме 0,5 мл внутрисердечно с целью моделирования острого системного воздействия и изучения последующего распределения в легочной ткани. Такой способ введения обеспечивает прямой доступ микропластика в сосудистое русло и минимизирует возможные потери при прохождении желудочно-кишечного тракта или при ингаляции, что позволяет строго контролировать дозировку и условия распределения вещества [12]. При этом следует учитывать, что данный метод не отражает физиологические пути попадания микропластика в организм, а моделирует искусственное острое системное воздействие [13]. Через 5 ч после введения животных подвергали эктаназии методом декапитации. Из легких немедленно отбирались образцы тканей для морфологического анализа. До криотомии фрагменты хранились при -70 °C в криогеле. Срезы толщиной 10 мкм изготавливались на микротоме-криостате Leica CM 1520 (Leica BioSystems, Германия), после чего наносились на предметные стек-

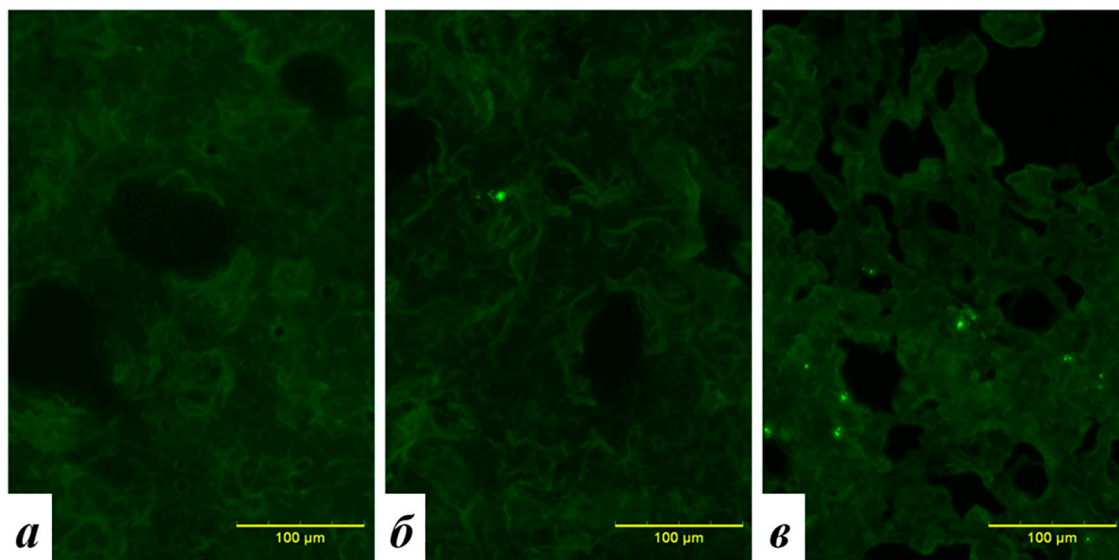
ла и документировались с использованием светофильтра EGFP при увеличении 200× (Celena X, Logos Biosystems).

Для полуколичественной оценки степени накопления микропластика в легочной ткани два независимых исследователя оценивали количество флуоресцирующих объектов и их конгломератов не менее чем в 30 случайно выбранных полях зрения на каждый образец. К флуоресцирующим объектам относили четко очерченные элементы сферической формы, а также конгломераты таких частиц. Для снижения субъективности оценка проводилась независимо двумя операторами, результаты усреднялись. Применялась ранговая шкала: 0 – отсутствие флуоресцирующих объектов или участков, 1 – единичные, 2 – умеренное количество, 3 – выраженное накопление.

Статистическая обработка данных полуколичественной оценки выполнялась с использованием метода Bootstrap с поправкой Холма – Бонферрони. С одной стороны, Bootstrap обеспечивает устойчивость анализа при небольшом объеме выборки и не требует строгих допущений о распределении данных, что особенно важно для ранговых шкал. С другой, для множественных сравнений между группами использовалась поправка Холма – Бонферрони, которая представляет собой усовершенствованную версию классической поправки Бонферрони. Этот метод позволяет эффективно контролировать общий уровень ошибок первого рода (ложноположительных результатов), возникающих при множественном тестировании, при этом сохраняя более высокую статистическую мощность по сравнению с консервативной классической процедурой. Сначала полученные р-значения упорядочиваются по возрастанию, после чего каждому из них присваивается индивидуальный уровень значимости, становящийся все более строгим по мере увеличения ранга. Проверка гипотез осуществляется последовательно: если первая (наименьшая) р-значимость оказывается статистически значимой, проверка продолжается; в противном случае весь набор признается недостоверным. Такой подход позволяет более надежно интерпретировать результаты множественных сравнений, минимизируя риск случайных находок при сохранении чувствительности анализа [14].

Результаты исследования и их обсуждение

На рисунке представлены микрофотографии фрагментов тканей легких животных контрольной группы и животных, подвергшихся воздействию МП размером 100 и 1000 нм, полученные во флуоресцентном режиме.



Микрофотографии фрагментов легких животных контрольной группы (а) и экспериментальных животных, подвергшихся воздействию МП размером 100 (б) и 1000 (в), увеличение $\times 200$

В контрольной группе визуализируется умеренное равномерное фоновое свечение ткани, обусловленное естественной аутофлуоресценцией. Это явление характерно для многих биологических структур, в том числе коллагена, эластина, липофусцина, и служит естественным «шумом», неминуемо сопровождающим флуоресцентную микроскопию. Важно отметить, что аутофлуоресценция не является артефактом, она отражает естественную метаболическую активность тканей.

Структура ткани животных, получавших микропластицы пластика размером 100 или 1000 нм, сохранена и аналогична контролю. Вместе с тем встречаются яркие флуоресцирующие объекты разного размера – микропластицы пластика либо их конгломераты.

Полуколичественная оценка накопления микропластика показала, что в контрольной группе среднее количество флуоресцирующих объектов и их конгломератов составило $0,12 \pm 0,04$ балла. Эти значения не свидетельствуют о наличии микропластика как такового, а скорее отражают уровень фоновой флуоресценции, характерный для данной ткани. Поскольку оценка проводилась вслепую двумя независимыми операторами, вероятно, отдельные участки фонового свечения могли быть ошибочно интерпретированы как частицы.

В группе, получившей микропластицы диаметром 100 нм, это значение было статистически значимо выше и составило

$0,54 \pm 0,05$ балла ($p = 0,0001$ по сравнению с контролем). В группе, получившей частицы диаметром 1000 нм, уровень накопления оказался еще выше – $1,31 \pm 0,06$ балла ($p = 0,0001$ по сравнению с контролем). Различия между двумя экспериментальными группами также оказались статистически значимыми ($p = 0,0001$), при этом показатель для группы 1000 нм почти в два раза превышал таковой для группы 100 нм.

Важно подчеркнуть, что задачей настоящего исследования не являлось моделирование реального (ингаляционного) пути поступления микропластика в организм. Целью работы было расширение научных представлений о распределении частиц в случае их попадания в системный кровоток, например, после преодоления желудочно-кишечного барьера. Предполагается, что различия в распределении микропластиц после внутрисердечного введения обусловлены как физико-химическими свойствами самих частиц, так и особенностями системного и легочного кровообращения. При введении вещества в левый желудочек сердца оно поступает в большой круг кровообращения, однако дальнейшее поведение частиц зависит от их размера, как это известно и доказано, например, для частиц микро- и нанометрового диапазона [9, 15]. Частицы диаметром 100 нм, крайне близкие к нанометровому диапазону, обладая низким гидродинамическим сопротивлением, потенциально способны проходить через капиллярные барьеры и распро-

страняться таким образом [16]. Напротив, микрочастицы 1000 нм, ввиду больших размеров, могут задерживаться на уровне микрососудов, особенно в условиях высокой вязкости среды и наличия клеточных фильтров в легочном русле.

Дополнительным фактором, влияющим на распределение микрочастиц пластика в живом организме, может быть фагоцитоз со стороны иммунных клеток. Как первичный фагоцит в легких, альвеолярный макрофаг отвечает за удаление чужеродных частиц и патогенов. И, хотя он может поглощать частицы в том числе до 1000 нм, частицы более 100 нм уже считаются достаточно крупными для фагоцитоза. Существует два независимых механизма эндоцитоза крупных частиц свыше 100 нм: фагоцитоз и макропиноцитоз. Обе формы эндоцитоза опосредованы рецепторами и требуют актин-зависимой перестройки цитоскелета; однако механика поглощения различна. Фагоцитоз включает механизм, подобный застежке-молнии, в котором псевдоподии плотно обхватывают цель, исключая окружающую жидкость. Для сравнения, макропиноцитоз использует складки клеточной мембраны, которые выступают вокруг цели, складываются обратно на мембрану и сливаются, образуя большие эндоцитарные макропиносомы [17]. Также стоит отметить, что частицы свыше 1000 нм и их конгломераты могут быть слишком крупными для эффективного захвата [17]. Таким образом, можно предположить, что частицы меньшего размера, поступив с током крови в легкие, частично покидают их и продолжают циркуляцию, в то время как более крупные микрочастицы остаются в легочной ткани. Следует отметить, что визуально фиксируемое скопление флуоресцирующих объектов не позволяет с уверенностью установить, наблюдаются ли индивидуальные частицы, их агрегаты или поглощенные макрофагами комплексы. Полученные данные подтверждают, что физические характеристики, такие как размер частиц, играют ключевую роль в их биологическом поведении. Эти параметры должны учитываться не только для наноматериалов, но и в отношении микропластика, влияние которого на организм остается недостаточно изученным. Вместе с тем необходимы дальнейшие исследования, включая иммуногистохимические и ультраструктурные методы, необходимы для выяснения механизмов клеточного захвата, накопления и элиминации микропластика при остром и особенно при длительном воздействии.

Заключение

В исследовании на белых крысах-самках показано, что уже через 5 ч после однократного системного воздействия (внутрисердечного введения) микрочастицы пластика диаметром 100 и 1000 нм накапливаются в легочной ткани крыс. Степень накопления при этом зависит от размера частиц: более крупные частицы выявлялись статистически значимо чаще, чем частицы меньшего диаметра. Вероятно, это связано как с особенностями легочной микроциркуляции, так и с ограничениями фагоцитарной активности макрофагов в отношении частиц определенного размера.

Наблюдаемая тенденция подчеркивает важность учета физико-химических свойств микропластика при оценке его биологического поведения. Визуально определяемые флуоресцирующие объекты могут представлять собой как отдельные частицы, так и их конгломераты или комплексы, поглощенные макрофагами, что требует уточнения с помощью дополнительных методов. Полученные результаты демонстрируют перспективность полук количественного подхода к оценке накопления микропластика и подчеркивают необходимость дальнейшего изучения механизмов его распределения и элиминации, особенно в условиях длительного воздействия.

Список литературы

1. Zhao S., Kvale K.F., Zhu L., Zettler E.R., Egger M., Mincer T.J., Amaral-Zettler L.A., Lebreton L., Niemann H., Nakajima R., Thiel M., Bos R.P., Galgani L., Stubbins A. The distribution of subsurface microplastics in the ocean // *Nature*. 2025. Vol 641, Is. 8061. P. 51–61. DOI: 10.1038/s41586-025-08818-1.
2. Kwon J.H., Kim J.W., Pham T.D., Tarafdar A., Hong S., Chun S.H., Lee S.H., Kang D.Y., Kim J.Y., Kim S.B., Jung J. Microplastics in Food: A Review on Analytical Methods and Challenges // *Int J Environ Res Public Health*. 2020. Vol 17, Is. 18. P. 6710. DOI: 10.3390/ijerph17186710.
3. Ali-Hassanzadeh M., Arefinia N., Ghoreschi Z.A., Askarpour H., Mashayekhi-Sardoo H. The effects of exposure to microplastics on female reproductive health and pregnancy outcomes: A systematic review and meta-analysis // *Reprod Toxicol*. 2025. № 135. P. 108932. DOI: 10.1016/j.reprotox.2025.108932.
4. Li Q., Niu X., Cai Y., Li L., Xia Z. Exposure to submicroplastics promotes the progression of nonalcoholic fatty liver disease in ApoE-deficient mice // *Toxicology*. 2025. № 515. P. 154137. DOI: 10.1016/j.tox.2025.154137.
5. Xia S., Yan C., Cai G., Xu Q., Zou H., Gu J., Yuan Y., Liu Z., Bian J. Gut dysbiosis exacerbates inflammatory liver injury induced by environmentally relevant concentrations of nanoplastics via the gut-liver axis // *J. Environ Sci (China)*. 2025. № 155. P. 250–266. DOI: 10.1016/j.jes.2024.11.022.
6. Sofield C.E., Anderton R.S., Gorecki A.M. Mind over Microplastics: Exploring Microplastic-Induced Gut Disruption and Gut-Brain-Axis Consequences // *Curr Issues Mol Biol*. 2024. Vol 46, Is. 5. P. 4186–4202. DOI: 10.3390/cimb46050256.
7. Zarus G.M., Muianga C., Hunter C.M., Pappas R.S. A review of data for quantifying human exposures to micro and nanoplastics and potential health risks // *Sci Total Environ*. 2021. № 756. P. 144010. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2020.144010.

8. Joudeh N., Linke D. Nanoparticle classification, physicochemical properties, characterization, and applications: a comprehensive review for biologists // *J Nanobiotechnology*. 2022. Vol 20, Is. 1. P. 262. DOI: 10.1186/s12951-022-01477-8.
9. Sukhanova A., Bozrova S., Sokolov P., Berestovoy M., Karaulov A., Nabiev I. Dependence of Nanoparticle Toxicity on Their Physical and Chemical Properties // *Nanoscale Res Lett*. 2018. Vol. 13, Is. 1. P. 44. DOI: 10.1186/s11671-018-2457-x.
10. Chand N., Krause S., Prajapati S.K. The potential of microplastics acting as vector for triclosan in aquatic environments // *Aquat Toxicol*. 2025. № 284. P. 107381. DOI: 10.1016/j.aquatox.2025.107381.
11. Adamu H., Haruna A., Zango Z.U., Garba Z.N., Musa S.G., Yahaya S.M., IbrahimTafida U., Bello U., Danmallam U.N., Akinpelu A.A., Ibrahim A.S., Sabo A., Aljunid Merican Z.M., Qamar M. Microplastics and Co-pollutants in soil and marine environments: Sorption and desorption dynamics in unveiling invisible danger and key to ecotoxicological risk assessment // *Chemosphere*. 2024. № 362. P. 142630. DOI: 10.1016/j.chemosphere.2024.142630.
12. Carr K.E., Smyth S.H., McCullough M.T., Morris J.F., Moyes S.M. Morphological aspects of interactions between microparticles and mammalian cells: intestinal uptake and onward movement // *Prog Histochem Cytochem*. 2012. Vol 46, Is. 4. P. 185–252. DOI: 10.1016/j.proghi.2011.11.001.
13. Kannan K., Vimalkumar K. A Review of Human Exposure to Microplastics and Insights Into Microplastics as Obesogens // *Front Endocrinol (Lausanne)*. 2021. № 12. P. 724989. DOI: 10.3389/fendo.2021.724989.
14. Wallace H.M., Alexander J., Barregård L., Bignami M. Presence of microplastics and nanoplastics in food, with particular focus on seafood // *EFSA Journal*. 2016. № 14. P. 1–30.
15. Prow T.W., Grice J.E., Lin L.L., Faye R., Butler M., Becker W., Wurm E.M., Yoong C., Robertson T.A., Soyer H.P., Roberts M.S. Nanoparticles and microparticles for skin drug delivery // *Adv Drug Deliv Rev*. 2011. Vol. 63, Is. 6. P. 470–491. DOI: 10.1016/j.addr.2011.01.012.
16. Thomas O.S., Weber W. Overcoming Physiological Barriers to Nanoparticle Delivery-Are We There Yet? // *Front Bioeng Biotechnol*. 2019. № 7. P. 415. DOI: 10.3389/fbioe.2019.00415.
17. Mohning M.P., Thomas S.M., Barthel L., Mould K.J., McCubbrey A.L., Frasch S.C., Bratton D.L., Henson P.M., Janssen W.J. Phagocytosis of microparticles by alveolar macrophages during acute lung injury requires MerTK // *Am J Physiol Lung Cell Mol Physiol*. 2018. Vol. 314, Is. 1. P. L69–L82. DOI: 10.1152/ajplung.00058.2017.

Конфликт интересов: Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest: The authors declare that there is no conflict of interest.

Финансирование: Исследование было выполнено в рамках отраслевой научно-исследовательской программы Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека на 2021–2025 гг.

Financing: The study was carried out as part of the industry research program of the Federal Service for Surveillance on Consumer Rights Protection and Human Wellbeing for 2021–2025.

УДК 637.344

ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ КОРМОВОГО РАЦИОНА И ВЛИЯНИЕ МОЛОЧНОЙ СЫВОРОТКИ НА ПЕРЕВАРИВАНИЕ ПИТАТЕЛЬНЫХ ВЕЩЕСТВ

Кузиев М.С. ORCID ID 0000-0001-9528-9094,**Эргашев Д.У. ORCID ID 0009-0007-8813-9929***Самаркандский государственный университет имени Шароф Рашидова,
Самарканд, Узбекистан, e-mail: d4090393@gmail.com*

В данной научной статье исследуется химический состав кормового рациона и влияние молочной сыворотки на усвоение питательных веществ. Молочная сыворотка – вторичный продукт молочной промышленности, содержащий белки, аминокислоты, лактозу, минеральные вещества и витамины, обладающие высокой биологической ценностью. Эти компоненты оказывают непосредственное влияние на эффективное переваривание и всасывание питательных веществ в организме животного, а также на активизацию процессов обмена веществ и энергии. Цель исследования – изучить химический состав кормового рациона и влияние молочной сыворотки на переваривание питательных веществ. В исследовании бройлерным курам породы Росс-308 давали рационы с добавлением 13% молочной сыворотки и формировали экспериментальные группы. На их основе, в результате обогащения химического состава корма, было определено количество общего сухого вещества, сырого протеина, сырого жира, сырой клетчатки, безазотистых экстрактивных веществ и сырой золы в кормовом рационе и изучена степень их усвояемости. Результаты показали, что кормовой рацион с добавлением молочной сыворотки повышает активность пищеварительных ферментов у животных и значительно улучшает всасывание питательных веществ. Это привело к улучшению темпов роста, показателей продуктивности и общего физиологического состояния. Также научно обосновано значение молочной сыворотки как экологически безопасного, недорогого и легкоусвояемого кормового компонента. Результаты исследования демонстрируют возможности широкого использования молочной сыворотки при составлении качественных и эффективных кормовых рационов в птицеводстве, улучшении здоровья и повышении продуктивности животных.

Ключевые слова: куры-бройлеры, рацион корма, химический состав корма, сухое вещество, сырой протеин, сырой жир, сырая клетчатка, сырая зола, безазотистые экстрактивные вещества, сыворотка, переваримость

CHEMICAL COMPOSITION OF THE FEED RATION AND THE EFFECT OF WHEY ON THE DIGESTION OF NUTRIENTS

Kuziyev M.S. ORCID ID 0000-0001-9528-9094,**Ergashev D.U. ORCID ID 0009-0007-8813-9929***Samarkand State University named after Sharof Rashidov,
Samarkand, Uzbekistan, e-mail: d4090393@gmail.com*

This scientific article examines the chemical composition of the feed ration and the effect of whey on nutrient absorption. Whey is a secondary product of the dairy industry containing proteins, amino acids, lactose, minerals and vitamins with high biological value. These components have a direct impact on the effective digestion and absorption of nutrients in the animal's body, as well as on the activation of metabolic and energy processes. The aim of the study was to study the chemical composition of the feed ration and the effect of whey on the digestion of nutrients. In the study, broiler breeds of the Ross-308 breed were given a diet with the addition of 13% whey and experimental groups were formed. Based on them, as a result of enriching the chemical composition of feed, the amount of total dry matter, crude protein, crude fat, crude fiber, nitrogen-free extractive substances, and crude ash in the feed ration was determined and the degree of their assimilation was studied. The results showed that a feed ration with the addition of milk whey increases the activity of digestive enzymes in animals and significantly improves the absorption of nutrients. This led to an improvement in growth rates, productivity indicators, and overall physiological condition. Also, the importance of whey as an environmentally safe, inexpensive, and easily digestible feed component has been scientifically substantiated. The research results demonstrate the possibilities of widespread use of milk whey in the preparation of high-quality and effective feed rations in poultry farming, improving the health and increasing the productivity of animals.

Keywords: broiler chickens, feed ration, feed chemical composition, dry matter, crude protein, crude fat, crude fiber, crude ash, nitrogen-free extractive substances, whey, digestibility

Введение

Кормление животных кормами, содержащими в достаточном количестве легкоусвояемые организмом питательные вещества, в достаточной степени стимулирует их рост и развитие, поэтому обеспечение сбалансированными кормовыми рациона-

ми – одно из основных условий дальнейшего развития птицеводческой отрасли. Кормовые добавки, используемые в настоящее время для обогащения кормовых рационов, служат для балансировки комплексных кормов со всеми необходимыми питательными веществами, повышения их усвояемости,

а также снижения бактериальной загрязненности и токсичности в составе ингредиентов. Это, в свою очередь, повышает продуктивность и сохранность птицы [1; 2].

При кормлении птицы в качестве кормовых добавок широко используются такие биологически активные вещества, как витамины, аминокислоты, синтетические и природные гормоны, ферменты, микроэлементы. Однако вещества, выращенные в естественных условиях или синтезированные из природных источников, считаются все-сторонне удобными для использования в качестве пищевых добавок [3].

При выращивании кур-бройлеров основным технологическим процессом является обеспечение сбалансированными кормами с высокой пищевой ценностью в суточном режиме, то есть с возможностью потребления корма и воды в любое время [4; 5]. Большая часть кормов для птицы (пшеница, кукуруза, соя, ячмень) состоит из зерновых продуктов растений, которые относительно экономически дороги. Поэтому поиск и внедрение новых источников биологически активных и питательных веществ в птицеводстве остается актуальной задачей [6].

Питательные вещества, получаемые птицами и животными с пищей, воздействуют на организм как на единый комплекс. Сбалансированность этого комплекса по сухому веществу, энергии, белкам, жирам, углеводам, витаминам, минералам и другим биологически активным веществам является основным показателем, отвечающим потребностям организма. Однако при составлении сбалансированного кормового рациона необходимо учитывать и стоимость компонентов, так как это может привести к увеличению себестоимости продукции животного происхождения [7; 8].

Куриное мясо является самым широко используемым продуктом в мире в качестве природного источника белка для обеспечения населения качественными продуктами питания. На куриное мясо приходится более 89% мирового производства птицеводства [9]. Поэтому можно развивать птицеводство и укреплять кормовую базу, обогащать корма за счет кормовых добавок, повышать продуктивность и укреплять здоровье животных. Биотерапия – понятие, включающее в себя понятия «пробиотические продукты», «пребиотики» и «пробиотики», впервые было введено И.И. Мечниковым. Он обнаружил, что молочнокислые бактерии оказывают положительное воздействие на организм человека [10; 11].

В последнее время особое внимание уделяется использованию источников, ко-

торые широко применяются в качестве пищевых добавок, и отходов, выделяющихся при переработке сырья в пищевой промышленности, которые до недавнего времени практически не использовались [12; 13]. Исходя из вышеизложенного, формирование прочной кормовой базы в сфере птицеводства, поиск эффективных, потенциальных биологических кормовых добавок, разработка научных основ их использования в практике кормления птицы требуют детального изучения. Поэтому были проведены исследования по улучшению питательной ценности кормов путем обогащения их молочной сывороткой с целью повышения питательной ценности и усвояемости кормов для птицы.

Цель исследования – изучить влияние включения молочной сыворотки в рацион кур-бройлеров породы Росс-308 на химический состав кормов и показатели переваримости питательных веществ.

Материалы и методы исследования

Эксперименты по физиологическому балансу проводились в виварии Института биохимии Самаркандского государственного университета имени Шарофа Рашидова, а научно-производственные эксперименты – на птицефабрике ООО «Ургут сифат парранда». Для этих экспериментов были отобраны 2-дневные бройлеры породы Росс-308, аналогичные по всем морфофизиологическим показателям. Из полученных кур-бройлеров были сформированы контрольная и две экспериментальные группы. Создан специально сформированный кормовой рацион для периодов «Старт» (2-14-дневный), «Рост» (15-28-дневный) и «Финиш» (29-42-дневный) бройлерных кур, отличающихся ростом и развитием, а также физиологическими особенностями [14; 15].

Сухое вещество в сформированном кормовом рационе создано расчетным путем; зола – обжигом в муфельной печи марки LE 6/11/R7; сырой протеин (общий азот) – по методу Кьельдаля; сырой жир – по методу экстракции Сокслета; БЭВ – путем вычитания сырого протеина, сырого жира и сырой клетчатки из количества органических веществ, обменная энергия – по В.А. Попову и У. Аксельсону; переваримый протеин – путем подсчета выделенных с калом белков из количества сырого протеина в составе корма.

Результаты исследования и их обсуждение

Сформированный кормовой рацион был создан на основе местных продуктов,

составлялся исходя из потребностей периодов «Старт», «Рост» и «Финиш» и содержал в своем составе соответствующее количество питательных веществ. В состав сформированного кормового рациона в I опытной группе добавляли 13% от кормовой массы жидкую сыворотку, выделяющуюся при производстве сыра, а во II опытной группе добавляли сыворотку, выделяющуюся при производстве творога, 13% от кормовой массы, в качестве натуральной пищевой добавки.

Молочную сыворотку добавляли в кормовой рацион в качестве натуральной кормовой добавки в целях обогащения пищевых свойств, химического состава, повышения биологической ценности и показателей переваримости кормовых рационов, сформированных для животных опытной груп-

пы. В результате состав кормовых рационов, сформированных для периодов старта, роста и финиша бройлерных кур, был значительно обогащен (табл. 1).

В результате добавления сыворотки молока в сформированный для экспериментов кормовой рацион наблюдалось относительное обогащение химического состава корма, и, согласно приведенным данным, обменная энергия сформированного кормового рациона была обеспечена на уровне нормы, в стартовом периоде обменная энергия увеличилась на 2,69% в I опытном рационе и на 3,26% во II опытном рационе по сравнению с контролем, на 2,76% и 4,55% в период «Рост» и на 2,97% и 3,60% в период «Финиш». Эти данные показывают, что добавление сыворотки молока повысило энергетическую ценность корма.

Таблица 1

Изменение химического состава кормов, обогащенных молочной сывороткой, по сравнению с контрольной группой

Показатели	Экспериментальные группы	Различающиеся периоды роста и развития		
		Старт	Рост	Финиш
Обменная энергия, ккал/100 г	Контроль	331,74	318,45	301,35
	Эксперимент I	340,69	327,25	310,31
	Эксперимент II	342,56	332,93	312,21
Сухое вещество, г	Контроль	82,35	82,02	82,16
	Эксперимент I	83,62	83,19	83,26
	Эксперимент II	83,67	83,32	83,57
Сырой протеин, г	Контроль	22,21	21,30	20,18
	Эксперимент I	22,81	21,90	20,78
	Эксперимент II	22,93	21,95	20,80
Сырой жир, г	Контроль	3,57	3,42	3,52
	Эксперимент I	3,65	3,51	3,61
	Эксперимент II	3,63	3,48	3,58
Сырая клетчатка, г	Контроль	6,23	6,05	5,96
	Эксперимент I	6,11	5,93	5,85
	Эксперимент II	6,15	5,97	5,88
Безазотистые экстрактивные вещества, г	Контроль	56,75	57,92	59,43
	Эксперимент I	57,05	58,22	59,74
	Эксперимент II	57,21	58,39	59,92
Зола, г	Контроль	3,98	3,96	3,94
	Эксперимент I	4,07	4,04	4,02
	Эксперимент II	4,03	4,01	3,99
Переваримый белок, г	Контроль	18,69	17,78	16,68
	Эксперимент I	19,07	18,16	17,05
	Эксперимент II	19,04	18,13	17,02

Источник: составлено авторами на основе полученных данных в ходе исследования.

Количество сухого вещества в рационе корма также значительно увеличилось в экспериментальных группах по сравнению с контрольной группой, в частности в рационе I экспериментальной группы в период «Старт» по сравнению с контролем увеличилось на 1,54%, во II экспериментальной группе на 1,60%, в период «Рост» на 1,43% и 1,58%, а в период «Финиш» на 1,34% и 1,71% соответственно. Количество сырого протеина в рационе корма также значительно увеличилось в экспериментальных группах по сравнению с контрольной группой. В стартовом периоде в рационе I экспериментальной группы по сравнению с контролем увеличилось на 2,70%, во II экспериментальном рационе на 3,24%, в период «Рост» на 2,82% и 3,05%, а также в период «Финиш» на 2,97% и 3,07%.

Обогащение кормового рациона сывороткой молока привело к увеличению количества сырого жира в рационе по сравнению с контролем, согласно полученным результатам, в период «Старт» в I опытной группе по сравнению с контрольной группой увеличилось на 2,24%, во II опытной группе на 1,68%, в период «Рост» на 2,63% и 1,75%, а в период «Финиш» на 2,56% и 1,70%. Относительно высокое содержание жира в рационе корма второй опытной группы можно связать с относительно высоким содержанием жира в сыворотке молока и физико-химическими свойствами сыворотки молока.

Установлено, что количество трудноперевариваемой сырой клетчатки, как и других питательных веществ, не увеличивается, а, наоборот, уменьшается, согласно результатам, представленным в таблице 1, в рационе I опытной группы в период «Старта» количество безазотистых экстрактивных веществ увеличилось на 0,53% по сравнению с контрольной группой, во II опытном рационе на 0,81%, в период «Роста» на 0,52% и 0,81%, а в период «Финиша» на 0,52% и 0,82%.

Установлено, что количество золы в сформированном кормовом рационе в обеих экспериментальных группах было выше, чем в рационе контрольной группы. Содержание золы в корме во всех трех периодах роста и развития было выше в экспериментальных группах по сравнению с контрольной группой, содержание золы в рационе I экспериментальной группы увеличилось на 2,26% в период «Старт», на 1,25% во II экспериментальном рационе, на 2,02% и 1,26% в период «Рост» и на 2,03% и 1,27% в период «Финиш» по сравнению с рационом контрольной группы. Высокое содержание золы в рационе опытных групп по сравнению с контролем можно объяснить содержанием минеральных веществ в сыворотке

молока, добавляемой в качестве пищевой добавки. По данным А.Г. Храмцова (2011), при производстве сыра 12% минеральных веществ в молоке попадает в состав сыра, 73% – в сыворотку, а оставшиеся 5% теряются в процессе переработки, а при производстве творога 60% минеральных веществ попадает в сыворотку [12]. Данные, приведенные в таблице 1, также можно объяснить тем, что количество минеральных веществ в рационе I опытной группы, то есть в рационе, обогащенном молочной сывороткой, выделяемой при производстве сыра, больше, чем в рационе II группы опытных животных, что объясняется разницей в количестве минеральных веществ в сыворотке молока.

Установлено, что количество переваримого протеина в рационе корма также значительно выше в рационе опытных групп по сравнению с рационом контрольной группы, в частности в период «Старт» количество переваримого протеина в рационе I опыта увеличилось на 2,03%, во II опытном рационе на 1,87% по сравнению с контролем, в период «Рост» на 2,13% и 1,96% и в период «Финиш» на 2,21% и 2,03%. В полученных результатах относительно большое количество переваримого протеина в рационе I опытной группы по сравнению со II опытным рационом, что можно объяснить количественной разницей белковых веществ в сыворотке молока.

В целом установлено, что добавление в кормовой рацион, формируемый для кормления бройлеров, молочной сыворотки обогащает химический состав кормов, одновременно повышая пищевую ценность и пищевые свойства кормового рациона.

Использование молочной сыворотки в качестве натуральной кормовой добавки с целью повышения пищевой ценности, питательности, пищевых свойств и показателей переваримости питательных веществ кормов для птицы не только обогащает химический состав кормов, но и приводит к значительному увеличению показателей переваримости питательных веществ в составе кормового рациона. Молочная сыворотка, используемая в качестве пищевой добавки, может по-разному влиять на уровень усвояемости различных питательных веществ, в целом добавление молочной сыворотки в качестве пищевой добавки комплексно повышает уровень усвояемости питательных веществ (табл. 2).

В ходе эксперимента при добавлении сыворотки молока, выделяющейся в процессе производства творога и сыра, в кормовой рацион кур-бройлеров отмечены значительные положительные изменения в уровне усвояемости питательных веществ.

Таблица 2

Степень усвояемости питательных веществ
в составе кормового рациона кур-бройлеров, %

Показатель	Экспериментальные группы	Периоды, различающиеся по росту и развитию		
		Старт	Увеличение	Финиш
Общее сухое вещество	Контроль	71,85±0,85	72,92±1,12	72,15±1,25
	Эксперимент 1	73,35±1,12	75,42±0,76	74,66±1,08
	Эксперимент 2	73,08±0,78	75,01±1,24	74,18±1,12
Сырой протеин	Контроль	87,29±1,07	88,45±1,17	88,27±1,07
	Эксперимент 1	89,69±0,98	91,13±2,07	90,26±1,66
	Эксперимент 2	89,03±2,75	90,47±1,81	89,81±0,97
Сырой жир	Контроль	72,06±0,91	74,27±0,97	75,23±1,83
	Эксперимент 1	73,28±1,27	75,54±1,14	76,45±1,31
	Эксперимент 2	72,97±1,09	75,27±1,01	76,23±0,85
Сырая клетчатка	Контроль	13,96±0,75	14,68±0,13	15,25±0,69
	Эксперимент 1	14,28±0,68	15,03±0,78	15,62±0,81
	Эксперимент 2	14,14±0,45	14,94±0,69	15,51±0,97
Сырая зола	Контроль	4,34±0,12	4,68±0,78	4,97±0,25
	Эксперимент 1	4,46±0,46	4,82±0,16	5,11±0,37
	Эксперимент 2	4,43±0,31	4,77±0,41	5,06±0,22
БЭВ	Контроль	86,76±206	89,45±2,12	89,94±0,87
	Эксперимент 1	88,61±1,21	91,34±1,45	91,82±2,91
	Эксперимент 2	88,33±3,34	91,06±0,89	91,46±1,76

Источник: составлено авторами на основе полученных данных в ходе исследования.

Поскольку сыворотка молока богата белками, углеводами, витаминами, аминокислотами, минеральными веществами и другими биологически активными соединениями, которые повышают общую биологическую ценность корма, в эксперименте ожидалось, что добавление этого вещества в корм улучшит уровень усвоения питательных веществ бройлерами. Согласно результатам анализа, уровень переваримости общего сухого вещества в период «Старта» был на 2,08% выше в 1-й опытной группе, на 1,71% во 2-й опытной группе, на 3,43% в 1-й опытной группе, на 2,86% во 2-й опытной группе и на 3,48% в 1-й опытной группе и на 2,81% во 2-й опытной группе по сравнению с контрольной группой. Эти результаты показывают, что добавление сыворотки молока улучшило общее усвоение корма. Особенно высокие результаты наблюдались у экспериментальных животных, которые использовали сыворотку на основе сыра в качестве пищевой добавки. Это, в свою очередь, свидетельствует об активизации процесса усвоения всех компонентов корма.

Уровень переваримости сырого протеина в составе кормов также был выше в экспериментальных группах. Согласно результатам, представленным в таблице 2, переваримость сырого протеина в пери-

од «Старта» была выше в 1-й экспериментальной группе на 2,74% по сравнению с контрольной группой, во 2-й экспериментальной группе на 1,99%, в период «Роста» 1-й эксперимент на 3,03%, 2-й эксперимент на 2,28% и в «Финише» 1-й эксперимент на 2,25%, а во 2-м эксперименте на 1,74% выше. Это показывает, что белки, аминокислоты и ферменты, содержащиеся в сыворотке молока, обладают высокой биологической активностью в организме птицы. Эти компоненты ускоряют белковый обмен у кур и способствуют более полному усвоению азотистых веществ в корме.

Уровень переваримости сырого жира в экспериментальных группах также был значительно выше, чем в контрольной группе. В стартовом периоде степень переваримости сырого жира в 1-й опытной группе была лучше на 1,69%, во 2-й опытной группе на 1,26%, в период роста в 1-м опыте на 1,71%, во 2-м опыте на 1,35% и в финише в 1-м опыте на 1,62%, во 2-м опыте на 1,74% по сравнению с контролем. Это свидетельствует о положительном влиянии биоэмульгаторов, то есть природных веществ, расщепляющих жир, содержащихся в сыворотке молока, на переваривание сырого жира. Уровень переваримости сырой клетчатки также увеличился в эксперимен-

тальных группах, а уровень переваримости сырой клетчатки в рационе кормов по сравнению с контрольной группой в 1-й экспериментальной группе был выше в среднем на 2,36% и во 2-й экспериментальной группе в среднем на 1,68%, что свидетельствует об усилении активности ферментов, расщепляющих клетчатку в кишечнике птицы.

Что касается переваримости сырой золы, то в экспериментальных группах она была стабильной и несколько высокой. Это означает, что минеральные вещества в рационе усваиваются более полно. При переваривании сырой золы, как и других питательных веществ, приведенных выше, результаты во 2-й опытной группе были значительно выше, чем в 1-й опытной группе, что можно объяснить составом и физико-химическими свойствами сыворотки.

Одним из наиболее примечательных показателей в эксперименте является переваримость БЭВ. Эти вещества содержат легкоусвояемые углеводы, сахара и крахмалы и являются основным источником энергии для птицы. Согласно полученным результатам, переваримость БЭВ в период «Старта» была лучше в 1-й опытной группе на 2,13%, во 2-м опыте на 1,81% по сравнению с контролем, в период «Роста» в 1-м опыте на 2,11%, во 2-м опыте на 1,80% и в «Финише» в 1-м опыте на 2,09%, во 2-м опыте на 1,694%. В группе, получавшей сыворотку из сыра, усвоение БЭВ было наиболее высоким, что обеспечивало быстрое переваривание этих веществ, повышало активность кишечника и, как следствие, обеспечивало полное энергообеспечение.

Заключение

В результате применения сыворотки молока в качестве натуральной кормовой добавки к кормам бройлеров относительно обогатился химический состав кормового рациона и повысилась его пищевая ценность, при этом наблюдалась эффективность выделяемой сыворотки молока, особенно при производстве сыра, и в то же время сыворотка молока повышает максимальную переваримость питательных веществ, улучшает темпы роста, продуктивность и общее состояние здоровья птицы, а также повышает экономическую эффективность. Эти результаты также расширяют возможности использования отходов молочной промышленности в качестве эффективной и экономичной кормовой добавки в животноводстве.

Конфликт интересов: Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest: The authors declare that there is no conflict of interest.

Список литературы

1. Nipuna W., Perera U., Velmurugu Ravindran. Role of feed additives in poultry nutrition: Historical, current and future perspectives // *Animal Feed Science and Technology*. 2025. Vol. 326. DOI: 10.1016/j.anifeedsci.2025.116371.
2. Ashur E.A., Abd El-Hack M.E., Alagavaniy M., Svelum A.A., Usmon A.O., Saadeddin I.M., Abdel-Hamid M., El-Sayed OS Husayn. Use of Whey Protein Concentrates in Broiler Diets // *Journal of Applied Poultry Research*. 2019. Vol. 28. Is. 4. P. 1078–1088. DOI: 10.3382/japr/pfz070.
3. Shariatmadari F., Forbes J.M. Performance of broiler chickens given whey in the food and/or drinking water // *British Poultry Science*. 2005. P. 498–505. Accepted 08. URL: <https://www.tandfonline.com/journals/cbps20> (дата обращения: 15.05.2025). DOI: 10.1080/00071660500190900.
4. Shariatmadari F. Feeding schedules for broiler chickens // *World's Poultry Science Journal*. 2009. Vol. 393–400. Sep. DOI: 10.1017/S0043933909000282.
5. Kolina J., Momot N., Kamla I. On the issue of the effectiveness of feed additives // *BIO Web of Conferences*. 2024. Vol. 139. № 11011. DOI: 10.1051/bioconf/202413911011.
6. Roy B.C., Chowdhury S.D., Lutful Kabir S.M. Effects of feeding *Bacillus subtilis* to heat stressed broiler chickens with or without an antibiotic growth promoter // *Asian Journal of Medical and Biological Research*. 2015. № 1 (1). P. 80–88. DOI: 10.3329/ajmbr.v1i1.25502.
7. El-Katcha M.I., Soltan M.A., El-Kaney H.F., Karwarie E.R. Growth performance, blood parameters, immune response and carcass traits of broiler chicks fed on graded levels of wheat instead of corn without or with enzyme supplementation // *Alexandria Journal of Veterinary Sciences*. 2014. Vol. 40. № 1. P. 95–111. DOI: 10.5455/ajvs.48232.
8. Fouad A.A., Rehab F.M. Effect of germination time on proximate analysis, bioactive compounds and antioxidant activity of lentil (*Lens culinaris* Medik.) sprouts // *Acta Scientiarum Polonorum Technologia Alimentaria*. 2015. Vol. 3. No. 14. P. 233–46. DOI: 10.17306/J.AFS.2015.3.25.
9. Makala H. Impact of Selected Feed Additives in Broiler Nutrition on Breeding and the Meat Quality Features // *Advanced Studies in the 21st Century Animal Nutrition Submitted: 16 February 2021 Reviewed: 28 June 2021 Published: 16 August 2021*. DOI: 10.5772/intechopen.99099.
10. Elif P., Danila C., Sukru G., Merve T., Esra C. Iron Absorption: Factors, Limitations, and Improvement Methods // *ACS Omega*. 2022. № 7 (24) P. 20441–20456. DOI: 10.1021/acsomega.2c01833.
11. Gelberg H.B. Alimentary System and the Peritoneum, Omentum, Mesentery, and Peritoneal Cavity // *Pathologic Basis of Veterinary Disease*. 2017. P. 324–411. DOI: 10.1016/B978-0-323-35775-3.00007-2.
12. Gao J., Yang D., Sun Z., Niu J., Bao Y., Liu S., Tan Z., Hao L., Cheng Y., Liu S. Changes in Blood Metabolic Profiles Reveal the Dietary Deficiencies of Specific Nutrients and Physiological Status of Grazing Yaks during the Cold Season in Qinghai Province of China // *Metabolites*. 2022. Vol. 12(8). № 738. DOI: 10.3390/metabo12080738.
13. Zampiga M., Calini F., Sirri F. Importance of feed efficiency for sustainable intensification of chicken meat production: implications and role for amino acids, feed enzymes and organic trace minerals // *Worlds Poult.* 2021. Vol. 77. P. 639–659. DOI: 10.1080/00439339.2021.1959277.
14. Tsiouris V. et al. The Effect of Whey on Performance, Gut Health and Bone Traits in Broilers // *Foods*. 2020. Vol. 9. № 588. DOI: 10.3390/foods9050588.
15. Greenhalgh S. Dietary crude protein concentrations, feed grains, and whey protein interactively influence apparent digestibility coefficients of amino acids, protein, starch // *Poultry Science*. 2022. Vol. 101. № 102131. DOI: 10.1016/j.psj.2022.102131.

УДК 595.732.1:582.948.2

СОЗДАНИЕ БИОЛОГИЧЕСКИ ЭФФЕКТИВНОГО ТЕРМИТОЦИДНОГО ПРЕПАРАТА ИЗ РАСТЕНИЯ *RINDERA TETRASPIS*

¹Хашимова М.Х. ORCID ID 0000-0003-2712-1024,

¹Ганиева З.А. ORCID ID 0000-0001-5759-1137, ¹Рустамов К.Ж.,

¹Ембергенов М.А. ORCID ID 0009-0005-5478-9216,

¹Мирзаева Г.С. ORCID ID 0009-0006-3520-6174,

²Мукаррамов Н.И., ³Олимова Х.Н.

¹Республиканский научно-производственный центр борьбы с термитами Академии наук
Республики Узбекистан, Ташкент, Узбекистан, e-mail: m_khashimova@mail.ru;

²Научно-исследовательский институт карантина и защиты растений
Республики Узбекистан, Ташкент, Узбекистан;

³Институт химии растительных веществ Академии наук
Республики Узбекистан, Ташкент, Узбекистан

В настоящее время одной из приоритетных задач по защите деревянных конструкций, а также стратегических и культурно-исторических объектов от повреждений термитами является разработка новых противотермитных приманок с использованием эффективных и экологически безопасных средств. Повышение привлекательности и биологической активности приманок требует рационального использования биологически активных веществ, включая соединения природного происхождения. Целью настоящей работы является разработка высокоэффективных средств борьбы с термитами. В связи с этим были проведены исследования выявления инсектицидной активности растительных экстрактов, полученных в Институте химии растительных веществ Академии наук Республики Узбекистан, с последующей оценкой их в качестве термитов. Особое внимание уделялось ротации действующих веществ в приманках для предотвращения развития устойчивости у насекомых. В статье представлены результаты лабораторных исследований, оценивающих биологическую эффективность экстракта Rs-H 10%, полученного из растения *Rindera tetraspis*, в отношении рабочих особей термитов. Препарат применяли в водных растворах в соотношениях 1:3, 1:4 и 1:5. Указанные концентрации продемонстрировали высокую токсичность, обеспечивая биологическую эффективность в диапазоне 85,3–98,9%. Полученные результаты позволяют рекомендовать экстракт *Rindera tetraspis* в качестве эффективного термитового компонента для включения в состав приманок и применения в полевых условиях.

Ключевые слова: термиты, приманка, резистентность, инсектициды, биологическая активность, растительный экстракт, аттрактант

DEVELOPMENT OF A BIOLOGICALLY EFFECTIVE TERMITICIDE FROM THE PLANT *RINDERA TETRASPIS*

¹Khashimova M.Kh. ORCID ID 0000-0003-2712-1024,

¹Ganieva Z.A. ORCID ID 0000-0001-5759-1137, ¹Rustamov K.Zh.,

¹Embergenov M.A. ORCID ID 0009-0005-5478-9216,

¹Mirzaeva G.S. ORCID ID 0009-0006-3520-6174,

²Mukarramov N.I., ¹Olimova K.N.

¹Republican Scientific and Production Center for Termite Control at the Institute of Zoology,
Academy of Sciences of the Republic of Uzbekistan, Tashkent, Uzbekistan,
e-mail: m_khashimova@mail.ru;

²Institute of the Chemistry of Plant Substances, Academy of Sciences
of the Republic of Uzbekistan, Tashkent, Uzbekistan;

³Research Institute of Plant Quarantine and Protection
of the Republic of Uzbekistan, Tashkent, Uzbekistan

Currently, one of the priority tasks in protecting wooden structures, as well as strategic and cultural-historical sites from termite damage, is the development of new anti-termite baits using effective and environmentally safe agents. Enhancing the attractiveness and biological activity of baits requires the rational use of biologically active substances, including compounds of natural origin. The aim of this study is to develop highly effective termite control agents. In this regard, research was conducted to identify the insecticidal activity of plant extracts obtained at the Institute of the Chemistry of Plant Substances of the Academy of Sciences of the Republic of Uzbekistan, followed by evaluation of their potential as termiticides. Special attention was given to the rotation of active ingredients in bait formulations to prevent the development of resistance in insects. This article presents the results of laboratory studies evaluating the biological efficacy of the Rs-H 10% extract derived from the plant *Rindera tetraspis* against worker termites. The preparation was applied in aqueous solutions at dilution ratios of 1:3, 1:4, and 1:5. These concentrations demonstrated high toxicity, providing biological efficacy in the range of 85.3% to 98.9%. The obtained results allow us to recommend *Rindera tetraspis* extract as an effective termiticidal component for inclusion in bait formulations and for application under field conditions.

Keywords: termites, bait, resistance, insecticides, biological activity, plant extract, attractant

Введение

Известно более 3000 видов термитов, из которых 120 видов зарегистрированы как вредители. На территории стран Центральной Азии встречаются 4 вида термитов. Из них в Узбекистане широко распространены туркестанский термит (*Anacanthotermes turkestanicus* Jas., 1904) и закаспийский термит *A. ahngerianus* Jas., 1904. Термиты относятся к числу общественных насекомых, ведущих высокоорганизованный образ жизни. Они живут в гнездах большими семьями, объединенными в колонии, численность которых может достигать от нескольких сотен до миллионов особей. Внутри колонии строго распределены функции между различными кастами – рабочими, солдатами и репродуктивными особями. Такая социальная организация обеспечивает не только выживаемость колонии, но и ее способность к активному распространению и адаптации к различным условиям среды [1; 2, с. 2863].

В экосистемах термиты играют важнейшую роль, являясь естественными разрушителями органических остатков. Их деятельность обеспечивает ускоренный процесс разложения растительных тканей, что способствует круговороту углерода и других элементов, а также формированию плодородного слоя почвы. За счет переработки трудноразлагаемой целлюлозы термиты создают органические субстраты, богатые питательными веществами, которые используются другими организмами. Во многих природных биогеоценозах именно деятельность термитов является ключевым звеном в поддержании экологического равновесия и стабильности [3, с. 748; 4, с. 48].

Однако, несмотря на их большое значение в природе, термиты могут наносить серьезный ущерб хозяйственной деятельности человека. Под воздействием антропогенных факторов, связанных с освоением земель, строительством и массовым использованием древесины, возникает глобальная проблема их вредоносной активности. Сегодня термиты признаны одними из наиболее опасных ксилофагов (древоразрушающих организмов) во многих странах мира, включая Узбекистан. Главная особенность термитов заключается в их специализированном питании: основу рациона составляет целлюлоза. Благодаря симбиотическим микроорганизмам в кишечнике, термиты способны расщеплять и усваивать этот труднодоступный для большинства живых организмов полисахарид. В результате они приспособились питаться не только свежими и разлагающимися раститель-

ными остатками, но и сухой древесиной. Именно эта особенность делает их крайне опасными для человека. Термиты повреждают деревянные части зданий и сооружений, перекрытия, архивные документы и другие предметы, содержащие целлюлозу. В результате их жизнедеятельности происходят серьезные разрушения, приводящие к экономическим потерям и угрозе долговечности построек [5, с. 25]. Таким образом, термиты представляют собой двойственный объект: с одной стороны, важнейший компонент природных экосистем, поддерживающий процессы разложения и почвообразования, с другой – опасный биологический вредитель, способный наносить значительный ущерб жилищному строительству, сельскому и лесному хозяйству, а также объектам культурного и исторического наследия. Именно поэтому изучение их биологии, экологии и разработка эффективных методов борьбы с ними имеет как научное, так и прикладное значение [6, с. 215; 7, с. 19.]. Последние годы почти во всех областях нашей республики, особенно в Республике Каракалпакстан, Хорезмской, Сурхандарьинской и Кашкадарьинской областях, ущерб, причиняемый термитами в жилых домах и других сооружениях, стал явно замечен и в некоторых случаях приводит к угрожающим ситуациям. Всемирно известные исторические памятники таких городов Центральной Азии, как Бухара, Самарканд и Хива, также находятся под угрозой из-за разрушительной деятельности термитов [8, с. 469].

На протяжении долгого времени наиболее эффективным способом борьбы с термитами было применение ядовитых веществ из различных классов химических соединений: хлорорганических, фосфорорганических, карбонатных и пиретроидных. Однако современные химические препараты (в основном пиретроиды) часто оказываются неэффективными, поскольку их невозможно применять непосредственно против колоний термитов, обитающих в глубоко расположенных гнездах. Кроме того, использование таких веществ ограничено из-за их способности накапливаться в объектах окружающей среды и оказывать негативное воздействие на человека и других теплокровных животных. Помимо этого, пиретроиды обладают репеллентными свойствами, из-за чего термиты обходят обработанную древесину или почву [9, с. 72; 10, с. 176].

В настоящее время в практике борьбы с термитами в нашей республике применяется ряд методов, среди которых основное место занимают приманки для термитов, разработанные учеными Института зооло-

гии Академии наук Республики Узбекистан. При использовании этих приманок, даже если термиты съедают лишь 30% приманки, вся их колония полностью уничтожается [11; 12].

Однако существует проблема: в условиях жаркого климата Узбекистана термиты добираются до пищи через самодельные туннели из глины, и во многих случаях они не могут обнаружить установленную приманку. Даже если они ее находят, существует вероятность выживания термитов из-за устойчивости (резистентности), развивающейся при многократном применении инсектицидного компонента в составе приманки [13].

Учитывая вышеизложенное, одной из актуальных задач сегодня является разработка новых форм и составов приманок с использованием новых препаратов. Для повышения аттрактантности приманки необходимо синтезировать и рационально использовать биологически активные вещества, такие как алкалоиды. Так же важно проводить ротацию химических средств, входящих в состав приманок для термитов. В этом процессе при поиске наиболее безвредных препаратов первостепенное значение придается испытанию термитоцидных свойств различных соединений синтетического и природного происхождения в лабораторных и полевых условиях [14, с. 44].

Потребность в создании высокоэффективных препаратов для борьбы с термитами послужила основой для проведения исследований по изучению растительных соединений в качестве потенциальных термитоцидов. Механизм действия этих соединений окончательно не выяснен. Однако наиболее вероятным считается, что соединения такого типа воздействуют на вкусовые качества, ингибируя процесс питания, в результате которого уменьшается скорость прохождения пищи по кишечнику за счет их тормозящего воздействия на сокращение мускулатуры кишечника.

Цель исследования – разработка высокоэффективных средств борьбы с термитами.

Материалы и методы исследования

Были проведены исследования выявления инсектицидной активности растительных экстрактов, полученных из местного сырья в Институте химии растительных веществ Академии наук Республики Узбекистан, с последующей оценкой их в качестве термитоцидов. В опытах использовали термитов, привезенных из ССГ «Чимбос» Кушрабатского района Республики Каракалпакстан. Лабораторные испытания проведены

соединениями, полученными из растительного экстракта *Rindera tetraspis*, относящегося к флоре Узбекистана против термитов. Опыты проводили в лаборатории «Биоэкология термитов» Республиканского научно-производственного центра по борьбе с термитами АН РУз.

Испытываемое вещество: RS-H 10% растительный экстракт 10%, полученный из растения *Rindera tetraspis* Pall., относящегося к семейству бурачниковых (Boraginaceae). Растение относится к флоре Узбекистана. Основные активные вещества в составе – пирролизидиновые алкалоиды.

Исследования были проведены на основе методов Трушенковой и Беляевой. Для этого в стерилизованные чашки Петри были помещены рабочие термиты, по 20 особей. В качестве пищи для термитов использовали фильтровальные бумаги, кроме того помещались также фрагменты почвы, взятой из естественных гнезд термитов. Корм, свернутую фильтровальную бумагу размером 2,5х2,5 см, смачивали 1 мл рабочего раствора соответствующей концентрации. Для контрольных термитов корм смачивали дистиллированной водой. Фильтровальную бумагу, пропитанную растительным экстрактом, Rs-H 10% при соотношении 1:1, 1:2, 1:3, 1:4, 1:5 (экстракт: вода). Потом чашки содержали в темном месте. Ежедневно вели учеты и наблюдения, чашки выносили из темного места для просмотра термитов. При этом оценивали их состояние, подсчитывали число живых, парализованных и погибших термитов. Ежедневно оставшихся термитов подпаивали дистиллированной водой. Эксперименты продолжались 7–14 дней. Опытные и контрольные пробы тестировались в 5-кратной повторности. Процент смертности подсчитывали по формуле Аббота, с учетом процента смертности в контроле [15, с. 19].

Результаты исследования и их обсуждение

Лабораторные исследования по определению биологической эффективности Rs-H 10% экстракта, полученного из растения *Rindera tetraspis*, показали, что водные разбавления данного растительного экстракта проявляют различную степень термитоцидной активности по отношению к термитам. В первом варианте опыта (соотношение 1:1) термиты практически отказывались от поедания фильтровальной бумаги, обработанной экстрактом. Это указывает на наличие выраженных репеллентных свойств при высокой концентрации препарата. Биологическая эффективность в данном слу-

чае оказалась низкой: смертность на 3-й день составила 7,0%, к 7-му дню – 17,4%, к 10-му дню – 26,3%, а максимальное значение на 14-й день достигло лишь 51,1%. Данные результаты свидетельствуют о том, что при слишком высоких концентрациях препарат теряет аттрактантные свойства, что снижает его практическую ценность.

При разведении экстракта в соотношении 1:2 поедаемость обработанного субстрата несколько возросла, однако активность термитов оставалась невысокой. В этом варианте смертность термитов составила: на 3-й день – 23,5%, на 7-й день – 27,4%, к 10-му дню – 44,2% и к 14-му дню – 56,3%. Следовательно, и при этом соотношении биологическая эффективность оставалась недостаточной для практического применения.

Наиболее интересные результаты были получены при разведении препарата в соотношении 1:3. В данном случае термиты довольно активно употребляли обработанную фильтровальную бумагу, что свидетельствует о снижении отпугивающего эффекта и появлении аттрактантных свойств. Уже на 3-й день учета отмечалось 34,4% смертности, на 7-й день – 70,5%, на 10-й день – 71,6%, а к 14-му дню уровень смертности достиг 85,3%. Эти показатели можно рассматривать как проявление высокой биологической активности препарата, обеспечивающей положительную оценку его термитоцидной эффективности.

Самые высокие показатели зафиксированы при разведении экстракта в соотношении 1:4. В этом варианте термиты активно питались обработанным субстратом, при этом экстракт проявил максимальную токсичность. Уже на 3-й день учета смертность достигала 63,0%, к 7-му дню – 88,9%, на 10-й день – 98,4%, а на 14-й день – 98,9%. Полученные данные позволяют утверждать, что именно это соотношение является оптимальным для практического применения, так как оно сочетает в себе высокую степень поедаемости приманки с практически полной гибелью термитов, повышенное потребление пропитанного субстрата приводило к более массовой гибели термитов, что еще раз подтверждает необходимость учитывать вкусовые предпочтения насекомых при создании приманок.

При дальнейшем разведении препарата до соотношения 1:5 также наблюдалась высокая поедаемость субстрата термитами, однако уровень токсичности оказался несколько ниже, чем в предыдущем варианте. На 3-й день учета смертность составила 32,5%, на 7-й день – 39,5%, на 10-й день – 87,4% и к 14-му дню – 93,7%. Таким об-

разом, хотя биологическая эффективность экстракта в этом варианте была достаточно высокой, она уступала результатам, полученным при соотношении 1:4.

Сравнительный анализ всех вариантов опыта позволяет сделать вывод о том, что экстракт Rs-H 10% проявляет выраженные инсектицидные свойства в диапазоне разведений от 1:3 до 1:5. При этом оптимальным оказалось соотношение 1:4, обеспечивающее максимальное сочетание высокой поедаемости субстрата и практически полной гибели термитов (до 98,9%) на 14-й день наблюдений. Эти данные свидетельствуют о целесообразности дальнейшего изучения данного экстракта как перспективного биологического средства для использования в составе противотермитных приманок в полевых условиях.

В условиях Узбекистана серьезный ущерб деревянным конструкциям зданий и сооружений наносят термиты рода *Anacanthotermes*, в частности *Anacanthotermes turkestanicus* Jas., 1904 и *A. ahngerianus* Jas., 1904. Общественный образ жизни этих термитов тесно связан с почвой, и по этой причине некоторые термитоцидные вещества, продемонстрировавшие высокую эффективность в лабораторных условиях, в природной среде не дают ожидаемого результата. Это объясняется тем, что термиты обычно пропускают почву через кишечник, при этом почва выполняет функцию адсорбента, снижая активность действующего вещества.

В связи с этим в наших исследованиях в чашки Петри помещались также фрагменты почвы, взятой из естественных гнезд термитов, с целью приближения лабораторных условий содержания термитов к естественным полевым. На основании полученных данных для полевых испытаний были рекомендованы те концентрации экстрактов на основе Rs-H 10%, которые демонстрировали наибольшую токсичность и одновременно не обладали отпугивающим (репеллентным) эффектом для термитов.

Также по анализу полученных результатов пришли к выводу, что при разработке противотермитных приманок, предназначенных для эффективной борьбы с термитами, принципиальное значение имеет правильный подбор состава, в частности наличие термитоцидных веществ, обладающих не только высокой токсичностью, но и аттрактантностью, поскольку даже сильнодействующий компонент не обеспечит необходимой эффективности, если будет обладать отпугивающими свойствами и вызывать избегание приманки термитами.

Биологическая эффективность растительного экстракта RS-H 10% (термитоцид)

№	Препарат	Соотношения экстракт: вода	Кол-во термитов до обработки	Живые термиты после обработки				Биологическая эффективность в % по дням учета			
				3	7	10	14	3	7	10	14
1.	Rs-H 10%	1:1	100	93,0	78,5	70,0	46,5	7,0	17,4	26,3	51,1
2.	Rs-H 10%	1:2	100	76,5	69,0	53,0	41,5	23,5	27,4	44,2	56,3
3.	Rs-H 10%	1:3	100	66,0	28,0	27,0	14,0	34,0	70,5	71,6	85,3
4.	Rs-H 10%	1:4	100	37,0	10,5	1,5	1,0	63,0	88,9	98,4	98,9
5.	Rs-H 10%	1:5	100	67,5	57,5	7,0	6,0	32,5	39,5	87,4	93,7
6.	Контроль	дист. вода	100	100	95,0	95,0	94,0				

Таким образом, была подтверждена важность соотношения действующего вещества и воды в составе приманки. Наблюдения показали, что фильтровальная бумага, пропитанная раствором Rs-H 10%, разведенная в более низких соотношениях с водой, значительно лучше поедалась термитами. Это указывает на то, что оптимальный подбор концентрации токсиканта позволяет достичь наилучшего баланса между аттрактантными свойствами приманки и ее инсектицидной активностью.

Особое значение представляют результаты, указывающие на то, что использование природных биологически активных веществ растительного происхождения позволяет снизить зависимость от синтетических инсектицидов, которые, несмотря на высокую эффективность, нередко сопровождаются проблемами токсичности, устойчивости насекомых и негативного воздействия на окружающую среду [4, с. 50]. В отличие от традиционных химических препаратов, экстракты растительного происхождения, как правило, обладают комплексным действием: они не только оказывают губительное влияние на насекомых-вредителей, но и реже вызывают формирование резистентности, а также могут быть более экологически безопасными для других организмов.

Исходя из вышеизложенного, результаты проведенных исследований могут служить основой для разработки инновационных противотермитных приманок, обладающих двойным эффектом: высокой аттрактантностью и выраженной токсичностью. Установленная высокая степень поедаемости субстрата, обработанного экстрактом *Rindera tetraspis*, позволяет предположить, что данный препарат имеет потенциал для практического применения в условиях естественных популяций термитов. В частности, перспективным направлением является проведение широкомасштабных поле-

вых экспериментов, направленных на оценку эффективности препарата в различных экосистемах и объектах (деревянные конструкции, сельскохозяйственные посадки, лесные насаждения).

Кроме того, полученные результаты открывают возможности для дальнейшего углубленного изучения механизмов действия экстракта Rs-H 10% на физиологию и поведение термитов. Представляется целесообразным исследовать влияние препарата на обмен веществ насекомых, особенности их питания, активность ферментативных систем, а также взаимодействие с микрофлорой кишечника, играющей ключевую роль в переваривании целлюлозы. Комплексный анализ этих процессов позволит более глубоко понять механизмы токсического воздействия и, возможно, оптимизировать применение препарата.

Полученные данные показали, что растительный экстракт Rs-H 10% из растения *Rindera tetraspis* в соотношениях 1:3, 1:4 и 1:5 обладает высокой токсичностью, обеспечивая биологическую эффективность в пределах от 85,3 до 98,9%, что соответствует критериям положительной оценки препарата (таблица). Следовательно, данные растительные экстракты можно рекомендовать в качестве эффективных средств борьбы с термитами для добавления в состав приманок и проведения полевых исследований.

Заключение

Таким образом, проведенные исследования проявили высокую перспективность использования экстракта *Rindera tetraspis* в качестве основы для создания новых противотермитных средств. Научная значимость работы заключается в расширении знаний о возможностях применения растительных экстрактов в борьбе с социальными насекомыми, а практическая ценность – в разработке более безопасных и эффектив-

ных методов защиты древесины и других материалов от разрушительной деятельности термитов. В дальнейшем подобные исследования могут стать важной частью комплексных программ биологической защиты, направленных на снижение экономических потерь и сохранение экологического баланса.

Список литературы

1. Абдуллаев И.И. Популяционная экология термитов и их значение в естественных и урбанизированных экосистемах: автореф. дис. ... докт. биол. наук. Ташкент, 2016. [Электронный ресурс]. URL: <https://inlibrary.uz/index.php/autoabstract/article/view/48974> (дата обращения: 17.08.2025).
2. Ганиева З.А., Холматов Б.Р., Каримов Ф., Джугинисов Т.И., Мирзаева Г.С. Habitat plants and foraging preferences in termites of the genus *Anacanthotermes* // International Journal of Scientific & Technology Research. 2019. Т. 8. № 11. С. 2863–2870. URL: https://www.researchgate.net/publication/337757837_Habitat_Plants_And_Foraging_Preferences_In_Termites_Of_The_Genus_Anacanthotermes.pdf (дата обращения: 25.08.2025).
3. Ganieva Z., Khashimova M., Rustamov K., Akhmedov V. The use of attractants in the application of food-baits against termites // Acta Biologica Sibirica. 2023. Vol. 9. P. 747–754. DOI: 10.5281/zenodo.10121028.
4. Хайтбаев Х., Тагаев У.Р., Тилябаев З. Разработка эффективных средств защиты от термитов // Universum: химия и биология. 2022. № 1 (91). С. 47–51. DOI: 10.32743/UniChem. 2022. 91.1.12739.
5. Азимов Д.А., Холматов Б.Р., Абдуллаев И.И., Мирзаева Г.С., Рустамов К.Ж. Экология термитов рода *Anacanthotermes*: монография. Ташкент: Фан, 2019. 255 с. ISBN 978-9943-19-493-9.
6. Брайен М. Общественные насекомые, экология и поведение / Под ред. Г.М. Длусского. М.: Мир, 1986. 400 с. ISBN 2005000000-177.
7. Мирзаева Г.С. Холматов Б.Р., Аллабердиев Р.Х. Ксилофаг хашаротлар экологияси (Экология насекомых ксилофагов): монография. Ташкент, 2022. С. 85. ISBN 978-9943-8207-2-2.
8. Khamraev A., Lebedeva N., Zuginisov T., Abdullaev I., Rakhmatullaev A., Raina A.K. Food preferences of the Turkistan termite *Anacanthotermes turkestanicus* (Isoptera: Hodotermitidae) // Sociobiology. 2007. Т. 50. № 2. С. 469–478. URL: <https://www.ars.usda.gov/research/publications/publication/?seqNo115=209367> (дата обращения: 23.08.2025).
9. Erjigitova K.K., Zhuginisov T.I., Duysengaliyev E.S. Biological basis for integrated control of termites of the genus *Anacanthotermes* // Central Asian Journal of Academic Research. 2024. Vol. 2, Is. 6. Part 2. URL: <https://in-academy.uz/index.php/cajar/article/view/34692> (дата обращения: 23.08.2025).
10. Давлетшина А.Г., Аванесова Г.А. Испытание термитостойкости полиэтиленовых труб в Узбекистане // Термиты и меры борьбы с ними: сборник научных статей. Ашхабад, 1968. С. 175–180. ISBN 9965-9457-1-3.
11. Хамраев А.Ш., Лебедева Н.И., Жугинисов Т.И., Хохлачева В.Е., Кучкарова Л.С., Холматов Б.Р., Рустамов К.Ж. Цилиндрик контейнер – Контейнер цилиндрический. Патент на промышленный образец № SAP 01243. 2014.
12. Холматов Б.Р., Рустамов К.Д., Лебедева Н.И., Мирзаева Г.С., Ахмедова З.Ю., Ахмедов В.Н. Патент на промышленный образец за № SAP 02151. «Контейнер плоский для противотермитной приманки». 2021.
13. Ахмедов В.Н. Биологические основы разработки новых средств и методов борьбы с термитами рода *Anacanthotermes*: автореф. дис. ... докт. философии по биол. наукам (PhD). 2023. [Электронный ресурс]. URL: <https://izology.uz/ru/2023/01/17/axmedov-voxiidjon-nosirjonovich-biolo/> (дата обращения: 30.08.2025).
14. Джалолиддинов Ф.З., Бабаев Б.Н., Хашимова М.Х., Хайтбаев Х., Тилябаев З. Синтез производных 2,5-меркапто-1,3,4-тиадиазола и исследование их термитоцидной активности // Universum: химия и биология. 2022. С. 44–47. DOI: 10.32743/UniChem.2022.100.10.14331.
15. Pestitsid va agroximikatlarni ro'yxatga olish sinovlarini o'tkazish yuzasidan uslubiy ko'rsatmalar (Методические указания по проведению регистрационных испытаний пестицидов и агрохимикатов). Ташкент, 2023. С. 184. [Электронный ресурс]. URL: https://api.scienceweb.uz/storage/publication_files/9031/24163/6602ba45ef8b1_%D0%A3%D1%81%D0%B%D1%83%D0%B1%D0%B8%D0%B9%20%D0%BA%D1%83%D1%80%D1%81%D0%B0%D1%82%D0%BC%D0%B0%2009.10.2023.pdf. ISBN 978-9910-9900-0-7 (дата обращения: 23.09.2025).

Конфликт интересов: Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest: The authors declare that there is no conflict of interest.

Финансирование: Работа выполнена в рамках базового финансирования научных проектов Академии наук Республики Узбекистан.

Financing: The work was carried out within the framework of basic funding of scientific projects of the Academy of Sciences of the Republic of Uzbekistan.

УДК 57.045:612.1/8

ВОЗРАСТНЫЕ ОСОБЕННОСТИ СИСТЕМЫ КРОВООБРАЩЕНИЯ У БАЙДАРЧИКОВ И КАНОИСТОВ 18–21 ЛЕТ ПРИ ТРЕНИРОВКАХ В УСЛОВИЯХ ЖАРКОГО КЛИМАТА

Хужабеков М.А. ORCID ID 0000-0002-3606-9718

*Самаркандский государственный университет имени Шарофа Рашидова,
Самарканд, Узбекистан, e-mail: mirza_ahmad@mail.ru*

Представлены результаты исследования адаптационных изменений в системе кровообращения у гребцов 18–21 лет при тренировках в условиях жаркого климата. Цель исследования – выявление возрастных особенностей функционирования сердечно-сосудистой системы у байдарочников и каноистов при выполнении физических нагрузок на фоне высокой температуры окружающей среды. Оценивались антропометрические и физиологические показатели: рост, масса тела, окружность грудной клетки, артериальное давление, частота сердечных сокращений, – а также параметры гемодинамики в покое и после физической нагрузки при разных температурных режимах. Установлено, что воздействие высокой температуры сопровождается повышением пульсового давления, снижением общего периферического сосудистого сопротивления и замедлением восстановительных процессов. Тренировки в жару создают серьезную нагрузку на организм: они могут вызвать ортостатическую неустойчивость – головокружение при вставании, нарушить терморегуляцию, привести к усиленному потоотделению и обезвоживанию. Все это, в свою очередь, увеличивает нагрузку на сердечно-сосудистую систему. Эти изменения свидетельствуют о значительном напряжении регуляторных механизмов системы кровообращения. Полученные данные указывают на необходимость учета климатических факторов при планировании тренировок, особенно в жарких регионах, таких как Самарканд. Выявленные возрастные и температурные особенности адаптации могут использоваться для оптимизации подготовки спортсменов и профилактики кардиоваскулярных нарушений.

Ключевые слова: гребцы, адаптация, сердечно-сосудистая система, физическая нагрузка, высокая температура, терморегуляция, пульсовое давление

AGE-RELATED FEATURES OF THE CIRCULATORY SYSTEM IN KAYAKERS AND CANOEISTS AGED 18-21 DURING TRAINING UNDER HOT CLIMATE CONDITIONS

Khuzhabekov M.A. ORCID ID 0000-0002-3606-9718

*Samarkand State University named after Sharof Rashidov,
Samarkand, Uzbekistan, e-mail: mirza_ahmad@mail.ru*

This study presents the results of research on adaptive changes in the circulatory system of rowers aged 18-21 years during training in hot climates. The study aimed to identify age-related features of cardiovascular system functioning in kayakers and canoeists when performing physical exertion in high ambient temperatures. We evaluated anthropometric and physiological indicators such as height, body weight, chest circumference, arterial blood pressure, heart rate, and hemodynamic parameters both at rest and after physical activity under different temperature conditions. We found that exposure to high temperatures is accompanied by an increase in pulse pressure, a decrease in total peripheral vascular resistance, and a slowing of recovery processes. Training in the heat places a significant burden on the body: it can cause orthostatic instability (dizziness upon standing), disrupt thermoregulation, and lead to increased sweating and dehydration. All of these, in turn, increase the load on the cardiovascular system. These changes indicate significant stress on the regulatory mechanisms of the circulatory system. The data obtained highlight the necessity of considering climatic factors when planning training, especially in hot regions like Samarkand. The identified age and temperature-related adaptive features can be used to optimize athlete preparation and prevent cardiovascular disorders.

Keywords: rowers, adaptation, cardiovascular system, physical exertion, high temperature, thermoregulation, pulse pressure

Введение

Развитие водных видов спорта, в том числе академической гребли и гребли на байдарках и каноэ, в Узбекистане приобретает все большее значение, особенно участие в международных соревнованиях и подготовка спортсменов высокого класса. Климатические условия страны, характеризующиеся длительным жарким сезоном и высокой солнечной радиацией, оказывают выраженное влияние на физиологические показатели организма спортсменов.

В связи с этим возникает необходимость комплексного изучения адаптационных механизмов при тренировках в условиях повышенного теплового воздействия, что особенно значимо для юных спортсменов-гребцов, основную часть тренировочного процесса проводящих на открытых водоемах, в этих условиях возникают особые требования к терморегуляции организма. Изучение реакции организма на интенсивные физические нагрузки при колебаниях температурной среды остается приоритет-

ным направлением экологической физиологии [1, 2]. Процессы приспособления можно рассматривать как формирование устойчивых функциональных механизмов, способных обеспечить адекватную реакцию организма на стрессовые воздействия, характерные для соревновательной и тренировочной деятельности. Колебания морфофункциональных параметров и изменений в гемодинамике способны провоцировать патологические метаболические сдвиги в системе кровообращения [3]. Поэтому для точной диагностики степени адаптационных реакций, а также для мониторинга функционального состояния сердечно-сосудистой системы при высоких нагрузках необходимо применение интегративных методов оценки.

Хотя физическая нагрузка воздействует на большинство систем организма, ведущая роль принадлежит сердцу, которое испытывает наибольшие нагрузки и определяет результативность адаптационного процесса [4, 5]. Физическое развитие спортсменов оказывает значительное влияние на их работоспособность. Особое внимание уделяется связи между показателями физического развития и функциональными особенностями организма под воздействием физических нагрузок [6]. В условиях соревновательной деятельности, требующей максимальной компенсации функций организма, увеличиваются энергозатраты, что приводит к снижению резервных возможностей и может вызывать патологии сердечно-сосудистой системы при неправильном подборе нагрузок [7]. Несмотря на актуальность рассматриваемой проблемы, процессы адаптации гребцов к физическим нагрузкам в условиях высокой температуры окружающей среды изучены очень мало. В связи с этим особую значимость приобретает исследование функциональных резервов организма спортсменов, проходящих подготовку в жарком климате Самарканда. Полученные данные могут стать основой для разработки тренировочных программ, учитывающих температурные колебания климата, направленных на повышение выносливости и улучшение спортивных результатов [8, 9].

Цель исследования – выявление возрастных отличий в функционировании сердечно-сосудистой системы у спортсменов, занимающихся греблей на байдарках и каноэ, при выполнении физических нагрузок в условиях повышенной температуры окружающей среды.

Материалы и методы исследования

Для оценки компенсаторных возможностей кардиореспираторного аппарата

у спортсменов, подвергающихся нагрузкам в условиях теплового стресса, проводился комплекс медицинских и физиологических наблюдений. Исследования охватывали период с 2018 по 2024 г. на базе Чирчикского государственного института физической культуры и спорта (г. Чирчик) и Самаркандского государственного университета (г. Самарканд). Обследованы 33 спортсмена (юноши), занимающиеся академической греблей. На втором этапе исследовалась возможность применения типовой методики индивидуального определения устойчивости спортсменов к максимальным физическим нагрузкам при двух температурных режимах: умеренном 18–20°C и высоком 35–39°C. Целью было определить степень влияния этих условий на физическую работоспособность.

Функциональные особенности обследуемых изучались с использованием традиционных методов. Рост измеряли в положении стоя медицинским ростомером (точность 0,5 см), массу тела – рычажными весами (точность 50 г), окружность грудной клетки – пластиковой сантиметровой лентой (точность 1 мм) в фазах максимального вдоха, полного выдоха и спокойного дыхания. Статистическая обработка данных проводилась с использованием программ Microsoft Excel и Statistica.

Результаты исследования и их обсуждение

Проведенный сравнительный анализ физического развития спортсменов, занимающихся академической греблей, показал, что среди студентов, специализирующихся в гребле на каноэ, у представителей старшей возрастной группы 20–21 год отмечается более низкий показатель длины тела по сравнению с юношами 18–19 лет (рис. 1). В то же время у байдарочников антропометрические данные демонстрируют стабильность, рост спортсменов варьируется от $179 \pm 2,16$ до $181 \pm 2,32$ см в зависимости от возрастной категории.

Исследования сравнительной оценки массы тела во всех обследованных группах выявили, что в возрастной группе 18–19 лет массателасоставляетот $70 \pm 3,19$ до $71 \pm 1,93$ кг, а в возрастной группе 20–21 лет наблюдается более широкий разброс и составляет от $64 \pm 1,41$ до $79 \pm 1,62$ кг (рис. 2).

Результаты сравнительной оценки объема грудной клетки у гребцов свидетельствуют о том, что у всех участников исследования наблюдается тенденция к увеличению данного показателя с возрастом (рис. 3).

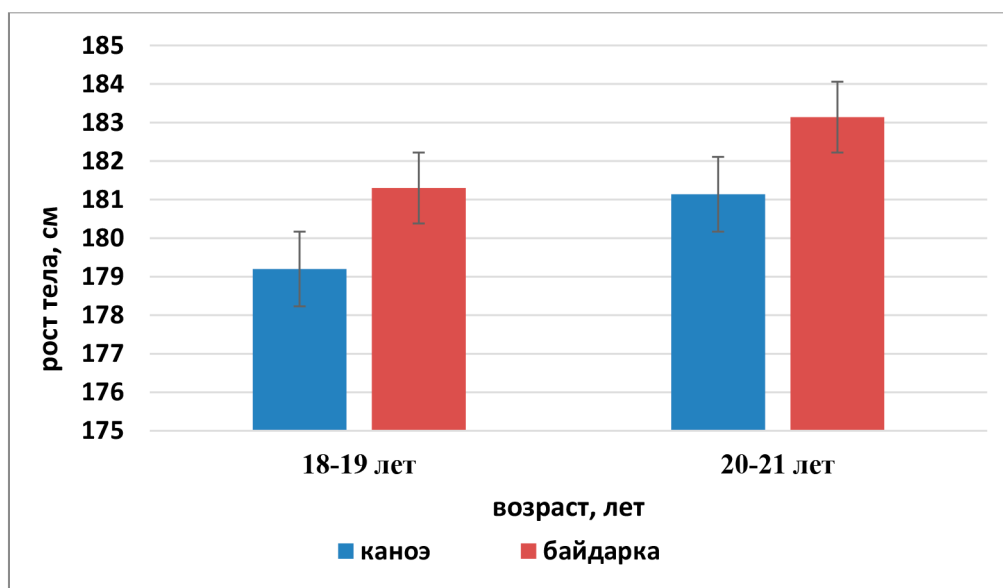


Рис. 1. Сравнительный анализ показателей роста у спортсменов-гребцов ($n = 33$)
Источник: составлено автором

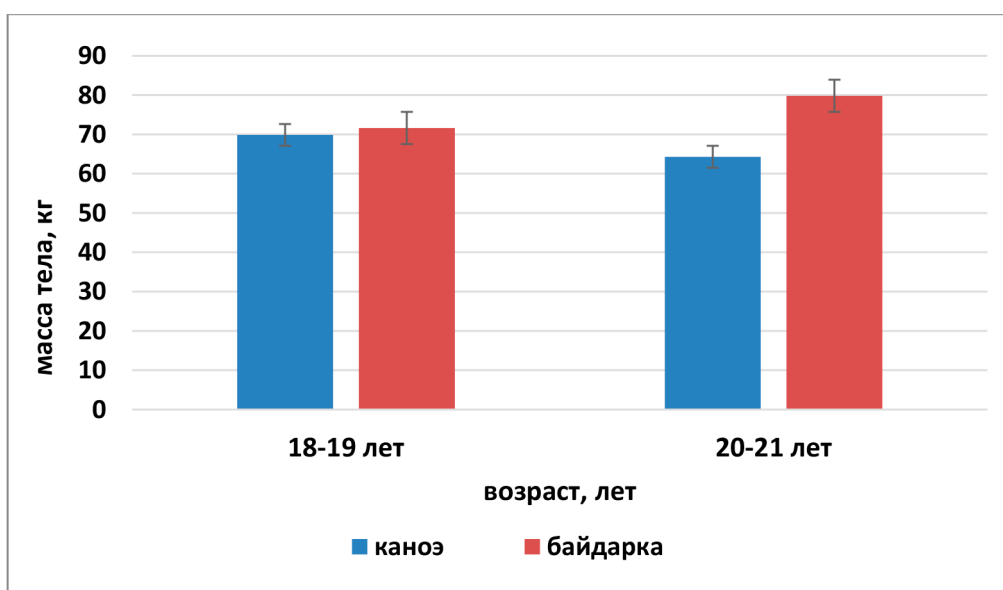


Рис. 2. Показатели массы тела спортсменов-гребцов ($n = 33$)
Источник: составлено автором

При сравнении показателей окружности грудной клетки у обследованных спортсменов-гребцов установлено, что в возрастной группе 18–19 лет окружность грудной клетки при вдохе составила $100,82 \pm 1,89$ см, а при выдохе $92 \pm 2,56$ см. В группе 20–21 года величины варьировали с разницей от 1,8 до 5,4 см между вдохом и выдохом. Эти показатели объема грудной клетки соответствуют данным, представленным в научной литературе

[10]. Приспособление организма спортсменов к физической активности происходит преимущественно за счет мобилизации функций сердечно-сосудистой системы, которая нередко становится лимитирующим фактором при выполнении нагрузок на выносливость. Несмотря на высокую актуальность данного вопроса, механизмы адаптации организма молодых гребцов в условиях жаркого климата недостаточно освещены в литературе.

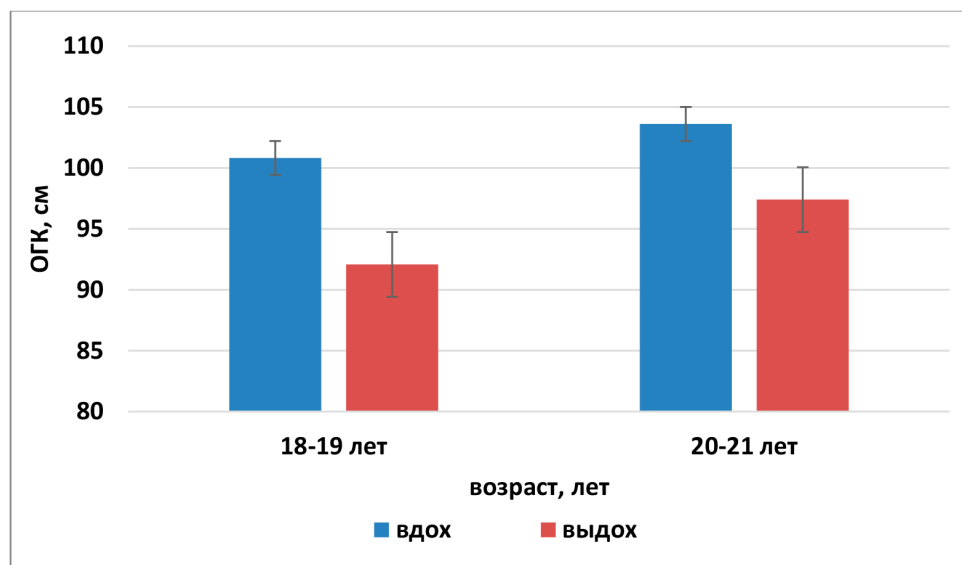


Рис. 3. Показатели окружности грудной клетки у спортсменов-ребцов, см ($n = 33$)
Источник: составлено автором

Таблица 1

Динамика показателей ЧСС и АД у спортсменов в покое
при разных режимах температуры

Показатели ЧСС и АД	Температура	
	18–20 °С	35–39 °С
В покое		
Частота пульса (в 1 мин)	66,8±5,5	71,0±6,3
АД, max, мм рт. ст.	117,5±7,2	122,0±8,4
АД, min, мм рт. ст.	68,0±5,2	70,0±6,2
АД, пульсовое, мм рт. ст.	48,7±3,5	51,1±1,9
После нагрузки		
Частота пульса (в 1 мин)	161,0±10,0	151,0±8,0
АД, max, мм рт. ст.	176,0±11,2	143,0±9,3
АД, min, мм рт. ст.	78,0±5,5	62,0±1,2
АД, пульсовое, мм рт. ст.	99,0±1,3	82,0±6,3

Уровень артериального давления является важным показателем оценки функционального состояния сердечно-сосудистой системы и отражает взаимодействие различных регуляторных механизмов: деятельности сердца, сосудистого тонуса, гуморальной и вегетативной регуляции [11, 12]. Как интегральный показатель тренированности, артериальное давление у квалифицированных спортсменов в состоянии покоя, как правило, находится в пределах нормы либо демонстрирует тенденцию к снижению [13, 14]. По результатам наблюдений автора, средние значения систолического АД у гребцов составили 112,9±9,2 мм рт. ст., минимального – 66,8±5,3 мм рт. ст., пульсо-

вого – 46,1±3,9 мм рт. ст. Частота повышения АД у спортсменов, тренирующихся в условиях г. Самарканда, составила не более 1 %, в то время как в литературе этот показатель колеблется в пределах 12–15 % [15, 16]. У 9,7 % обследованных систолическое давление достигало 100 мм рт. ст., у 23,5 % спортсменов минимальное артериальное давление составляло 60 мм рт. ст., тогда как у 6,7 % участников исследования были зафиксированы значения выше 120 мм рт. ст., включая случаи, при которых давление превышало отметку в 129 мм рт. ст., – лишь у 1,3 %. Согласно данным табл. 1, при температуре окружающей среды 18–20 °С и 35–39 °С частота пульса в покое

составила соответственно $66,8 \pm 5,5$ и $71,0 \pm 6,3$ уд./мин. Артериальное давление при этих температурных режимах находилось в пределах $117,5 \pm 7,2$ и $122,0 \pm 8,4$ мм рт. ст., в то время как значения пульсового давления составили соответственно $48,7 \pm 3,5$ и $51,1 \pm 1,9$ мм рт. ст.

После выполнения физической нагрузки при различных температурных режимах показатели частоты сердечных сокращений и артериального давления изменялись разнонаправленно. Установлено, что при воздействии температуры окружающей среды в пределах $35-39^\circ\text{C}$ прирост частоты сердечных сокращений и артериального давления после физической нагрузки был менее выраженным по сравнению с аналогичными показателями, зарегистрированными при температуре $18-20^\circ\text{C}$. При этом в условиях тепловой нагрузки минимальные значения артериального давления снижались на 10 мм рт. ст. относительно данных в состоянии покоя. Существенное увеличение пульсового давления также отмечалось, его значения достигали $81,0 \pm 6,3$ мм рт. ст., тогда как в покое составляли $52,0 \pm 1,8$ мм рт. ст. Полученные данные указывают на активацию и напряжение механизмов, обеспечивающих гемодинамическую регуляцию. Кроме того, в условиях высокой температуры после физической нагрузки были за-

фиксированы выраженные физиологические изменения по ряду гемодинамических параметров, представленных в табл. 2 и 3.

На основании результатов анализа установлено, что в состоянии покоя при температуре окружающей среды $18-20^\circ\text{C}$ и $35-39^\circ\text{C}$ среднее значение среднего динамического давления составило соответственно $87,0 \pm 7,1$ и $91,0 \pm 6,4$ мм рт. ст. После завершения физической нагрузки уровни артериального давления изменились и составили $108,7 \pm 9,0$ и $87,0 \pm 6,5$ мм рт. ст. соответственно. При температуре воздуха $18-20^\circ\text{C}$ в состоянии покоя общее периферическое сосудистое сопротивление достигало $1628 \pm 15,1$ дин·с·см⁻⁵. Под воздействием физической активности данный показатель резко снижался до $595 \pm 15,9$ дин·с·см⁻⁵, что свидетельствует о выраженном сосудорасширяющем ответе организма. У спортсменов, выполнявших нагрузку при $35-39^\circ\text{C}$, фиксировалась аналогичная реакция, однако снижение ОПСС было еще более выраженным, чем при умеренных температурных значениях, что указывает на усиление вазодилатационных процессов в условиях теплового стресса. Эти данные указывают на повышенную нагрузку на сердечно-сосудистую систему и напряженность адаптационных механизмов в условиях жаркого климата г. Самарканда.

Таблица 2

Анализ показателей гемодинамики у спортсменов-гребцов
при различных температурных режимах

Показатели гемодинамики	Температурный режим	
	18–20 °C	35–39 °C
В покое		
СО, мл	65,5±5,2	72,6±6,1
МОК, л/м	4,1±0,3	5,2±0,25
СДД, мм рт. ст.	87,0±7,1	91,0±6,4
После физической нагрузки		
СО, мл	92,0±5,0	93,1±4,2
МОК, л/м	14,7±1,4	14,0±1,3
СДД, мм рт. ст.	108,7±9,0	87,0±6,5

Таблица 3

Анализ показателей сердечного индекса у спортсменов-гребцов
при различных температурных режимах

Методы определения	Температурный режим	
	18–20 °C	35–39 °C
В покое		
СИ	2,28 л/мин/кв.м	2,88 л/мин/кв.м
После физической нагрузки		
СИ	2,28 л/мин/кв.м	2,88 л/мин/кв.м

Заключение

На основании проведенного анализа экспериментальных результатов в сочетании с обзором научных публикаций можно заключить, что в оценке изменений артериального давления у спортсменов-гребцов существуют определенные расхождения. Эти различия, по всей видимости, обусловлены неоднородностью тренировочной среды и влиянием климатических факторов, включая повышенную температуру воздуха и интенсивное солнечное излучение. Физическая активность в условиях теплового воздействия приводит к значительно более выраженному физиологическому отклику организма по сравнению с нагрузками, выполняемыми в умеренном температурном режиме с аналогичной активностью в нормальных климатических условиях. У спортсменов-гребцов наблюдаются более выраженные изменения частоты сердечных сокращений и замедленное восстановление после нагрузок. При этом состояние регуляторных механизмов системы кровообращения демонстрирует постепенную адаптацию к термическому и физическому стрессу. Интенсивные тренировки в условиях жары приводят к ортостатической неустойчивости, нарушению процессов терморегуляции, усилению потоотделения и дегидратации, что дополнительно усиливает нагрузку на сердечно-сосудистую систему. Однако при правильно организованном тренировочном процессе эти условия способствуют формированию специфических адаптационных реакций организма спортсмена.

Таким образом, результаты исследования подтверждают необходимость учета климатических факторов при планировании и коррекции тренировочного процесса. К числу индивидуальных особенностей, определяющих адаптационный потенциал спортсменов-гребцов, относятся не только физиологические и анатомические параметры, но и эффективность механизмов терморегуляции и сердечно-сосудистой адаптации. Учет физиологического состояния гребцов на байдарке и каноэ – важнейшее условие подготовки спортсмена высокого класса. В этой связи особое значение приобретают достоверные и объективные методы контроля физиологических показателей, оказывающих существенное влияние на спортивный результат.

Список литературы

1. Matthew N Cramer, Daniel Gagnon, Orlando Laitano, Craig G Crandall. Human temperature regulation under heat stress in health, disease, and injury // *Physiol Rev*. 2022. Jun 9. Vol. 102 (4). P. 1907–1989. DOI: 10.1152/physrev.00047.2021.
2. Benjamin C.L., Sekiguchi Y., Fry L.A., Casa D.J. Performance changes following heat acclimation and the factors that influence these changes: meta-analysis and meta-regression // *Frontiers in Physiology*. 2019. Vol. 10. P. 1448. DOI: 10.3389/fphys.2019.01448.
3. Cramer M.N., Jay O. Biophysical aspects of human thermoregulation during heat stress // *Autonomic Neuroscience*. 2016. Vol. 196. P. 3–13. DOI: 10.1016/j.autneu.2016.03.001.
4. Sitkowski D., Starczewski M., Pokrywka A., Żmijewski P., Opaszowski B., Klusiewicz A. Exercise capacity of male and female national team athletes in canoe slalom // *Frontiers in Physiology*. 2025. Vol. 16. P. 1635684. DOI: 10.3389/fphys.2025.1635684.
5. Thorpe R.T., Atkinson G., Drust B., Gregson W. Monitoring fatigue status in elite team-sport athletes: implications for practice // *International Journal of Sports Physiology and Performance*. 2017. Vol. 12. Suppl. 2. P. S227–S234. DOI: 10.1123/ijspp.2016-0434.
6. Tyler C.J., Reeve T., Hodges G.J., Cheung S.S. The effects of heat adaptation on physiology, perception and exercise performance in the heat: a meta-analysis // *Sports Medicine*. 2016. Vol. 46. P. 1699–1724. DOI: 10.1007/s40279-016-0538-5.
7. Абрамова Т.Ф., Аюбян А.О., Арансон М.В. и др. Общие принципы оптимизации акклиматизации спортсменов к жаркому и влажному климату // *Спортивная медицина: наука и практика*. 2017. № 1. С. 14–23. DOI: 10.17238/ISSN2223-2524.2017.1.14.
8. Разинкин С.М., Брагин М.А. Влияние климатических условий на функциональное состояние спортсменов // *Human. Sport. Medicine*. 2022. Т. 22. № 2. С. 64–74.
9. Périard J.D., Eijssvogels T.M.H., Daanen H.A.M. Exercise under heat stress: thermoregulation, hydration, performance implications, and mitigation strategies // *Physiological Reviews*. 2021. Vol. 101. № 4. P. 1873–1979. DOI: 10.1152/physrev.00038.2020.
10. Périard J.D., Racinais S., Sawka M.N. Adaptations and mechanisms of human heat acclimation: applications for competitive athletes and sports // *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*. 2015. Vol. 25, Suppl. 1. P. 20–38. DOI: 10.1111/sms.12408.
11. Morrissey M.C., Langan S.P., Brewer G.J., Struder J.F., Navarro J.S., Nye M.N., Casa D. Limitations associated with thermoregulation and cardiovascular research assessing laborers performing work in the heat // *American Journal of Industrial Medicine*. 2023. Vol. 66, Is. 4. P. 267–280. DOI: 10.1002/ajim.23462.
12. Notley S.R., Mitchell D., Taylor N.A.S. A century of exercise physiology: concepts that ignited the study of human thermoregulation. Part 1: Foundational principles and theories of regulation // *European Journal of Applied Physiology*. 2023. Vol. 123, Is. 11. P. 2379–2459. DOI: 10.1007/s00421-023-05272-7.
13. Flouris A.D., Schlader Z.J. Human behavioral thermoregulation during exercise in the heat // *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*. 2015. Vol. 25, Suppl. 1. P. 52–64. DOI: 10.1111/sms.12349.
14. Hailes W.S., Cuddy J.S., Cochrane K., Ruby B.C. Thermoregulation during extended exercise in the heat: comparisons of fluid volume and temperature // *Wilderness and Environmental Medicine*. 2016. Vol. 27, Is. 3. P. 386–392. DOI: 10.1016/j.wem.2016.06.004.
15. Notley S.R., Mitchell D., Taylor N.A.S. Learning in human thermoregulation during exercise // *European Journal of Applied Physiology*. 2024. Vol. 124, Is. 1. P. 377. DOI: 10.1007/s00421-023-05362-6.
16. Damatto R.L., Cezar M.D.M., Santos P.P.D. Control of body temperature during physical exercise // *Arquivos Brasileiros de Cardiologia*. 2019. Vol. 112, Is. 5. P. 543–544. DOI: 10.5935/abc.20190081.
17. Otani H., Kaya M., Tamaki A., Goto H., Tokizawa K., Maughan R. Combined effects of solar radiation and airflow on endurance exercise capacity in the heat // *J. Physiol Behav*. 2021 Feb 1. Vol. 229. P. 113264. DOI: 10.1016/j.physbeh.2020.113264.

Конфликт интересов: Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest: The authors declare that there is no conflict of interest.

УДК 582.284(575.1)

РАСПРОСТРАНЕНИЕ И ИННОВАЦИОННЫЙ ПОТЕНЦИАЛ ЛЕКАРСТВЕННОГО ГРИБА *TRAMETES VERSICOLOR* (L.) LLOYD В УЗБЕКИСТАНЕ

¹Шеркулова Ж.П., ²Мустафаев И.М., ³Узаков З.З. ORCID ID 0000-0001-6284-2383¹Каршинский государственный университет, Карши, Узбекистан;²Институт ботаники Академии наук Республики Узбекистан, Ташкент, Узбекистан;³Каршинский государственный технический университет, Карши,
Узбекистан, e-mail: uzakovzafar40@gmail.com

В последние годы возрастает интерес к лекарственным грибам как источникам биологически активных соединений с выраженной фармакологической активностью. Настоящее исследование было посвящено изучению распространения и морфолого-экологических особенностей *Trametes versicolor* на территории Узбекистана. Для этого в 2020–2024 гг. были проведены полевые экспедиции в Кашкадарьинскую, Джизакскую, Наманганскую и Ташкентскую области, где осуществлялся сбор образцов макромицетов. В лабораторных условиях выполнена их идентификация и выделена чистая культура *T. versicolor* с использованием агар-среды на основе солодового экстракта. Изучены морфологические характеристики плодовых тел, экологические условия произрастания, динамика роста мицелия и особенности культивирования в контролируемых условиях. Анализ литературных данных и собственных наблюдений показал, что данный вид обладает значительным фармакологическим потенциалом, включая антиоксидантную, противоопухолевую и иммуномодулирующую активность. Результаты подтверждают широкое распространение *T. versicolor* в различных регионах республики и указывают на перспективность его использования как источника биологически активных веществ. Гриб может служить основой для разработки функциональных пищевых добавок и новых лекарственных средств на основе местного сырья, что открывает возможности для расширения отечественного фармацевтического производства.

Ключевые слова: грибоводство, лекарственные грибы, *Trametes versicolor*, ксилотроф, плодовое тело

DISTRIBUTION AND INNOVATION POTENTIAL OF THE MEDICINAL MUSHROOM OF *TRAMETES VERSICOLOR* (L.) LLOYD IN UZBEKISTAN

¹Sherkulova Zh.P., ²Mustafaev I.M., ³Uzakov Z.Z. ORCID ID 0000-0001-6284-2383¹Karshi State University, Republic of Uzbekistan, Karshi, Uzbekistan;²Institute of Botany of the Academy of Sciences of the Republic of Uzbekistan, Tashkent, Uzbekistan;³Karshi State Technical University, Karshi, Uzbekistan, e-mail: uzakovzafar40@gmail.com

In recent years, there has been increasing interest in medicinal mushrooms as sources of biologically active compounds with pronounced pharmacological activity. This study was dedicated to examining the distribution and morphological-ecological features of *Trametes versicolor* in Uzbekistan. To this end, field expeditions were conducted in the Kashkadarya, Jizzakh, Namangan, and Tashkent regions from 2020 to 2024, where samples of macrofungi were collected. In laboratory conditions, their identification was performed and a pure culture of *T. versicolor* was isolated using malt extract agar medium. The morphological characteristics of the fruiting bodies, the ecological conditions of growth, the dynamics of mycelial growth, and the peculiarities of cultivation under controlled conditions were studied. An analysis of the literature data and our own observations showed that this species has significant pharmacological potential, including antioxidant, anti-tumor, and immunomodulatory activity. The results confirm the widespread distribution of *T. versicolor* in various regions of the republic and indicate the potential for its use as a source of biologically active substances. The fungus can serve as a basis for the development of functional food additives and new medications based on local raw materials, which opens up opportunities for expanding domestic pharmaceutical production.

Keywords: mushroom cultivation, medicinal mushrooms, *Trametes versicolor*, xylotrophic, fruiting body

Введение

В последние годы перед человечеством особенно остро встают глобальные проблемы: нехватка продовольствия, загрязнение окружающей среды и ухудшение здоровья населения. Одним из эффективных путей их комплексного решения является развитие грибоводства. Промышленное культивирование съедобных и лекарственных грибов стремительно набирает обороты, что обусловлено рядом весомых факторов.

Прежде всего, грибы обладают высокой биологической продуктивностью и считаются одной из самых урожайных культур. Они являются ценным источником полноценного белка, витаминов, микро- и макроэлементов, а также биологически активных веществ, обладающих лечебными свойствами. Кроме того, в процессе их выращивания используются отходы сельского и лесного хозяйства, а также перерабатывающей промышленности, что позволяет

не только производить пищевые и лекарственные продукты, но и эффективно утилизировать органические отходы, снижая нагрузку на окружающую среду. Технология культивирования грибов отличается экологической чистотой, а само производство является практически безотходным. После сбора урожая использованный субстрат можно применять в качестве белково-витаминной добавки в корм для сельскохозяйственных животных или как органическое удобрение [1].

Грибы обладают высокой питательной ценностью, главным образом благодаря своему уникальному химическому составу. Они содержат большое количество пищевых волокон, имеют низкое содержание жиров, а также являются источником белков, витаминов и минеральных веществ, необходимых для сбалансированного рациона питания [2, 3]. Помимо этого, многочисленные исследования показали, что грибы богаты фитохимическими соединениями с выраженными антиоксидантными свойствами. Особенно ценными считаются фенольные соединения, обнаруженные в различных видах грибов, которые играют важную роль в защите организма от окислительного стресса [4]. Также были определены химические свойства н-гексановых, хлороформных и этилацетатных экстрактов плодовых тел *T. versicolor* [5, 6].

Грибы рода *Trametes* являются богатым источником биоактивных соединений с фармакологической активностью, включая антиоксидантные, противовоспалительные и противоопухолевые свойства. Исследования, проведенные на северо-западе Румынии, подтвердили, что два вида этого рода – *T. versicolor* (TV) и *T. gibbosa* (TG) – обладают значительной антиоксидантной активностью, высоким содержанием фенольных соединений и флавоноидов [7].

Для разработки процесса биоконверсии с использованием изолята *T. versicolor* в качестве ферментационного агента был применен экстракт виноградного сока, а для обогащения биомассы использовались глюкоза, фруктоза и их смесь [8]. Многие съедобные и несъедобные виды грибов с древности применяются в народной медицине, особенно в странах Восточной Азии. К числу грибов, из которых получены фармацевтические препараты с доказанным лечебным эффектом, относятся *Ganoderma lucidum*, *Hericium erinaceus*, *Lentinus edodes*, *Schizophyllum commune*, *Tremella fusiformis*, *Trametes versicolor* и *Grifola frondosa* [9–11]. Из *T. versicolor* были выделены полисахарид К (PSK) и полисахаридный пептид (PSP), которые

в настоящее время изучаются как потенциальные средства дополнительной терапии при онкологических заболеваниях [12]. Кроме того, была исследована активность лакказы, выделенной из *T. versicolor*, в отношении различных синтетических красителей и промышленных отходов, что открывает перспективы применения гриба в биотехнологии и экологии [13]. Трелетес разноцветный – лекарственный гриб, известный во всем мире своими полисахаридами PSP (полисахарид-пептид) и PSK (кресцин). Эти полисахариды в основном используются в Китае и Японии в качестве адъювантной терапии онкологических больных [14]. Исследование было проведено на *Trametes* sp. в Гималайском регионе. Изучены фитохимические соединения, полисахариды (в частности, β-глюкан) и антиоксидантная активность мицелиальной биомассы и плодового гриба-проводника. Результаты показывают, что экстракт биомассы содержит значительное количество сапонинов, антрахинонов, фенолов, флавоноидов и β-глюканов. Также отмечена высокая антиоксидантная активность и эффективная нейтрализация радикалов DPPH [15].

Высшие базидиомицеты являются не только пищей, но и источником онкостатических, противовирусных и иммуномодулирующих полисахаридов. В исследованиях было изучено 20 штаммов 17 видов, при этом наибольшее количество эндополисахаридов было обнаружено у *Ganoderma lucidum* 1900 (4,4–8%), а экзополисахаридов – у *Trametes versicolor* 353 (2,2 г/л). Оба вида отмечены как перспективные продуценты [16]. Неочищенный экстракт лакказы *T. versicolor* использовался при очистке сточных вод, удалении лигнина из лигноцеллюлозы и различных биотрансформациях [17]. Виды *Trametes* в целом обладают значительным лечебным потенциалом, который может быть связан с антиоксидантной и цитотоксической активностью. Кроме того, базидиокарпий и экстракты мицелия могут мощно ингибировать активность ацетилхолинэстеразы и тирозиназы [18].

На территории Узбекистана произрастает около 400 видов макромицетов, среди которых встречаются съедобные, лекарственные, ядовитые, а также дереворазрушающие виды. Первые научные исследования макромицетов в республике были проведены Т.С. Панфиловой и соавт. (1963) [19], а в дальнейшем продолжены (З.Р. Ахмедова и др. (2022) [20], I.M. Mustafaev и др. (2025) [21]. Указанные работы в основном сосредоточены на изучении флоры

стического разнообразия и экологических особенностей грибов. Однако практическому значению лекарственных макромицетов, в том числе их фармакологическим свойствам и возможностям применения в медицине и пищевой промышленности, до настоящего времени уделялось недостаточное внимание, что подчеркивает актуальность дальнейших исследований в этом направлении.

Цель исследования – изучение распространения гриба *Trametes versicolor* на территории Узбекистана, а также выделение и получение чистой культуры данного вида в лабораторных условиях.

Материалы и методы исследования

В период с 2020 по 2024 г. были организованы сезонные научные поездки по Кашкадарьинской, Джиззакской и Наманганской областям Республики Узбекистан с целью сбора образцов макромицетов. Идентификация собранных макромицетов проводилась в лабораторных условиях с использованием цифрового микроскопа B-382PHiALC DC6V1000 mA для приготовления временных препаратов.

Для выделения чистой культуры гриба *Trametes versicolor* использовались методы экспериментальной микологии и микробиологии [22, 23]. В качестве питательной среды для выделения чистых культур использовали агар с солодовым экстрактом (МЭА), состав: 20 г солодового экстракта, 20 г агара, дистиллированная вода до 1000 мл. Для этого отбирался неповрежденный участок плодового тела гриба, который затем промывался в проточной воде для удаления посторонних частиц. Из внутренней ткани плодового тела с использованием стерили-

зованного скальпеля отрезался небольшой кусочек размером 0,5–1,5 см, который предварительно обрабатывался 3% раствором перекиси водорода в течение нескольких секунд. После этого фрагмент гриба высаживался на питательную среду в чашки Петри, которые затем инкубировались в термостате при температуре 25 °С.

Результаты исследования и их обсуждение

Сбор и анализ материала проводился маршрутным методом, при котором по заранее определенным маршрутам фиксировались местообитания и экологические условия произрастания макромицетов. Для описания морфологических особенностей макромицетов в естественных условиях использовались фотографии, полученные с помощью цифровой камеры SD № 50. Гербарные образцы были сохранены в микологическом гербарии лаборатории микологии и альгологии Института ботаники (ТАСМ), а также в гербарии лаборатории микробиологии и биотехнологии Каршинского государственного университета.

Trametes versicolor был обнаружен на стволах тополей и других лиственных пород в Китабском и Яккабагском районах Кашкадарьинской области, а также в Ташкентской, Наманганской, Джиззакской областях.

Плодовое тело гриба имеет пеструю верхнюю поверхность с открытым краем. Шляпка грибов обладает толщиной 1–3 мм и кожистой текстурой. Гриб растет группами или рядами на стволах и ветвях деревьев, образуя ярусные структуры. Размеры шляпки составляют 8×5×0,5–1 см (рис. 1).



Рис. 1. *Trametes versicolor*: А – на сломанных стволах ореха, Б – на пеньке тополя
Источник: составлено авторами по результатам данного исследования

Trametes versicolor (трутовик разноцветный) – широко распространенный ксилотрофный гриб, который чаще всего растет на разлагающихся древесных остатках, таких как упавшие деревья и заброшенные пни лиственных пород. Иногда его можно обнаружить на стволах и ветвях ослабленных живых деревьев. Плодовое тело этого гриба сросшееся, образующее замкнутые слои, переплетенные между собой. Размеры плодового тела могут достигать 4–6 см в длину и 6–9 см в ширину. Цветовая гамма плодового тела весьма разнообразна и включает сочетания черного, коричневого, темно-желтого, белого и голубоватого оттенков. Форма плодового тела варьирует, однако чаще всего оно имеет веерообразную или круглую форму. На ощупь гриб нежный и шелковистый. Поверхность плодового тела извилистая, с различными оттенками. Цвета варьируются от серого, желтоватого, голубоватого до коричневого, причем край шляпки обычно светлее центра. Основание плодового тела часто имеет зеленоватый оттенок. Рост гриба *T. versicolor* на питательной среде начался через 2–3 дня после высаживания на питательную среду МЭА (агар с солодовым экстрактом). Характер роста мицелия был интенсивным, и через 15 дней инкубации было установлено, что оптимальной температурой для его роста является 25 °C (рис. 2).



Рис. 2. *Trametes versicolor*, чистая культура
Источник: составлено авторами
по результатам данного исследования

Мицелий в чашках Петри был белого цвета и демонстрировал радиальный рост, то есть он рос почти равномерно во всех направлениях. Суточный прирост мицелия составил 0,6–0,8 см. Было отмечено, что мицелий прикрепился к субстрату и разросся густо. Выращивание плодовых тел проводилось на двух различных питательных средах.

Trametes versicolor является одним из важнейших макромицетов с медицинской точки зрения. Лечебные свойства этого гриба включают расширение кровеносных сосудов, снижение артериального давления, повышение иммунного ответа и восстановление функции печени. Антиоксиданты и биоактивные соединения, содержащиеся в *T. versicolor*, способствуют регенерации клеток печени, нейтрализуют токсины и предотвращают накопление желчи. Спиртовые экстракты гриба замедляют рост клеток рака предстательной железы, чувствительных к андрогенам, и снижают уровень простат-специфического антигена (ПСА). Эти свойства делают *T. versicolor* перспективным в лечении заболеваний, связанных с гормональным дисбалансом. Кроме того, гриб может усиливать действие химиотерапевтических препаратов и уменьшать их побочные эффекты [24].

На территории Узбекистана *T. versicolor* был зафиксирован в следующих локациях: Ташкентская область, Юго-Западный Тянь-Шань, село Хумсан (координаты: N41.69404, E69.93829); Наманганская область, бассейн реки Чадаксай (N40.973942, E70.753598); Джизакская область, хребет Нуратау, Нура-тинский заповедник (N40.51787, E66.75070); Зааминский национальный природный парк (N39.738386, E68.434676); Кашкадарьинская область, Яккабагский район (N38.887642, E66.784704) (рис. 3).

Trametes versicolor содержит β-глюканы, обладающие выраженными иммуномодулирующими свойствами. В Японии полисахаридный комплекс крестин (PSK), а также его аналоги, например Corolam в Южной Корее, широко применяются в клинической онкологии в качестве вспомогательных препаратов. Эти соединения активируют Т-лимфоциты, естественные киллеры (НК-клетки) и макрофаги, тем самым повышая общий иммунный статус организма и снижая токсические эффекты химиотерапии и радиотерапии. В Китае аналогичный препарат (IPPV) показал высокую эффективность при лечении заболеваний печени, особенно цирроза и вирусного гепатита. Благодаря способности усиливать иммунный ответ и подавлять воспалительные процессы, *T. versicolor* рассматривается как перспективный объект не только для онкологии, но и для гепатологии [25]. В целом оптимальные условия культивирования для роста мицелия и образования плодовых тел, микохимические соединения и цитотоксическое действие *T. versicolor*, представленные в таблице в данном исследовании, предоставляют важные данные, проливающие свет на ценность этого гриба для фармацевтической промышленности [26].



Рис. 3. Карта распространения *Trametes versicolor* в Узбекистане
Источник: составлено авторами по результатам данного исследования

Таким образом, можно отметить, что *T. versicolor* является одним из наиболее часто встречающихся макромицетов на территории Узбекистана. Данный вид обладает высоким инновационным потенциалом и может быть использован в качестве продуцента биологически активных веществ, в том числе для разработки функциональных пищевых добавок и создания технологических решений для их производства в условиях республики.

Заключение

В последние годы наблюдается значительное увеличение научного и прикладного интереса к базидиомицетам, в частности к *T. versicolor*. Биологически активные соединения, содержащиеся в этом макромицете, обладают выраженными фармакологическими свойствами, что делает его перспективным источником для разработки новых лекарственных препаратов и функциональных биологически активных добавок.

Научные исследования, направленные на изучение распространения, морфологических и других характеристик *T. versicolor*, были проведены в сотрудничестве с лабораторией микологии и альгологии Института ботаники Академии наук Республики Узбекистан и Каршинским государственным университетом. Полученные результаты

подтверждают широкое распространение этого вида на территории Узбекистана, а также его высокую биологическую ценность.

Trametes versicolor представляет значительный инновационный интерес для фармацевтической и биотехнологической отраслей Узбекистана. Расширение исследований в данной области открывает возможности для создания новых отечественных лекарственных средств и биологически активных добавок на основе местного сырья. Это не только усилит потенциал национальной фармацевтической промышленности, но и будет способствовать улучшению качества жизни населения, профилактике и лечению различных заболеваний.

Кроме того, использование *T. versicolor* как сырьевой базы для разработки импортозамещающей продукции позволит снизить зависимость от внешних поставок и обеспечить устойчивое развитие отечественного производства на базе природных ресурсов республики.

Список литературы

1. Морозов А.И. Большая грибная энциклопедия. М.: АСТ, 2007. 479 с. ISBN 5-17-030718-7.
2. Alispahić A., Salihović M., Ramić E., Pazalja A. Phenolic content and antioxidant activity of mushroom extracts from Bosnian market // Bull Chem Technol Bosnia Herzegovina. 2015/ Vol. 44. P. 5–8. URL: <https://hemija.pmf.unsa.ba/glasnik/files/Issue%2044/5-5-8-Alispahi.pdf> (дата обращения: 05.08.2025).

3. Yahia E.M., Gutiérrez-Orozco F., Moreno-Pérez M.A. Identification of phenolic compounds by liquid chromatography–mass spectrometry in seventeen species of wild mushrooms in Central Mexico and determination of their antioxidant activity and bioactive compounds // *Food Chem.* 2017. Vol. 226. P. 14–22. DOI: 10.1016/J.FOODCHEM.2017.01.045.
4. Cheung L.M., Cheung P.C. Mushroom extracts with antioxidant activity against lipid peroxidation // *Food Chem.* 2005. Vol. 89. P. 403–409. DOI: 10.1016/J.FOODCHEM.2004.02.038.
5. Puttaraju N.G., Venkateshaiah S.U., Dharmesh S.M., Urs S.M.N., Somasundaram R. Antioxidant activity of indigenous edible mushrooms // *J Agric Food Chem.* 2006. Vol. 54 (26). P. 9764–9772. DOI: 10.1021/JF0615707.
6. Barros L., Ferreira M.-J., Queirós B., Ferreira I.C.F.R., Baptista P. Total phenols, ascorbic acid, β -carotene and lycopene in Portuguese wild edible mushrooms and their antioxidant activities // *Food Chem.* 2007. Vol. 103. P. 413–419. DOI: 10.1016/J.FOODCHEM.2006.08.026.
7. Pop R.M., Puia I.C., Puia A., Chedea V.S., Leopold N., Bocsan I.C., Buzoianu A.D. Characterization of *Trametes versicolor*: medicinal mushroom with important health benefits // *Not Bot Horti Agrobo Cluj-Napoca.* 2018. Vol. 46 (2). P. 343–349. DOI: 10.15835/NBHA46211132.
8. Kachrimanidou V., Alexandri M., Papapostolou H., Papadaki A., Kopsahelis N. Valorization of grape pomace for *Trametes versicolor* mycelial mass and polysaccharides production // *Sustainability.* 2023. Vol. 15. P. 15080. DOI: 10.3390/su152015080.
9. Şule İnci, Akyüz M., Kırbağ S. Antioxidant and antimicrobial effects of *Trametes versicolor* (L.) Lloyd extracts in different solvents // *Turk J Sci Technol.* 2022. Vol. 9. P. 261–265. DOI: 10.55525/tjst.1076245.
10. Bai M., Huang Z., Zheng X., Hou M., Zhang S. Polysaccharides from *Trametes versicolor* as a potential prebiotic to improve the gut microbiota in high-fat diet mice // *Microorganisms.* 2024. Vol. 12 (8). P. 1654. DOI: 10.3390/microorganisms12081654.
11. Olawuni Ajibola O., Nolasco-Hipolito C., Carvajal-Zarrabal O. et al. Turkey tail mushroom (*Trametes versicolor*): an edible macrofungi with immense medicinal properties // *Curr Opin Food Sci.* 2024. Vol. 58. P. 101191. DOI: 10.1016/j.cofs.2024.101191.
12. Assessment of bioactive compounds and antioxidant activity of turkey tail medicinal mushroom *Trametes versicolor* (Agaricomycetes) // *Int J Med Mushrooms.* 2020. Vol. 22 (6). P. 559–571. DOI: 10.1615/IntJMedMushrooms.2020035027.
13. Zhou Z., Jiang J., Wu J., Duan J. Insights into the lifecycle of *Trametes versicolor*: from structure, catalytic mechanism to applications // *Appl Microbiol Biotechnol.* 2021. Vol. 105. P. 5641–5656. DOI: 10.1007/s00253-021-11432-2.
14. Habtemariam S. *Trametes versicolor* (Synn. *Coriolus versicolor*) Polysaccharides in Cancer Therapy: Targets and Efficacy // *Biomedicines.* 2020. Vol. 8. P. 135. DOI: 10.3390/biomedicines8050135.
15. Srivastava M., Kumari M., Karn S.K., Bhambri A., Mahale V.G. and Mahale S. (2024) Submerged cultivation and phytochemical analysis of medicinal mushrooms (*Trametes* sp.) // *Front. Fungal Biol.* Vol. 5. P. 1414349. DOI: 10.3389/ffunb.2024.1414349.
16. Мустафин К.Г., Бисько Н.А., Нармуратова Ж.Б., Жакипбекова А.С., Садуева Ж.К., Калиева А.К., Ахметсадыков Н.Н., Сулейменова Ж.Б. Құрамында полисахариді жоғары дәрілік базидиомицеттер штамдарыныңскринингі // *Микробиология және вирусология.* 2022. № 3 (38). DOI: 10.53729/MV-AS.2022.03.03.
17. Habibi E., Sadat-Ebrahimi S.E., Mousazadeh S.A., Amanzadeh Y. Mycochemical investigation of the turkey tail medicinal mushroom *Trametes versicolor* (Higher Basidiomycetes): a potential application of the isolated compounds in documented pharmacological studies // *Int J Med Mushrooms.* 2015. Vol. 17 (3). P. 255–265. DOI: 10.1615/IntJMedMushrooms.v17.i3.40.
18. Rasika L., Nilsson K., Holmgren M., Madavi B., Nilsson R.T., Sellstedt A. Adaptability of *Trametes versicolor* to the lignocellulosic inhibitors furfural, HMF, phenol and levulinic acid during ethanol fermentation // *Biomass Bioenergy.* 2016. Vol. 90. P. 95–100. DOI: 10.1016/j.biombioe.2016.03.030.
19. Панфилова Т.С., Гапоненко Н.И. Микофлора бассейна р. Ангрен // Академия наук Узбекской ССР, Институт ботаники. Ташкент: Издательство Академии наук Узбекской ССР, 1963. 208 с.
20. Ахмедова З.Р., Шонахунов Т.Э., Гулямова И.Т., Хамраева З.Т., Оценка активности гидролитических ферментов и изменения аминокислотного состава спиртовой барды после глубинного культивирования *Pleurotus ostreatus* и *Agaricus bisporus* // *Микология и фитопатология.* 2022. Т. 56. № 4. С. 264–275. URL: <https://journals.rcsi.science/0026-3648/article/view/138061/115995> (дата обращения: 27.09.2025). DOI: 10.31857/S0026364823010038.
21. Mustafaev I.M., Khojimatov O.K., Khamraeva D.T., Iminova M.M., Islomiddinov Z.Sh., Sherkulova J.P. Exploring edible and medicinal mushrooms: Ethnomycological insights from Samarkand, Jizzakh and Kashkadarya regions of Uzbekistan // *Plant Science Today.* 2025. DOI: 10.14719/pst.3571.
22. Бухало А.С. Высшие съедобные базидиомицеты в чистой культуре. Киев: Наукова думка, 1988. 143 с. ISBN 5-12-000267-6.
23. Бондарцева М.А. Определитель грибов России: (порядок Афиллофоровые). Л.: Наука, 1998. Вып. 2. 391 с. ISBN 5-02-026076-2.
24. Conceição J.C.S., Dias H.J., Peralva C.M.S. et al. Phenolic compound biotransformation by *Trametes versicolor* ATCC 200801 and molecular docking studies // *Appl Biochem Biotechnol.* 2020. Vol. 190. P. 1498–1511. DOI: 10.1007/s12010-019-03191-y.
25. Tisma M., Plazl P.Z., Selo G., Tolj I., Speranda M., Koji A.B., Planin M. *Trametes versicolor* in lignocellulose-based bioeconomy: state of the art, challenge and opportunities // *Bioreour Technol.* Т. 330. Июнь 2021. P. 124997. DOI: 10.1016/j.biortech.2021.124997.
26. Fabros J.A., Lazo M.K.M., Magpantay J.E.S., Abon M.D., Dulay R.M.R. The effect of nutritional and physical factors on the growth of *Trametes versicolor* (L.) Lloyd and its mycochemical and cytotoxic properties // *Stud Fungi.* 2023. Vol. 8. P. 18. DOI: 10.48130/SIF-2023-0018.

Конфликт интересов: Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest: The authors declare that there is no conflict of interest.

УДК 631.416:504.5(575.1)

**ФАУНА ФИТОНЕМАТОД ВИНОГРАДНИКОВ
АНДИЖАНСКОЙ ОБЛАСТИ****Эргашева Н.С., Абдурахманова Г.А.***Национальный университет Узбекистана имени Мирзо Улугбека,
Ташкент, Узбекистан, e-mail: ergashevanodira079@gmail.com*

В настоящее время ежегодно от 20 до 40% мирового урожая сельскохозяйственных культур теряется из-за негативного воздействия различных вредителей и паразитов растений. Более 14% этих потерь приходится на долю фитонематод – паразитических нематод, поражающих растения. Целью данного исследования является определение видового состава фитонематод, обитающих в виноградниках Андижанской области. Из каждого фермерского хозяйства Андижанской области отбирались пробы с 15 кустов винограда (*Vitis vinifera* L.) по диагональному маршруту, включая корневую систему растений и прилегающий к ней почвенный слой. Пробы почвы отбирались с глубины 0–10, 10–20 и 20–30 см, каждая массой примерно 1,0 кг. В результате проведенных исследований на общей площади 64 га в трех районах Андижанской области было выявлено 77 видов фитонематод. Был проведен анализ степени сходства видов фитонематод, распространенных в районах Андижанской области. Согласно индексу Соренсена – Дайса, степень сходства между Булобашинским и Асакинским районами составила $S = 0,57$, или 57%. Между Булобашинским и Джалакудукским районами степень сходства составила $S = 0,62$, или 62%. Между Асакинским и Джалакудукским районами – $S = 0,48$, или 48%.

Ключевые слова: паразитические нематоды, фитонематоды в виноградниках, индекс Соренсена – Дайса, садовые культуры, Андижанская область

Благодарности: Авторы выражают глубокую благодарность сотрудникам лаборатории экспериментальной зоологии Национального университета Узбекистана за постоянную помощь в проведении исследования, а также старшему преподавателю Национального университета Узбекистана, кандидату биологических наук Омонову Ш.Н. за помощь в оформлении статьи.

**FAUNA OF PHYTONEMATODES IN VINEYARDS
OF ANDIJAN REGION****Ergasheva N.S., Abdurakhmanova G.A.***National University of Uzbekistan named after Mirzo Ulugbek,
Tashkent, Uzbekistan, e-mail: ergashevanodira079@gmail.com*

Currently, between 20 and 40% of the global crop yield is lost annually due to the negative impact of various plant pests and parasites. More than 14% of these losses are attributed to phytonematodes – parasitic nematodes that infect plants. The aim of this study is to determine the species composition of phytonematodes inhabiting vineyards in the Andijan region. Samples were collected from each farm in the Andijan region from 15 grapevine bushes (*Vitis vinifera* L.) following a diagonal sampling route, including the root system and the adjacent soil layer. Soil samples were taken from depths of 0–10 cm, 10–20 cm, and 20–30 cm, each weighing approximately 1.0 kg. As a result of the research conducted over a total area of 64 hectares in three districts of the Andijan region, 77 species of phytonematodes were identified. An analysis of the similarity level of phytonematode species distributed across the districts of the Andijan region was carried out. According to the Sorensen-Dice index, the similarity between Bulokboshi and Asaka districts was $S = 0.57$ (57%). The similarity between Bulokboshi and Jalakuduk districts was $S = 0.62$ (62%), while the lowest similarity was observed between Asaka and Jalakuduk districts – $S = 0.48$ (48%).

Keywords: horticultural crops, parasitic nematodes, phytonematodes in vineyards, Sorensen – Dice index, Andijan region

Acknowledgements: The authors express their deep gratitude to the staff of the laboratory of experimental zoology of the National University of Uzbekistan for their constant assistance in conducting the study, as well as to the senior lecturer of the National University of Uzbekistan, candidate of biological sciences Omonov Sh.N. for assistance in preparing the article.

Введение

Стремительный рост численности населения мира с каждым годом порождает все больше потребностей, в том числе в продовольствии и сельскохозяйственной продукции. Обеспечение глобального спроса на продовольственные товары и достижение высокой урожайности сельскохозяйственных культур является приоритетной задачей, стоящей перед многими странами [1, с. 333]. В настоящее время ежегодно от 20 до 40% мирового урожая сельскохозяйственных культур

теряется из-за негативного воздействия различных вредителей и паразитов растений [2; 3]. Более 14% этих потерь приходится на долю фитонематод – паразитических нематод, поражающих растения [4, с. 378].

В этом контексте изучение фауны фитонематод, особенно фитопаразитических видов, проведение глубоких научных исследований, направленных на разработку мер борьбы с заболеваниями, вызываемыми этими организмами, приобретает важное научно-практическое значение [5; 6].

Во всем мире в течение многих лет проводятся научные исследования, посвященные вредному влиянию фитонематод на сельскохозяйственные и садовые культуры [7, с. 63]. Особое внимание уделяется изучению современной распространенности фитонематод в виноградниках, оценке степени их фитопаразитизма, разработке и совершенствованию мер борьбы с ними с использованием современных технологий [8–10].

В последние годы в Узбекистане значительно расширены посевные площади с целью увеличения объемов производства продовольственных товаров, обеспечения внутреннего рынка качественной продукцией и повышения экспортного потенциала страны [11–13].

На сегодняшний день в Андижанской области виноград выращивается на площади около 5500 га. Ежегодно хозяйствами всех категорий региона производится в среднем около 82200 т винограда [14; 15]. В Андижанской области преимущественно возделываются такие сорта винограда, как «Андижанская черная», «Ризамат ота», «Хусайни» и «Келин бармак» [16].

Цель исследования – определение видового состава фитонематод, обитающих в виноградниках Андижанской области. Дополнительно проводится сравнительный анализ видового разнообразия нематод, выявленных в виноградниках различных районов области, с акцентом на сходства и различия в видовом составе.

Материалы и методы исследования

Исследовательская работа проводилась в течение 2023–2025 гг. в виноградарских районах Андижанской области. В частности, были отобраны соответствующие виноградники в следующих районах области: Булакбоши (40°37'44.83"N 72°30'05.45"E), Асака (40°39'19.6"N 72°12'21.15"E) и Джалакудук (40°41'40.34"N 72°36'42.47"E).

При отборе проб применялись маршрутный и стационарный методы. Для выделения нематод из собранных проб, их фиксации, приготовления временных и постоянных препаратов, а также для определения видов использовались общезоологические, экологические, фитогельминтологические, паразитологические и статистические методы анализа [17; 18].

Из каждого фермерского хозяйства отбирались пробы с 15 кустов винограда (*Vitis vinifera* L.) по диагональному маршруту, включая корневую систему растений и прилегающий к ней почвенный слой. Пробы почвы отбирались с глубины 0–10, 10–20 и 20–30 см, каждая массой примерно 1,0 кг.

В лабораторных условиях пробы обрабатывались по методу Декера: первоначально – 4% раствором формалина (для сохранения тонуса тела нематод), затем прогревались при температуре 50 °C и оставались в таком состоянии на 48 ч. После указанного времени из проб готовились препараты: материал переносился на предметные стекла, обрабатывался глицерином и фиксировался [19, с. 27].

Для определения видов использовались морфометрические показатели, рассчитанные по формуле де Манна (1880) и ее модификации по Миколетцкому (1922), включая такие параметры, как общая длина тела, ширина тела, длина пищевода, длина хвоста и процентное соотношение расположения вульвы (у самок) к общей длине тела. И также использовались микроскопы моделей МБС-1 и В-191S [20, с. 49].

Формула де Манна и модификация Миколетцкого:

$$\frac{L}{a, b, c} = 100 \% \frac{V}{L} = 100 \%$$

Оценка видового разнообразия фитонематод, распространенных в виноградниках Андижанской области, проводилась с использованием индекса сходства по Серенсену (Sorensen – Dice index), по формуле (Песенко, 1982), а также индекса видового богатства по Маргалефу (1951) для анализа численного состава видов в корневой системе винограда [20, с. 49].

$$S = \frac{2C}{A + B},$$

где А – количество видов в первом биотопе,
В – количество видов во втором биотопе,
С – количество общих видов для обоих биотопов.

Результаты исследования и их обсуждение

В ходе проведенных исследований были изучены фитонематоды, распространенные в виноградниках фермерских хозяйств, расположенных на территории Булакбашинского, Асакинского и Джалакудукского районов Андижанской области. Распространение фитонематод в виноградниках анализировалось в разрезе указанных районов. Исследования проводились на территории площадью 64 га. Так, в виноградниках, расположенных в Булакбашинском районе, было выявлено 50 видов фитонематод, обитающих в ризосфере и на корнях растений. В виноградниках Асакинского района зарегистрированы 48 видов фитонематод. В виноградниках Джалакудукского района было идентифицировано 43 вида фитонематод (табл. 1).

Таблица 1

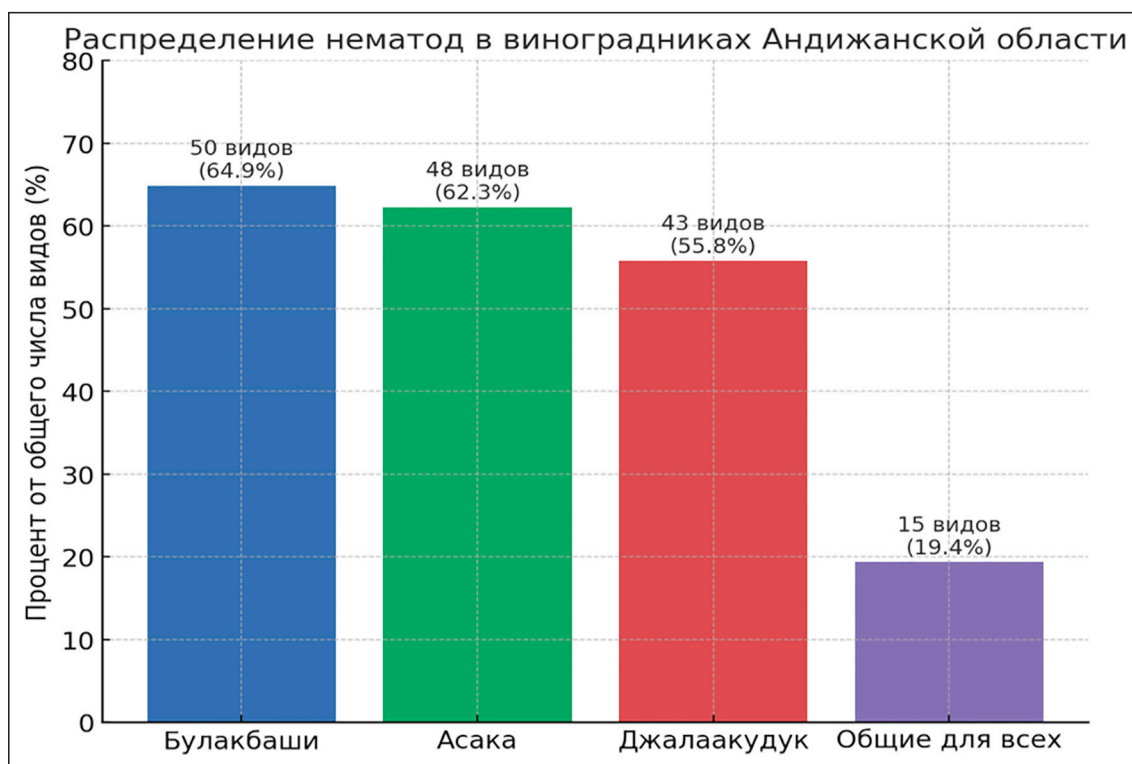
Список фитонематод, распространенных на виноградниках Андижанской области

№	Виды	Булакбашинский район 33 га	Асакинский район 17 га	Джалакудукский район 24 га
		64 га		
1.	<i>Anaplectus granulosus</i>	+	+	+
2.	<i>Aporcelaimus superbus</i>	–	+	–
3.	<i>Aporcelaimellus abtusicaudatus</i>	+	–	–
4.	<i>Aporcelaimellus obscurus</i>	–	+	–
5.	<i>Alaimus primitivus</i>	+	–	–
6.	<i>Alaimus striatus</i>	+	–	+
7.	<i>Acrobeloides buetschlii</i>	+	–	–
8.	<i>Acrobeloides emarginatus</i>	–	+	–
9.	<i>Acrobeloides maximus</i>	–	–	+
10.	<i>Acrobeloides nanus</i>	+	–	–
11.	<i>Acrobeloides tricornis</i>	+	+	–
12.	<i>Aphelenchus avenae</i>	+	+	
13.	<i>Aphelenchus cylindricaudatus</i>	+	–	+
14.	<i>Aphelenchus solani</i>	+	+	–
15.	<i>Aphelenchoides clarolineatus</i>	+	+	–
16.	<i>Aphelenchoides dactylocercus</i>	+	+	–
17.	<i>Aglencus thornei</i>	+	+	–
18.	<i>Bitylenchus dubius</i>	+	+	+
19.	<i>Clarcus papillatus</i>	+	+	–
20.	<i>Clarcus parvus</i>	+	–	+
21.	<i>Cephalobus persegnis</i>	+	–	+
22.	<i>Chiloplacus demani</i>	–	+	–
23.	<i>Chiloplacus lentus</i>	–	–	+
24.	<i>Chiloplacus propinquus</i>	–	–	+
25.	<i>Chiloplacus symmetricus</i>	–	+	+
26.	<i>Cervidelus insubricus</i>	+	+	–
27.	<i>Dorylaimus mirus</i>	+	–	–
28.	<i>Discolaimium cylindricum</i>	+	–	–
29.	<i>Diphtherophora kirjanovae</i>	–	+	–
30.	<i>Ditylenchus dipsaci</i>	+	–	+
31.	<i>Eudorylaimus centrocerus</i>	+	–	+
32.	<i>Eudorylaimus kirjanovae</i>	+	+	+
33.	<i>Eudorylaimus monohystera</i>	–	+	+
34.	<i>Eudorylaimus parvus</i>	+	–	+
35.	<i>Eudorylaimus pratensis</i>	+	–	–
36.	<i>Eucephalobus cornis</i>	–	+	–
37.	<i>Eucephalobus oxyuroides</i>	–	+	–
38.	<i>Eucephalobus striatus</i>	+	+	–
39.	<i>Enchodelus macrodorus</i>	+	+	–

Окончание табл. 1

№	Виды	Булакбашинский район 33 га	Асакинский район 17 га	Джалакудукский район 24 га
		64 га		
40.	<i>Heterocephalobus filiformis</i>	+	–	+
41.	<i>Helicotylenchus dihystra</i>	+	+	+
42.	<i>Helicotylenchus erythrinae</i>	–	+	+
43.	<i>Helicotylenchus multicinctus</i>	–	–	+
44.	<i>Filenchus filiformis</i>	–	+	–
45.	<i>Lelenchus leptosome</i>	–	+	–
46.	<i>Longidorella parva</i>	+	+	+
47.	<i>Monhystera filiformis</i>	+	–	+
48.	<i>Mononchus truncatus</i>	–	+	–
49.	<i>Mylonchulus parabrachyurus</i>	–	+	–
50.	<i>Mylonchulus solus</i>	+	+	+
51.	<i>Mylonchulus sigmaturus</i>	+	–	+
52.	<i>Mesodorylaimus bastiani</i>	–	–	+
53.	<i>Mesodorylaimus parasubulatus</i>	+	+	–
54.	<i>Mesorhabditis irregularis</i>	+	+	–
55.	<i>Mesorhabditis monhystera</i>	–	+	–
56.	<i>Meloidogyne incognita</i>	–	+	–
57.	<i>Meloidogyne javanica</i>	+	+	+
58.	<i>Neotylenchus abulbosus</i>	+	–	+
59.	<i>Plectus cirratus</i>	+	+	+
60.	<i>Plectus parietinus</i>	+	+	+
61.	<i>Proteroplectus parvus</i>	–	+	+
62.	<i>Paradorylaimus filiformis</i>	+	+	+
63.	<i>Pelodera cylindrica</i>	+	+	+
64.	<i>Panagrolaimus armatus</i>	–	–	+
65.	<i>Panagrolaimus multidentatus</i>	+	+	+
66.	<i>Panagrolaimus rigidus</i>	–	+	+
67.	<i>Panagrolaimus spondyli</i>	–	–	+
68.	<i>Panagrolaimus subelongatus</i>	–	+	+
69.	<i>Paraphelenchus pseudoparietinus</i>	+	+	+
70.	<i>Paraphelenchus tritici</i>	+	–	+
71.	<i>Psilenchus clavicaudatus</i>	+	–	+
72.	<i>Pratylenchus pratensis</i>	–	+	–
73.	<i>Pratylenchoides crenicauda</i>	+	–	+
74.	<i>Rotylenchus robustus</i>	+	–	–
75.	<i>Tylenchus davainei</i>	+	+	+
76.	<i>Xiphinema americanum</i>	+	+	+
77.	<i>Xiphinema elongatum</i>	+	+	+
Итого		50	48	43

Источник: составлено авторами.



Видовой состав по исследованным районам Андижанской области
 Источник: составлено авторами

Таблица 2

Степень сходства видов фитонематод в исследованных районах
 Андижанской области по индексу Соренсена – Дайса

Районы	Булакбашинский район	Асакинский район	Джалакудукский район
Булакбашинский район	1	0	0
Асакинский район	0,57	1	0
Джалакудукский район	0,62	0,48	1

Источник: составлено авторами по [19].

В результате проведенных исследований в соответствующих районах Андижанской области было установлено, что видовое разнообразие фитонематод, распространенных в виноградниках, варьирует в зависимости от района при общем количестве 77 видов (100%). В частности, в Булакбашинском районе было выявлено 50 видов (64,9%), в Асакинском районе – 48 видов (62,3%), а в Джалакудукском районе – 43 вида (55,8%). Фитонематоды, относящиеся к 15 видам (19,4% от общего числа собранных образцов), были зарегистрированы во всех исследованных районах (рисунок).

Был проведен анализ степени сходства видов фитонематод, распространенных

в вышеуказанных районах Андижанской области. Согласно индексу Соренсена – Дайса, степень сходства между Булакбашинским и Асакинским районами составила $S = 0,57$, или 57%. Между Булакбашинским и Джалакудукским районами степень сходства составила $S = 0,62$, или 62%. Между Асакинским и Джалакудукским районами – $S = 0,48$, или 48% (табл. 2).

Заключение

В результате проведенных исследований на общей площади 64 га в трех районах Андижанской области было выявлено 77 видов фитонематод. Из общего количества собранных образцов 15 видов (19,4%)

были зарегистрированы во всех районах. Наибольшее количество видов было обнаружено в Булокбашинском районе (50 видов), а наименьшее – в Джалакудукском районе (43 вида). Наибольшая степень сходства видового состава отмечена между Булокбашинским и Джалакудукским районами ($S = 0,62$), а наименьшая – между Асакинским и Джалакудукским районами ($S = 0,48$).

Список литературы

1. Kikuchi T., Eves-van den Akker S., Jones J.T. Genome evolution of plant-parasitic nematodes // Annual Review of Phytopathology. 2017. Vol. 55. P. 333–354. DOI: 10.1146/annurev-phyto-080516-035434.
2. Кириянова Е.С., Кралл Э.Л. Паразитические нематоды растений и меры борьбы с ними. Л.: Наука, 1969. Т. 1. 447 с.
3. Поразинска Д.Л., Санг Ю., Гиблин-Дэвис Р.М., Томас В.К. Разграничение фитопаразитных нематод в сложных почвенных сообществах с использованием экометагенетики // Phytopathology. 2014. Т. 104. № 7. С. 749–761. DOI: 10.1094/PHYTO-08-13-0236-R.
4. Парамонов А.А. Попытка экологической классификации фитопаразитных нематод // Труды ГЕЛАН СССР. 1952. Т. 6. С. 338–369.
5. Рахимов М.Ш., Омонов Ш.Н. Биологические характеристики *Theretra alecto* (L., Sphingidae, Lepidoptera) // Актуальные проблемы и перспективы изучения животного мира: материалы международной научно-практической конференции (Карши, 7–8 ноября 2024 г.). Карши: Издательство Каршинского государственного университета, 2024. С. 17–21.
6. Омонов Ш.Н., Рахимов М.Ш. Экологическая группировка бражников (Sphingidae), распространенных в средних течениях реки Зарафшан // Современная биология и генетика. 2024. Т. 2. № 8. С. 63–75.
7. Рахимов М.Ш., Омонов Ш.Н., Тураев Ш.А., Саибова Х.Р. Таксономический обзор пауков (Aranei) Узбекистана (по материалам К.Г. Михайлова) // Современная биология и генетика. 2025. Т. 1. № 11. С. 104–109.
8. Singh S.K., Hodda M., Ash G.J. Plant-parasitic nematodes of potential phytosanitary importance, their main hosts and reported yield losses // Eppo Bulletin. 2013. Т. 43. № 2. P. 334–374. DOI: 10.1111/epp.12050.
9. Камбаров С.С., Эшова К.С. Фитонематоды агроценозов лука в восточных территориях Ферганской долины // Universum: химия и биология. 2023. № 9–1 (111). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/fitonematody-lukovyh-agrotse-nov-zov-vostochnyh-territoriy-ferganskoy-doliny> (дата обращения: 16.08.2025).
10. Хурамов А.Ш. Влияние абиотических факторов на динамику популяций фитопаразитных нематод пшеницы // Русский журнал паразитологии. 2018. Т. 12. № 4. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/vliyanie-abioticheskikh-faktor-ov-na-dinamiku-chislennosti-fitonematod-pshenitsy> (дата обращения: 16.08.2025).
11. Саидова Ш.О., Азимов Д.А., Эгамберганаева А.Ш., Еркулов Ж.М., Арамова Г.Б., Матмуратова Г.Б. Распространение видов рода *Meloidogyne* в Ташкентском оазисе и Ферганской долине // Научное обозрение. Биологические науки. 2025. № 1. С. 5–10. DOI: 10.17513/srbs.1389.
12. Saidova S., Eshova H., Mirzalieva G., Sadikova S. Distribution of root-knot nematodes on agricultural plants, harm and their host plants // Bulletin of National University of Uzbekistan. Mathematics and Natural Sciences. 2020. Vol. 3. P. 375–387. DOI: 10.56017/2181-1318.1116.
13. Turgunboeva M.A., Baltabaev A. Apis (Apidae) oilasiga mansub hasharotlarning o'rganilishiga oid // Research and Education. 2024. Т. 3. № 11. URL: <https://researchweb.uz/index.php/researchedu/article/view/113> (дата обращения: 16.08.2025).
14. Eshova H.S. Nematodes of arid areas of Uzbekistan // European Journal of Biomedical and Pharmaceutical Sciences. 2016. Т. 3. № 12. URL: https://www.ejbps.com/ejbps/abstract_id/1945 (дата обращения: 16.08.2025).
15. Эшова Х. Нематоды аридных зон Узбекистана и пути их адаптации к условиям среды обитания: автореф. дис. ... докт. биол. наук. Ташкент: НуУз, 2017. 67 с.
16. Khurramov A., Bobokeldieva L. Faunistic complex and ecology of phytoparasitic nematodes of vine agrocenoses in the south of Uzbekistan // Universum: химия и биология. 2021. № 8 (86). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/faunistic-complex-and-ecology-of-phytoparasitic-nematodes-of-vine-agrocenoses-in-the-south-of-uzbekistan> (дата обращения: 16.08.2025).
17. Очилов Э.У.У., Даминаева Ю.А.К., Абдурахмонова Г.А. Экологические свойства фитонематод плодовых деревьев Джизакской области // Universum: химия и биология. 2021. № 7–1 (85). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/ekologicheskie-svoystva-fitonematod-plodovyh-dereviev-dzhizakskoy-oblasti> (дата обращения: 16.08.2025).

Конфликт интересов: Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest: The authors declare that there is no conflict of interest.

УДК 631.4:631.6(575.111)

ОСНОВНЫЕ СВОЙСТВА ОРОШАЕМЫХ ТИПИЧНЫХ СЕРОЗЕМОВ, РАСПРОСТРАНЕННЫХ В ПАРКЕНТСКОМ РАЙОНЕ ТАШКЕНТСКОЙ ОБЛАСТИ

Гулимов К.Х., Баходиров З.А., Ахмедов А.У.

*Институт почвоведения и агрохимических исследований Министерства сельского хозяйства
Республики Узбекистан, Ташкент, Узбекистан, e-mail: zafarbahodirov@gmail.com*

Цель исследования – изучение свойств и особенностей орошаемых типичных сероземов, распространенных в Паркентском районе Ташкентской области, с учетом природных условий территорий и человеческого фактора, а также агрофизических и агрохимических свойств, установление степени плодородия и оценка современного состояния почв. Полевые, лабораторно-аналитические и камеральные исследования проведены стандартными методами, принятыми в почвоведении. В исследованиях использованы сравнительно-географические, сравнительно-геохимические, лабораторно-аналитические методы. Верхние горизонты описываемых почв практически незасолены (промыты), с глубиной обнаруживаются слабозасоленные и очень редко средnezасоленные разности; 38,4% орошаемых почв слабо, 22,8% средние, 6,2% сильно и 4,7% очень сильно засолены, незасоленные почвы составляют 27,9% площади. Механический состав почв в основном тяжелосуглинистый и среднесуглинистый, количество частиц физической глины (< 0,01 мм) колеблется в пределах 37,4–57,2%, установлены доминирующие частицы среди механического состава, установлено среднее содержание гумуса в верхних горизонтах почв, низкое и среднее количество подвижного фосфора, высокая степень обеспеченности этих почв обменным калием. На основе полученных новых и достоверных данных дана оценка современного состояния орошаемых типичных сероземов. На основе полученных сведений сделаны выводы по агрофизическим и агрохимическим свойствам изученных почв.

Ключевые слова: типичный серозем, гумус, питательные вещества, пахотный, содержание CO₂ карбонатов, механический состав, подпахотный, горизонты

MAIN PROPERTIES OF IRRIGATED TYPICAL SEROZEM SOILS DISTRIBUTED IN PARKENT DISTRICT, TASHKENT REGION

Gulimov K.Kh., Bakhodirov Z.A., Akhmedov A.U.

*Institute of Soil Science and Agrochemical Research of the Ministry of Agriculture
of the Republic of Uzbekistan, Tashkent, Uzbekistan, e-mail: zafarbahodirov@gmail.com*

The objective of the study is to investigate the properties and characteristics of irrigated typical serozem soils common in the Parkent district of the Tashkent region, taking into account the natural conditions of the territories and the human factor, as well as the agrophysical and agrochemical properties, to establish the degree of fertility and assess the current state of the soils. Field, laboratory-analytical and office studies were conducted using standard methods adopted in soil science. Comparative geographical, comparative geochemical, laboratory-analytical methods were used in the study. The upper horizons of the described soils are practically non-saline (washed out), with slightly and very rarely moderately saline varieties being found with depth. 38.4% of irrigated soils are slightly, 22.8% – moderately, 6.2% – highly and 4.7% very highly saline, non-saline soils make up 27.9% of the area. The soil texture is primarily heavy to medium loamy, with the amount of physical clay particles (<0.01 mm) ranging from 37.4 to 57.2%. The dominant particles in the texture were identified, along with a moderate humus content in the upper soil horizons, low to moderate amounts of available phosphorus, and a high degree of exchangeable potassium supply. Based on the new and reliable data obtained, an assessment was made of the current state of irrigated typical serozem soils. Based on the obtained information, conclusions were drawn regarding the agrophysical and agrochemical properties of the studied soils.

Keywords: typical serozem soil, humus, nutrients, mechanical composition, CO₂ carbonates content, arable, subarable, horizons

Введение

Согласно данным ФАО (Продовольственная и сельскохозяйственная организация Объединенных Наций) в настоящее время более 33 % земель подвержены деградации, 2,6 млрд чел. страдают от последствий деградации почв, наблюдается снижение их плодородия вследствие эрозии, засоления, опустынивания и других деграционных процессов. Охрана почвенного покрова от процессов деградации, проведение научно обоснованных агротехнических и агрохимических мероприятий, направленных

на повышение плодородия орошаемых почв, считается актуальным.

В Республике Узбекистан ведутся широкомасштабные мероприятия по сохранению, повышению плодородия орошаемых почв, подверженных деградации, предотвращению этих процессов, повышению урожайности сельскохозяйственных культур [1, с. 1–10].

В Стратегии действий развития Республики на 2017–2022 гг. постоянное развитие сельскохозяйственного производства, укрепление продовольственной безопасности

страны, расширение производства экологически чистой продукции, смягчение отрицательного влияния глобального изменения климата на сельское хозяйство определены в качестве важных стратегических задач [2, с. 37; 3, с. 5–6]. В связи с этим улучшение свойств и особенностей орошаемых почв важно для дальнейшего развития сельского хозяйства Республики Узбекистан.

За последние 30 лет в орошаемых почвах Узбекистана содержание гумуса снизилось на 10–15%, и в результате расчета эквивалент площади орошаемых земель составил 450 тыс. га. Значительные площади орошаемых почв ниже среднего содержания обеспечены: гумусом – 93%, подвижным фосфором – 68,3%, обменным калием – 79,3%. Что касается засоления, 38,4% орошаемых почв слабо засолены, 22,8% – средне засолены, 6,2% – сильно засолены и 4,7% – засолены в очень высокой степени, незасоленные почвы занимают 27,9% [4, с. 120; 5, с. 69].

Были проанализированы данные о современных агрохимических свойствах типичных сероземов Паркентского района Ташкентской области, включая содержание гумуса, подвижных форм фосфора и калия, степень засоления и механический состав [6, с. 133–137; 7, с. 1–6].

Морфологические особенности и основные физико-агрохимические свойства орошаемых типичных сероземов, их механический состав прежде всего характеризуются текстурой, классифицируемой как крупнопылеватая и тяжелосуглинистая. Такой специфический состав влияет как на водоудерживающую способность почвы, так и на ее аэрацию, являясь решающим фактором для развития корневой системы растений и активности микроорганизмов [8, с. 1–6; 9, с. 5–8].

В типичных сероземах представлены экспериментальные результаты и рекомендации, соответствующие климатическим и агротехническим условиям, по повышению плодородия почв за счет использования растительных остатков (мульчи) и различных удобрений (органических и минеральных) [10, с. 1–6; 11, с. 189–193].

Проанализированы данные о содержании гумуса, климатических условиях и степени эрозии территории типичных сероземов, при этом особо отмечено, что по содержанию гумуса они относятся к группе со средним уровнем обеспеченности [12, с. 137–140; 13, с. 273–279].

При оценке плодородия орошаемых типичных сероземов были проанализированы механический состав, агрохимические и агрофизические свойства эродиро-

ванных орошаемых типичных сероземов территории С. Рахимова Чиназского района Ташкентской области, на основе чего была определена бонитировка почв [14, с. 451–456; 15, с. 1–5].

Цель исследования – изучить агрофизические и агрохимические свойства и особенности орошаемых типичных сероземов, распространенных в предгорных и подгорных равнинах Паркентского района Ташкентской области, а также оценить их агрохимические состояние и степень плодородия.

Материал и методы исследования

В качестве объекта выбраны староорошаемые типичные сероземы, распространенные на массиве «Навбахор» Паркентского района Ташкентской области.

Паркентский район находится в 48 км восточнее Ташкента, западнее Чаткальской горной системы среднего Тянь-Шаня, окружен горами, рельеф предгорной равнины образован адырами и горами, и в связи с этим климат территории делится на вертикальные пояса и характеризуется различными особенностями [16, с. 131–135].

Климат территории резко континентальный и сухой, средняя температура воздуха 14 °С. Лето сухое и жаркое, средняя температура в июне – 27–29 °С. Летом температура поднимается до 45–46 °С. Период вегетации – 220 дней. Годовое количество осадков – 180–220 мм. Основное количество осадков наблюдается в зимне-весенние месяцы. В связи с сильным испарением летом подземные воды способствуют слабому засолению почв [17, с. 351; 18, с. 84–86].

Почвенно-полевые исследования и камерально-аналитические работы проведены общепринятыми методами, разработанными в ТАТИ (Институт почвоведения и агрохимических исследований) и УзПИТИ (Узбекский научно-исследовательский институт хлопководства), в том числе инструкции по выполнению почвенных исследований для ведения Государственного земельного кадастра и составлению почвенных карт [19, с. 52]. Химические анализы почв проведены по Е.В. Аринушкиной «Руководство по химическому анализу почв» и «Руководство по проведению химических и агрохимических анализов при мониторинге земель» ТАТИ (Институт почвоведения и агрохимических исследований) [20, с. 491; 21, с. 260] и «Методические указания по выполнению почвенно-агрохимических исследований на орошаемых почвах, составлению картограмм и разработке научных требований к минеральным удобрениям» [22, с. 36].

Результаты исследования и их обсуждение

Механический состав почв. Установлено, что орошаемые типичные сероземы, распространенные в Паркентском районе Ташкентской области на ключевом участке «Навбахор», в основном тяжелосуглинистые и среднесуглинистые (табл. 1).

Количество частиц физической глины (< 0,01 мм) в данных почвах колеблется в широких пределах и составляет в тяжелосуглинистых почвах в пределах 45,3–57,2%, в среднесуглинистых – в пределах 37,4–42,9% (табл. 1).

Верхние горизонты (0–26–30 см) изученных орошаемых типичных сероземов массива «Навбахор» по механическому составу состоят в основном из тяжелых суглинков (табл. 2). Количество частиц физической глины составляет 45,3–48,9%. В механическом составе почв частицы крупной пыли (0,05–0,01 мм) занимают главенствующую роль, их количество варьирует в пределах 28,6–36,6%. Второе место занимают частицы средней пыли (0,01–0,005 мм), их количество составляет 19,1–23,9%. Частицы мелкого песка (0,1–0,05 мм) составляют от 8,7 до 23,6% (табл. 2).

Таблица 1

Механический состав орошаемых типичных сероземов
массива «Навбахор» Паркентского района

№ Разреза	Глубина, см	Количество частиц почвы в %, размер в мм								Механический состав
		Песок			Пыль			Ил	Физическая глина ($< 0,01$ мм)	
		$> 0,25$	0,25–0,1	0,1–0,05	0,05–0,01	0,01–0,005	0,005–0,001			
Массив «Навбахор». Орошаемые типичные сероземы										
28	0–27	1,8	0,9	11,4	46,9	13,5	15,9	9,5	39,0	Суглинок средний
	27–48	2,6	0,8	16,3	37,4	11,9	17,5	13,5	42,9	Суглинок средний
	48–69	2,0	1,0	15,9	35,8	15,1	17,5	12,7	45,3	Суглинок тяжелый
	69–101	2,1	0,8	15,2	35,8	11,9	16,7	17,5	46,1	Суглинок тяжелый
	101–147	1,7	1,0	14,6	35,0	15,9	15,9	15,9	47,7	Суглинок тяжелый
30	0–27	2,0	0,6	17,1	42,1	13,5	15,1	9,5	38,2	Суглинок средний
	27–48	2,2	1,1	18,0	41,3	14,3	14,3	8,7	37,4	Суглинок средний
	48–79	2,2	0,8	19,9	38,2	14,3	15,1	9,5	39,0	Суглинок средний
	79–125	1,5	0,9	17,3	37,4	13,5	17,5	11,9	42,9	Суглинок средний
	125–158	1,5	0,8	19,0	38,2	13,5	16,7	10,3	40,5	Суглинок средний
34	0–30	1,1	1,0	16,8	30,2	19,9	17,5	13,5	50,9	Суглинок тяжелый
	30–61	2,0	0,7	17,8	26,2	18,3	18,3	16,7	53,3	Суглинок тяжелый
	61–85	2,0	0,5	14,8	25,4	19,1	16,7	21,5	57,2	Суглинок тяжелый
	85–126	0,6	3,0	18,5	24,6	19,9	13,5	19,9	53,3	Суглинок тяжелый
	126–159	0,2	0,5	16,6	25,4	22,3	15,1	19,9	57,2	Суглинок тяжелый

Примечание: составлена авторами на основе полученных данных в ходе исследования.

Таблица 2

Механический состав орошаемых типичных сероземов
массива «Навбахор» Паркентского района

№ Разреза	Глубина, см	Количество частиц почвы в %, размер в мм								Механический состав
		Песок			Пыль			Ил	Физическая глина ($< 0,01$ мм)	
		$> 0,25$	$0,25-0,1$	$0,1-0,05$	$0,05-0,01$	$0,01-0,005$	$0,005-0,001$	$< 0,001$		
Массив «Навбахор». Орошаемые типичные сероземы										
6	0–26	2,0	0,5	23,6	28,6	19,1	17,5	8,7	45,3	Суглинок тяжелый
10	0–28	0,5	1,0	14,6	35,0	23,9	14,7	10,3	48,9	Суглинок тяжелый
14	0–25	2,0	1,5	15,4	35,8	23,1	9,5	12,7	45,3	Суглинок тяжелый
18	0–30	1,8	0,7	20,4	31,8	19,1	9,5	16,7	45,3	Суглинок тяжелый
24	0–27	1,4	1,1	14,0	36,6	19,1	12,7	15,1	46,9	Суглинок тяжелый

Примечание: составлена авторами на основе полученных данных в ходе исследования.

Агрохимические свойства почв. В орошаемых типичных сероземах ключевого участка «Навбахор» Паркентского района Ташкентской области по генетическим горизонтам почв изучены содержание гумуса, валовые и подвижные формы азота, фосфора и калия. В сохранении и повышении плодородия почв важную роль играет гумус. Содержание гумуса в почвах и его качество оказывает ощутимое влияние на физико-химические, физические, агрохимические, биологические и другие свойства почв. На содержание гумуса в почвах большое влияние оказывают их генезис и механический состав. Количество гумуса и общего азота в пахотном горизонте почв варьирует соответственно в пределах 1,206–1,386 и 0,069–0,075 % и постепенно снижается вниз к почвообразующей породе. В подпахотном горизонте почв содержание гумуса и валового азота составляет соответственно 1,044–1,260 и 0,058–0,064 %. Отмечается высокое соотношение углерода к азоту (C:N) по профилю почв, в нижележащих горизонтах эти показатели составляют 9,32–12,26 % (табл. 3).

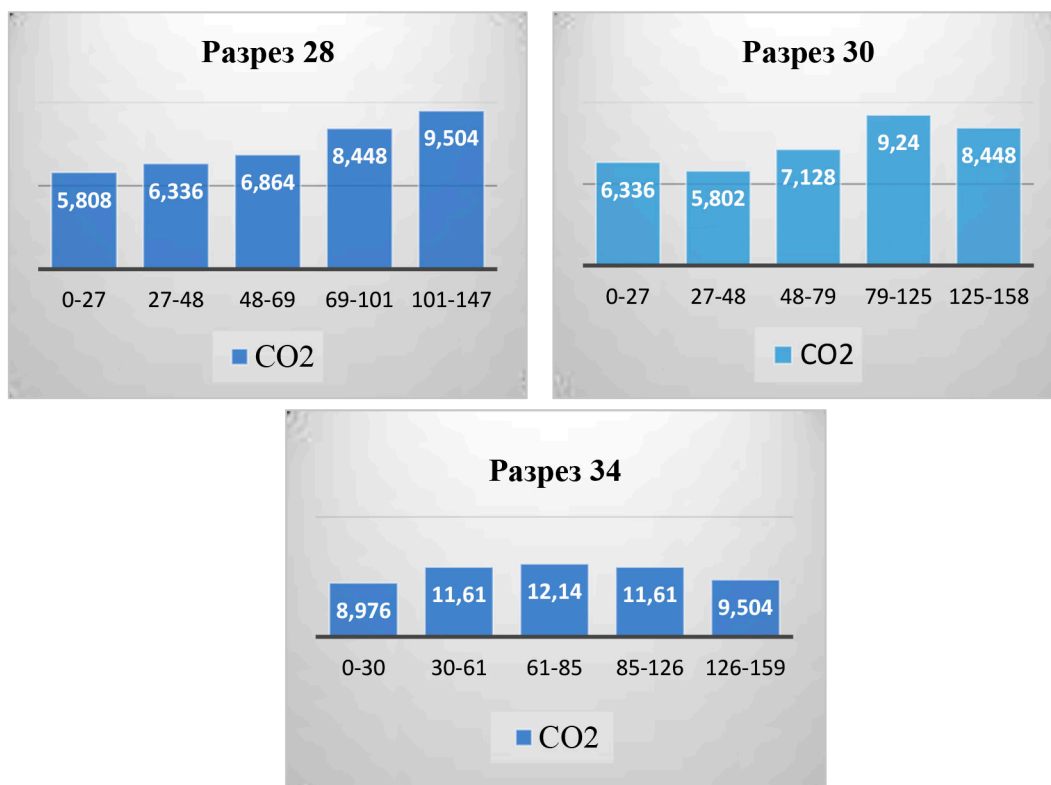
Содержание валового фосфора в пахотном горизонте изученных почв колеблется в пределах 0,33–0,35 %, в нижележащем, подпахотном горизонте количество его составляет 0,15–0,3 %. Содержание валового калия в генетических горизонтах почв различное, и в пахотном горизонте количество его среднее и составляет 1,260–1,364 %, в средней и нижней частях профиля не-

сколько меньше и колеблется в пределах 0,960–1,284 % (табл. 3).

Пахотные горизонты изученных почв низко (15–30 мг/кг) и средние (30–45 мг/кг) обеспечены подвижным фосфором. Нижележащие горизонты по сравнению с верхними горизонтами содержат фосфора в пределах 22,22–22,78 %. Отмечено достаточное количество подвижного фосфора в средней части профиля почв, и оно снижается постепенно в нижележащих горизонтах (табл. 3).

Растения очень требовательны к калию, и поэтому в составе почв должно быть достаточное для них количество этого элемента. В пахотном горизонте почв территории исследований содержание обменного калия составляет 244–480 мг/кг. Почвы в различной степени обеспечены обменным калием и относятся к группам низкой, средней и высокой обеспеченности этим элементом. Пахотные горизонты некоторых почв (разрезы 28–30) высоко обеспечены (400 мг/кг) обменным калием (табл. 3).

Установлено, что в нижних горизонтах орошаемых типичных сероземов и почвообразующих породах количество карбонатов увеличивается в пахотном горизонте почв разреза 30, и содержание его составляет 6,33 %, в нижележащем горизонте 125–158 см – 8,44 %, что непосредственно связано с механическим составом почв и их водно-физическими свойствами (табл. 3).



Количество карбонатов (CO₂) в почвах, %

Примечание: составлен авторами по результатам данного исследования

Таблица 3

Содержание гумуса и элементов питания в орошаемых типичных сероземах массива «Навбахор» Паркентского района

№ разреза	Глубина, см	Общее содержание, %					Подвижные, мг/кг		CO ₂ карбонаты, %
		Гумус	N	C:N	P ₂ O ₅	K ₂ O	P ₂ O ₅	K ₂ O	
Массив «Навбахор». Орошаемые типичные сероземы									
28	0–27	1,206	0,075	9,32	0,33	1,260	31,94	480	5,81
	27–48	1,080	0,064	9,78	0,33	1,284	26,67	396	6,33
	48–69	1,026	0,062	9,58	0,32	1,260	22,50	230	6,86
	69–101	1,206	0,070	9,98	0,31	1,260	21,94	216	8,44
	101–147	1,044	0,072	8,41	0,18	0,960	23,05	225	9,50
30	0–27	1,386	0,074	10,86	0,33	1,284	35,55	439	6,33
	27–48	1,260	0,062	11,78	0,32	1,260	22,78	280	5,80
	48–79	1,134	0,060	10,96	0,31	1,212	21,39	240	7,13
	79–125	0,810	0,050	9,39	0,28	1,126	23,05	228	9,24
	125–158	0,720	0,042	9,94	0,14	1,120	20,83	204	8,44
34	0–30	1,260	0,069	10,59	0,35	1,364	24,72	244	8,98
	30–61	1,044	0,058	10,44	0,33	1,268	22,22	127	11,61
	61–85	0,900	0,046	11,34	0,28	1,144	20,83	179	12,14
	85–126	0,846	0,040	12,26	0,25	1,084	20,00	176	11,61
	126–159	0,774	0,037	12,13	0,15	1,040	19,72	184	9,50

Примечание: составлена авторами на основе полученных данных в ходе исследования.

Таблица 4

Содержание гумуса и элементов питания в орошаемых типичных сероземах массива «Навбахор» Паркентского района

№ разреза	Глубина, см	Общее содержание, %					Подвижные, мг/кг		CO ₂ карбонатов, %
		Гумус	N	C:N	P ₂ O ₅	K ₂ O	P ₂ O ₅	K ₂ O	
Массив «Навбахор». Орошаемые типичные сероземы									
6	0–30	1,386	0,076	10,57	0,24	1,368	44,44	494	–
10	0–30	1,440	0,075	11,13	0,26	1,284	44,17	480	–
14	0–30	1,422	0,084	10,0	0,28	1,284	39,17	477	–
18	0–30	1,224	0,072	9,86	0,28	1,128	31,39	331	–
24	0–30	1,170	0,074	9,14	0,28	1,560	58,89	420	–

Примечание: составлена авторами на основе полученных данных в ходе исследования.

Это свидетельствует о том, что растворимые карбонаты (CO₂), поступающие в почвы с оросительными водами, распространены равномерно на земельных площадях и в большом количестве (рисунок).

Отмечено, что содержание гумуса в изученных орошаемых типичных сероземах массива «Навбахор» Паркентского района в пахотном горизонте колеблется от 1,224 до 1,440 %, количество валового азота соответственно содержанию гумуса высокое и в пахотном горизонте составляет 0,072–0,084 %. Установлено, что отношение углерода к азоту (C:N) в пахотном горизонте почв составляет 9,14–11,13. Количество валового фосфора составляет 0,24–0,28 %, валового калия 1,128–1,560 % (табл. 4).

В изученных почвах количество подвижного фосфора в пахотном горизонте составляет 31,39–58,89 мг/кг, средний горизонт (30–45 мг/кг) высоко обеспечен этим элементом (табл. 4). В пахотном горизонте почв количество обменного калия составляет 331–494 мг/кг, они высоко обеспечены этим элементом (300–400 мг/кг) (табл. 4).

Заклучение

Таким образом установлено, что орошаемые типичные сероземы массива «Навбахор» Паркентского района по механическому составу в основном тяжелосуглинистые и количество частиц физической глины составляет 37,4–57,2 %. Содержание гумуса среднее и высокое, количество валового азота также высокое и в пахотном горизонте составляет 0,72–0,084 %, валового фосфора 0,24–0,28 %, валового калия 1,128–1,560 %. Почвы низко- (15–30 мг/кг) и среднеобеспечены (30–45 мг/кг) подвижным фосфором, иногда (разр. 24) встречаются высокообеспеченные (45–60 мг/кг) этим элементом

горизонты. Почвы низко-, средне- и высокообеспечены обменным калием (101–200, 201–300, 301–400 мг/кг).

Намечены мероприятия по применению минеральных удобрений в целях сохранения и повышения плодородия этих почв, где целесообразно проводить исследования согласно агрохимическим картограммам обеспеченности почв подвижными формами питательных элементов.

Список литературы

1. Bobomurodov Sh., Abdurakhmonov N., Niyazmetov U., Baxodirov Z., Normatov Y., Abdurakhmonov Z. Mapping of soil properties using geographic information systems (on the example of Tashkent region) // E3S Web of Conferences. 2023. Vol. 386. P. 04006. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.researchgate.net/publication/370716340> (дата обращения: 03.09.2025). DOI: 10.1051/e3sconf/202338604006.
2. Указ Президента Республики Узбекистан № УФ-4947 от 7 февраля 2017 г. «О Стратегии действий по дальнейшему развитию Республики Узбекистан» // Lex.uz. [Электронный ресурс]. URL: <https://lex.uz/docs/3107036> (дата обращения: 03.09.2025).
3. Kodirova D., Safarova N. Chemical and agrochemical properties of typical rainfed sierozem soils of Uzbekistan // BIO Web of Conferences. 2023. Vol. 65. P. 04006. [Электронный ресурс]. URL: https://www.bio-conferences.org/articles/bioconf/abs/2023/10/bioconf_ebwff2023_04006/bioconf_ebwff2023_04006.html (дата обращения: 10.09.2025). DOI: 10.1051/bioconf/20236504006.
4. Sodikova G., va boshq. GIS assessment of soil erosion in Uzbekistan's rainfed lands // BIO Web of Conferences. 2025. Vol. 173. P. 03024. [Электронный ресурс]. URL: https://www.bio-conferences.org/articles/bioconf/pdf/2025/24/bioconf_afe2024_03024.pdf (дата обращения: 11.09.2025).
5. Абдурахмонов Н.Ю. Научные основы оценки плодородия орошаемых и богарных почв: автореф. дис. ... докт. биол. наук. Ташкент, 2019. 69 с. [Электронный ресурс]. URL: https://botany.uz/wp-content/uploads/2019/05/Abdurakhmonov-N.Yu_avtoref.pdf?utm_source (дата обращения: 10.09.2025).
6. Ниязметов У.Х. Свойства и характеристики почв сельскохозяйственных земель Паркентского района Ташкентской области // Журнал UZZAMIN. 2022. № 1. С. 133–136. URL: <https://uzzamin.uz/uz/magazines/1-2022/toshkent-viloyati-parkent-tumani-qishloq-xo-jaligi-yerlari-tuproqlarining-xossaxusisiatlari/> (дата обращения: 03.09.2025).

7. Akhatov A., Gafurov B., Jakhonov A., Khalimbe-tov A. Distribution of the forms of reserves of humus in typical serozems formed in geomorphological areas Tash-kent-Keles // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2020. Vol. 869. Is. 4. Article 042018. DOI: 10.1088/1757-899X/869/4/042018.
8. Бурханова Д., Урманова М., Содикова Г. Морфологи-ческое строение и свойства типичных орошаемых сероземов: на примере Ташкентской области // E3S Web of Conferences. 2024. Т. 563. С. 1–6. DOI: 10.1051/e3sconf/202456303030.
9. Normatov Y., Baxodirov Z., Tursunov S. Mapping typical irrigated serozem soils based on slope level indicators using GIS technologies // UZBEKISTAN – 2030: Prospects for Innovation, Science and Education. 2025. Vol. 1. Is. 6. P. 5–8. [Электронный ресурс]. URL: <https://konferensiyalar.com/index.php/ifti/article/view/97> (дата обращения: 22.09.2025).
10. Burkhanova D., Urmanova M., Kuchkarova N., Kari-mov M. Analysis of approaches to increase the fertility of ir-rigated typical gray and meadow soils in Uzbekistan // E3S Web of Conferences. 2024. С. 1–6. [Электронный ресурс]. URL: (дата обращения: 03.09.2025). DOI: 10.1051/e3s-conf/202456303097.
11. Mamatqulov I.S.H., Naxalbaev J.T., Muratkasimov A.S., Usmanov U.Z. Results of Agrochemical Analysis of Typical Serozem Soils of Rainfed Agricultural Areas // Multidisci-iplinary Journal of Science and Technology. 2025. Vol. 5. Is. 8. P. 189–193. URL: <https://mjstjournal.com/index.php/mjst/article/view/4796> (дата обращения: 23.09.2025).
12. Марипова М., Гулямова З. Природно-хозяйственные условия и почвы территории Ташкентской области // Ilm-Fan va Ziyo. 2024. С. 137–140. URL: <https://scientificacademy.org/index.php/ilmfanziyo/article/view/1068/988> (дата обращения: 22.09.2025).
13. Gulimov Q., Bahodirov Z., Ahmedov A. Main Prop-erties of Rainfed Typical Serozem Soils Distributed in Parkent District, Tashkent Region // American Journal of Biology and Natural Sciences. 2025. Vol. 2. Is. 5. URL: <https://biojournals.us/index.php/AJBNS/article/view/1045> (дата обращения: 02.09.2025). DOI: 10.51699/ajbns.v2i5.1045.
14. Кучкарова Н.П. Бонитировка орошаемых типичных сероземов Ташкентской области по их плодородию // Sci-ence and Innovation. 2023. С. 451–456. URL: <https://journals.indexcopernicus.com/search/article?articleId=3841999> (дата обращения: 02.09.2025).
15. Burxanova D., Urmanova M., Karimov M. Perceived methods for increasing the productivity of irrigated typical gray and grazing soils of Uzbekistan // ResearchGate. 2021. [Электронный ресурс]. URL: https://www.researchgate.net/publication/351737322_Perceived_methods_for_increasing_the_productivity_of_irrigated_typical_gray_and_grazing_soils_of_Uzbekistan_in_non-traditional_irrigation (дата обращения: 22.09.2025).
16. Баиров А.Ж., Нуриддинова Х.Т., Жураев Ш.А. Со-временное состояние коричневых почв западных отрогов Чаткальского хребта // Вестник Кыргызского национального аграрного университета им. К.И. Скрябина. 2017. № 2 (42). С. 131–135. URL: https://knau-bulletin.com/web/uploads/journals_pdf/%D0%92%D0%B5%D1%81%D1%82%D0%BD%D0%B8%D0%BA%202%202017.pdf (дата обращения: 24.09.2025).
17. Кузиев Р.К., Сектименко В.Е. Почвы Узбекистана. Ташкент: EXTREMUM PRESS, 2009. 352 с. ISBN 978-9943-369-39-9.
18. Национальная энциклопедия Узбекистана. Ташкент: Государственное научное издательство, 2013. С. 84–86. URL: https://n.ziyouz.com/books/uzbekiston_milliy_ensiklopediyasi/O'zbekiston%20Milliy%20Ensiklopediyasi%20-%20P%20harfi.pdf (дата обращения: 24.09.2025).
19. Кузиев Р., Абдурахмонов Н.Ю., Исмонов А.Ж. и др. Инструкция по проведению почвенных обследований и со-ставлению почвенных карт для ведения государственного земельного кадастра. Ташкент, 2013. 52 с. [Электронный ре-сурс]. URL: https://lex.uz/ru/docs/598076?ONDATE=11.11.2013&utm_source=chatgpt.com (дата обращения: 23.09.2025).
20. Аринушкина Е.В. Руководство по химическому анализу почв. М.: Изд-во МГУ, 1970. 491 с. [Электронный ресурс]. URL: <https://scinet.ru/disk/file/13167> (дата обра-щения: 24.09.2025).
21. Руководство к проведению химических и агрофи-зических анализов почв при мониторинге земель / Под. ред. А.Ж. Баирова, М.М. Ташкузиева, и др. Ташкент: ГосНИИПА, 2004. 260 с.
22. Методические указания по проведению почвен-но-агрохимических исследований на орошаемых землях, составлению агрохимических картограмм и разработке на-учных требований к минеральным удобрениям. Ташкент, 2019. 36 с. [Электронный ресурс]. URL: <https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4293735/4293735732.pdf> (дата обращения: 10.09.2025).

Конфликт интересов: Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest: The authors declare that there is no conflict of interest.

УДК 595.132:615.284

ИЗУЧЕНИЕ ДЕЙСТВИЯ ИНТАКТНЫХ БАКТЕРИЙ И ИХ ВТОРИЧНЫХ МЕТАБОЛИТОВ НА РАЗНЫЕ СТАДИИ ЖИЗНЕННОГО ЦИКЛА ПОЧВЕННОЙ НЕМАТОДЫ *CAENORHABDITIS ELEGANS*

¹Калинникова Т.Б. ORCID ID 0000-0001-8849-3425,

¹Егорова А.В. ORCID ID 0000-0003-4406-0075,

¹Гатиятуллина А.Ф. ORCID ID 0000-0002-9907-3546,

²Фролов М.Д. ORCID ID 0000-0002-6751-436X,

²Валидов Ш.З. ORCID ID 0000-0002-9441-409X

¹Институт проблем экологии и недропользования государственного бюджетного
научного учреждения «Академия наук Республики Татарстан», Казань,
Российская Федерация, e-mail: tbkalinnikova@gmail.com;

²Лаборатория молекулярно-генетических и микробиологических методов
Федерального исследовательского центра «Казанский научный центр»
Российской академии наук, Казань, Российская Федерация

Фитопатогенные нематоды существенно снижают продуктивность растениеводства. Актуальной задачей является разработка методов контроля численности нематод без использования опасных для человека пестицидов. Целью настоящей работы стало изучение действия бактериальных культур и их супернатантов на разные стадии жизненного цикла почвенной нематоды *Caenorhabditis elegans*. Бактериальные изоляты были выделены из ризосферы озимой пшеницы. Для идентификации образцов использовался метод молекулярно-генетического анализа по последовательности гена 16S рРНК. Авторами исследовано действие супернатантов и интактных бактерий *Bacillus velezensis* MGMM30, *Bacillus subtilis* MGMM36, *Streptomyces* sp. MGMM37 и *Bacillus thuringiensis* MGMM57 на развитие и выживаемость нематод. Эксперименты проводили с двумя линиями *C. elegans*: линией дикого типа N2 и мутантной линией DA1316, устойчивой к ивермектину. Токсичность супернатантов оценивали в экспериментах с молодыми половозрелыми нематодами, синхронизированными по возрасту. Влияние бактерий на разные жизненные стадии нематод изучали в экспериментах по культивированию стерильных яиц *C. elegans* в чашках Петри, засеянных исследуемыми бактериями. Выявлена высокая нематодцидная активность супернатантов бактерий *Bacillus velezensis* MGMM30 и *Bacillus subtilis* MGMM36 не только в отношении линии *C. elegans* дикого типа N2, но и в отношении мутантной линии DA1316, устойчивой к ивермектину. Бактерии *Bacillus velezensis* MGMM30 и *Bacillus subtilis* MGMM36 не оказывали негативного влияния на развитие и рост нематод. Штамм *Streptomyces* sp. MGMM37 вызывал гибель *C. elegans* на стадии личинок. Штамм *Bacillus thuringiensis* MGMM57 замедлял развитие нематод. Результаты работы показывают возможность использования лабораторной культуры *C. elegans* для скрининга бактерий на нематодцидную и нематостатическую активность. Химический анализ супернатантов и вторичных метаболитов бактерий, подавляющих развитие нематод, может стать основой для разработки средств борьбы с фитопатогенными нематодами.

Ключевые слова: *Caenorhabditis elegans*, фитопаразитические нематоды, нематоды, микроорганизмы, *Bacillus*, *Streptomyces*

THE INVESTIGATION OF INTACT BACTERIA AND THEIR METABOLITES ACTION ON DIFFERENT STAGES OF THE LIFE CYCLE OF SOIL NEMATODE *CAENORHABDITIS ELEGANS*

¹Kalinnikova T.B. ORCID ID 0000-0001-8849-3425,

¹Egorova A.V. ORCID ID 0000-0003-4406-0075,

¹Gatiyatullina A.F. ORCID ID 0000-0002-9907-3546,

²Frolov M.D. ORCID ID 0000-0002-6751-436X,

²Validov Sh.Z. ORCID ID 0000-0002-9441-409X

¹Research Institute for Problems of Ecology and Mineral Wealth Use of the State Institution
Tatarstan Academy of Sciences, Kazan, Russian Federation, e-mail: tbkalinnikova@gmail.com;

²Federal Research Center "Kazan Scientific Center of the Russian Academy of Sciences",
Kazan, Russian Federation

Phytopathogenic nematodes significantly reduce crop productivity. The looking for methods to control nematodes abundance without use of pesticides hazardous for humans is the urgent task. The aim of this work was to study intact bacteria and their supernatants effects on the different life cycle stages and survivability of soil nematode *Caenorhabditis elegans*. Bacterial isolates were obtained from winter wheat rhizosphere. The molecular genetic analysis of 16S rRNA gene sequence was used to identify bacterial specimens. The supernatants and intact bacteria *Bacillus velezensis* MGMM30, *Bacillus subtilis* MGMM36, *Streptomyces* sp. MGMM37, and *Bacillus thuringiensis* MGMM57 effects on the nematodes life cycle and survivability was studied. Two *C. elegans* strains were used in experiments: wild-type N2 strain and DA1316 strain resistant to ivermectin. Supernatants

toxicity was estimated in experiments with young adult age-synchronized nematodes. The effects of bacteria on different life cycle stages of nematodes were studied in experiments with *C. elegans* sterile eggs grown in Petri dishes seeded with bacteria being studied. High nematicidal activity of *Bacillus velezensis* MGMM30 and *Bacillus subtilis* MGMM36 supernatants was revealed not only for *C. elegans* wild-type N2 strain, but also for mutant strain DA1316 resistant to ivermectin. Bacteria *Bacillus velezensis* MGMM30 and *Bacillus subtilis* MGMM36 did not have any negative impact on nematodes growth and development. Bacteria *Streptomyces* sp. MGMM37 caused *C. elegans* death on larva stage. Bacteria *Bacillus thuringiensis* MGMM57 slowed down nematodes development. Results of this work show the possibility to use laboratory *C. elegans* strain for screening bacteria for nematicidal and nematostatic activities. Chemical analysis of supernatants and secondary metabolites of bacteria suppressed the nematodes development may serve the basis to search substances for phytonematodes control.

Keywords: *Caenorhabditis elegans*, phytoparasitic nematodes, nematicides, microorganisms, *Bacillus*, *Streptomyces*

Введение

Паразитирующие на растениях нематоды могут поражать как подземные (корни и корневища), так и надземные (листья, стебли, плоды) части растений. Следствием широкого распространения фитопатогенных нематод является снижение продуктивности растениеводства. Общие потери урожайности возделываемых культур при этом составляют 12–25 % [1]. Наибольший ущерб растениеводству наносят галловые нематоды, обитающие в почве и поражающие корни растений. Это прежде всего нематоды рода *Meloidogyne* (*M. incognita*, *M. javanica*, *M. arenaria* и др.), злаковые цистообразующие нематоды *Heterodera avenae* и *H. filipjevi*, картофельные нематоды *Globodera rostochiensis* и *G. pallida* и свекловичная нематода *Heterodera schachtii* [2].

Для контроля численности фитопаразитических нематод в настоящее время применяют профилактические меры (проведение карантинных мероприятий, использование устойчивых сортов, научно обоснованные схемы севооборота) [3] и химические средства борьбы [4]. Пестициды, применяемые для борьбы с корневыми нематодами, эффективны и удобны в применении. При этом не следует забывать об опасности пестицидов как для сельхозпроизводителей, так и для конечных потребителей продукции растениеводства. Применение пестицидов наносит ущерб окружающей среде, поскольку они уничтожают не только вредителей растений, но и других беспозвоночных.

Дозы пестицидов, применяемые для борьбы с корневыми нематодами, многократно превышают дозы, применяемые для борьбы с другими беспозвоночными вредителями, поскольку очаги паразитирования удалены от поверхности почвы, куда вносятся пестициды [5]. Долгое время основным средством контроля численности корневых нематод являлся препарат ТЕМИК® на основе карбаматного ингибитора ацетилхолинэстеразы алдикарба. Из-за высокой токсичности алдикарба для человека Всемирная организация здравоохранения запретила использование ТЕМИК® более чем в ста странах [6]. В настоящее время для борьбы с корневыми

нематодами используют фосфорорганический ингибитор ацетилхолинэстеразы фостиазат [7], карбаматный ингибитор ацетилхолинэстеразы оксамил и аверсектин, представляющий собой смесь четырех веществ, выделенных из *Streptomyces avermitilis* [8]. К сожалению, высокая токсичность оксамил и фостиазата не только для беспозвоночных, но и для позвоночных животных ограничивает их применение.

Одним из безопасных для человека и окружающей среды методов контроля численности вредителей растений может быть использование микроорганизмов и/или их метаболитов [9, 10].

В лаборатории молекулярно-генетических и микробиологических методов КазНЦ РАН разработаны методы отбора микроорганизмов для биологической защиты растений и принципы формирования консорциума микроорганизмов для оптимизации состояния ризосферы [11]. В этот консорциум входят микроорганизмы, обладающие широким спектром ферментативной активности, способные колонизировать корневую систему и подавлять рост фитопатогенных грибов [12, 13]. Предполагается, что формирование такого консорциума повысит плодородие почвы, урожайность, устойчивость растений к стрессорам и в конечном счете приведет к повышению качества продукции растениеводства. Включение в этот консорциум также и микроорганизмов с нематоцидной или нематостатической активностью позволит снизить негативное влияние галловых нематод на развитие растений и их продуктивность [14].

Удобным модельным организмом для отбора штаммов микроорганизмов, обладающих нематоцидной активностью, является свободноживущая почвенная нематода *Caenorhabditis elegans* [15]. Эту нематоду удобно выращивать в лаборатории в чашках Петри благодаря маленьким размерам тела (размер взрослой особи всего 1 мм), высокой плодовитости и скорости развития. Проведение экспериментов с *C. elegans* не требует специальных средств защиты для исследователя, поскольку эта нематода неспособна размножаться при температуре тела человека [16]. *C. elegans* успешно ис-

пользуется для изучения действия интактных микроорганизмов и супернатантов бактерий на организмы нематод [17].

Целью настоящей работы стало изучение действия бактериальных культур и их супернатантов, содержащих вторичные метаболиты, на разные стадии жизненного цикла почвенной нематоды *Caenorhabditis elegans*.

Материалы и методы исследования

Выделение и идентификация микроорганизмов

Бактериальные изоляты выделены из ризосферы озимой пшеницы. Отбор образцов проводили на территории Республики Татарстан в окрестностях с. Большие Кабаны 55°62'13.62» с.ш. 49°32'68.39» в.д. на полевых площадях ТатНИИСХ ФИЦ КазНЦ РАН в период с июня по сентябрь 2022 г.

Образцы почвы, корни и надземные части растений собирали в стерильные пробирки. В лаборатории с образцов делали смывы фосфатно-солевым буфером в соотношении 1:9. После перемешивания смывов в течение одной минуты их высевали на неселективную среду King B (10 г/л пептона, 10 г/л глицерина, 18 г/л микробиологического агара, 12/5 мМ сульфата магния, 8,6 мМ фосфата калия двузамещенного) с добавлением 32 мкг/мл нистатина и инкубировали в течение суток при температуре 30 °С.

Для идентификации образцов использовался метод молекулярно-генетического анализа по последовательности гена 16S рРНК. Геномная ДНК из каждого изолята была выделена с использованием метода фенол-хлороформной экстракции [18]. ПЦР-амплификацию проводили в соответствии с методикой [19]. Амплифицированный фрагмент очищали от 1,2% гель-агарозы с помощью набора Cleanup Mini (Evrogen, Москва, Россия). Полученный фрагмент ДНК отправляли в компанию Evrogen для секвенирования. Полученную хроматограмму последовательности 16S рРНК подвергали сравнительному анализу в сервисе NCBI Blast для идентификации.

Определение ферментативных активностей проводили в соответствии с методикой, описанной в работе [11].

Приготовление бактериальной суспензии и получение супернатантов

Для получения бактериальной суспензии единичную колонию изолята асептически переносили в стерильную жидкую питательную среду King B и культивировали на шейкере-инкубаторе при 30 °С и 180 rpm в течение 14 ч. Измерение оптической плотности культур перед нанесением проводи-

ли на спектрофотометре Feyond-a400 (Allsheng, Китай) при длине волны $\lambda = 600$ нм. Для получения оптической плотности конечной культуры ($OP_{600} = 0,1$) суспензию клеток разводили стерильной питательной средой.

Супернатанты отделяли от основной массы бактерий центрифугированием бактериальной суспензии в течение 10 мин (4000 об/мин, 15 °С). Оставшиеся после центрифугирования клетки удаляли фильтрацией через нитроцеллюлозные фильтры с диаметром пор 0,22 мкм (Sartorius, Германия).

Линии *C. elegans* и их выращивание

Эксперименты проводили с двумя линиями *C. elegans* линией дикого типа N2 и мутантной линией DA1316 (*avr-14(ad1305) I; avr-15(vu227) glc-1(pk54) V*), устойчивой к ивермектину. Линии были получены из *Caenorhabditis* Genetics Center. Нематод выращивали по методике, описанной в работе T. Belov et al. [20].

Оценка токсичности супернатантов бактерий

Токсичность супернатантов оценивали при 22 °С в М9 буфере [20] в экспериментах с молодыми половозрелыми нематодами, синхронизированными по возрасту [21]. Нематод, отмытых от среды выращивания, бактерий и экзометаболитов, помещали в стеклянные центрифужные пробирки объемом 10 мл (50 особей в одну пробирку), куда добавляли М9 буфер и супернатанты бактерий (конечный объем 1 мл). Негативным контролем служил М9 буфер, а позитивным – ивермектин, антигельминтный препарат. Критерием нематоцидной активности супернатантов служила гибель нематод после 24-часовой инкубации с супернатантами. Состояние нематод оценивали визуально, для наблюдения использовали стереоскопический микроскоп SMZ-05. Каждый вариант эксперимента выполняли в четырех повторностях.

Оценка влияния культур бактерий на развитие и рост *C. elegans*

Для оценки влияния микроорганизмов на рост и развитие *C. elegans* культуру бактерий высевали на чашки Петри со средой выращивания нематод и культивировали 24 ч при 30 °С. Стерильные яйца нематод линии дикого типа N2, полученные по методу [21], переносили в чашки Петри, засеянные исследуемыми бактериями, и культивировали при 22 °С. Состояние культур нематод оценивали ежедневно в течение 7 дней визуально с использованием микроскопа Olympus CX43 (Китай).

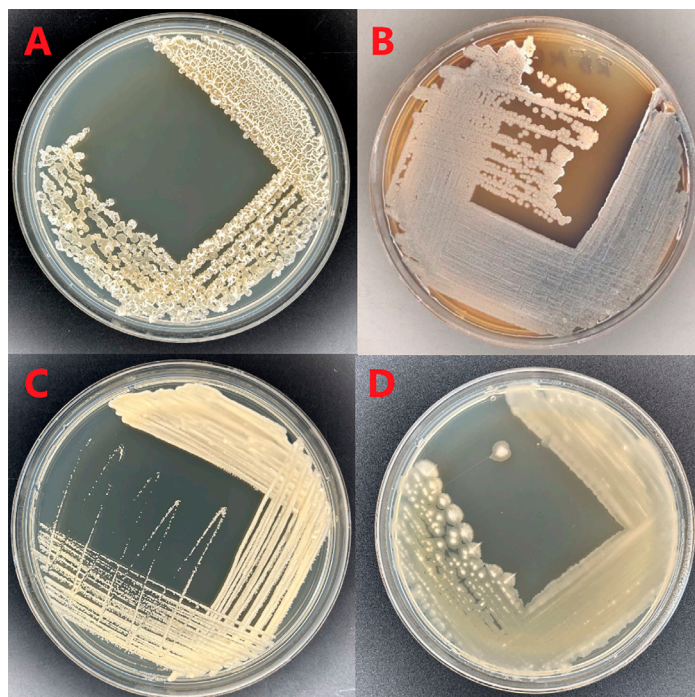


Рис. 1. Морфология микроорганизмов:
 А – MGMM30, В – MGMM37, С – MGMM57, D – MGMM36
 Примечание: на рисунке приведены оригинальные фотографии,
 сделанные авторами в ходе исследования

Результаты исследования и их обсуждение

Выделение и идентификация микроорганизмов

Для исследования были отобраны четыре штамма: MGMM30, MGMM37, MGMM57 и MGMM36. Морфология изолятов приведена на рис. 1.

Штамм MGMM30, согласно анализу гена 16S рРНК, принадлежит к виду *Bacillus velezensis* и имеет различные колонии, от круглых до неправильных, различной высоты, а также секретирует ряд экзоферментов: целлюлазу, липазу, протеазу, амилазу.

Штамм MGMM37 охарактеризован как *Streptomyces* sp. и представляет собой жесткие, кожистые круглые пигментирующие колонии, а также выделяет липазу, протеазу и амилазу.

Колонии штамма MGMM57 круглые, желтоватые, слизистой формы с гладкими краями. Штамм относится к виду *Bacillus thuringiensis*.

Штамм MGMM36 принадлежит к виду *Bacillus subtilis* и представляет собой желтоватые колонии с гладкой блестящей поверхностью. Анализ экзоферментов показал наличие целлюлаз, липаз, протеаз и амилаз.

Влияние супернатантов бактерий на выживаемость нематод

Результаты экспериментов по изучению токсического действия супернатантов бактерий на *C. elegans* показаны в таблице. Супернатанты бактерий *Bacillus velezensis* MGMM30 и *Bacillus subtilis* MGMM36 были токсичны для *C. elegans* линии дикого типа N2. Супернатант *Bacillus velezensis* MGMM30 в концентрации 1,25 и 2,5% вызывал гибель 85 и 94% нематод соответственно. Супернатант *Bacillus subtilis* MGMM36 вызывал гибель 52 и 81% *C. elegans* при концентрации соответственно 1,25 и 2,5%. Эти супернатанты были токсичными и для нематод устойчивой к ивермектину линии. В концентрации 1,25% супернатант *Bacillus velezensis* MGMM30 вызывал гибель 83% нематод линии DA1316, А супернатант *Bacillus subtilis* MGMM36 – 24% *C. elegans*, устойчивых к ивермектину. Увеличение концентрации супернатантов до 2,5% приводило к гибели более 90% нематод линии DA1316 (таблица). Инкубация *C. elegans* в среде, содержащей 0,6 нг/мл ивермектина, в течение 24 ч приводила к гибели 80% особей линии дикого типа N2 и всего лишь 9% нематод мутантной линии DA1316 (таблица).

Действие супернатантов бактерий и ивермектина
на линии *Caenorhabditis elegans*

	Доля нематод, погибших за 24 ч, %			
	Концентрация супернатанта, %			
	1,25	2,5	1,25	2,5
	Линия N2		Линия DA1316	
MGMM30	85±3	94±2	83±3	96±1
MGMM36	52±4	81±3	24±3	93±2
Ивермектин 0,6 нг/мл	80±3		9±2	

Примечание: составлена авторами на основе полученных данных в ходе исследования.

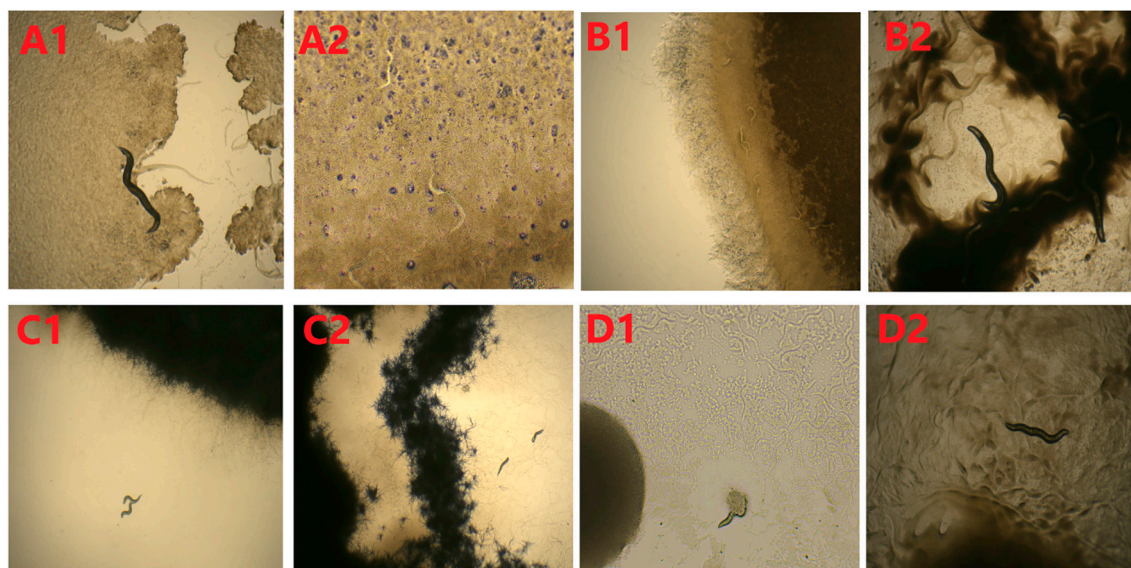


Рис. 2. Развитие нематод на 1-е и 7-е сутки при инкубации с бактериальными культурами на чашке Петри: A1 – 1-й день после инкубации яиц нематод со штаммом MGMM30, A2 – 7-й день после инкубации со штаммом MGMM30, B1 – 1-й день после инкубации со штаммом MGMM36, B2 – 7-й день после инкубации со штаммом MGMM36, C1 – 1-й день после инкубации со штаммом MGMM37, C2 – 7-й день после инкубации со штаммом MGMM37, D1 – 1-й день после инкубации со штаммом MGMM57, D2 – 7-й день после инкубации со штаммом MGMM57

Примечание: на рисунке приведены оригинальные фотографии, сделанные авторами в ходе исследования

Оценка влияния культур бактерий
на развитие и рост нематод

Наблюдение за состоянием нематод, выращиваемых на различных штаммах бактерий, позволило выявить бактерии, на которых нематоды развивались до половозрелого состояния и задержки развития не наблюдалось. Нематоды при этом активно двигались по поверхности колоний микроорганизмов, численность популяции была высокой. Результаты наблюдений приведены на рис. 2.

На *Bacillus velezensis* MGMM30 нематоды достигали половозрелого состояния, но их численность была невысокой (рис. 2, A1, A2).

Штамм *Bacillus subtilis* MGMM36 не оказывал какого-либо нематодостатического действия. На рис. 2, B1, видно движение нематод на бактериальной культуре, а на рис. 2, B2, видно развитие крупных нематод в большом количестве.

Особый интерес представляют микроорганизмы, на которых развитие нематод начиналось с задержкой, либо происходила гибель организма. Так, после 7 суток инкубации нематод на *Streptomyces sp.* MGMM37 (рис. 2C1, C2), погибали уже на стадии L1, поэтому на поверхности агара были видны лишь единичные особи, которые не оставляли потомства и погибали

к 4-му дню наблюдений. Колонии *Bacillus thuringiensis* MGMM57 замедляли развитие нематод из яиц (рис. 2D1) и к концу инкубации, на 7-й день, наблюдались только единичные представители.

Действие бактерий на организм *C. elegans* изучают, выращивая нематод на среде с тестируемыми микроорганизмами в течение двух-трех недель [17]. При этом нематод ежедневно переносят в новые чашки Петри со средой выращивания и бактериями, одновременно подсчитывают число живых и погибших особей. Погрешность результатов такого эксперимента высокая из-за того, что часть нематод может погружаться в толщу агара либо подвергаться лизису под действием экзометаболитов бактерий. Для сокращения продолжительности эксперимента и повышения точности результатов авторы предложили проводить эксперимент в жидкой среде оценивать нематоцидную активность не интактных бактерий, а не содержащие клетки супернатанты. Такой подход позволяет получить результат в течение нескольких суток или даже нескольких часов. В проведенных авторами экспериментах токсичность супернатантов *Bacillus velezensis* MGMM30 и *Bacillus subtilis* MGMM36 в концентрации 1,25 и 2,5 % для *C. elegans* проявлялась уже через 24 ч (таблица).

Борьба с фитопаразитическими нематодами, обитающими в почве, затрудняется наличием у них кутикулы, защищающей тело как от механических повреждений, так и от проникновения в организм веществ из окружающей среды. Основной пищей нематод являются бактерии, и это является предпосылкой использования микроорганизмов для борьбы с фитогельминтами [17]. Токсины, содержащиеся в бактериях, могут оказывать не только острое токсическое действие, приводящее к гибели нематод, но и изменять физиологическое состояние взрослых особей, нарушая их размножение. Поэтому авторы исследовали особенности роста культуры *C. elegans* при кормлении разными видами бактерий. Результаты, представленные на рис. 2, показывают перспективность такого подхода. В этой работе были выявлены штаммы микроорганизмов (*Streptomyces* sp. MGMM37 и *Bacillus thuringiensis* MGMM57), которые вызывали задержку эмбрионального развития *C. elegans* и гибель личинок без достижения ими половой зрелости.

В качестве позитивного контроля при изучении действия супернатантов бактерий в экспериментах использовали ивермектин. В качестве нематоцидного препарата ивермектин используется с 1980-х гг.

Ивермектин связывается с глутамат-зависимыми Cl⁻ каналами (GluCl^s) [22, 23], вызывая паралич локомоторных мышц и мышц глотки у *C. elegans*. У паразитических нематод *Trichostrongylus colubriformis*, *B. malayi* и *H. contortus* и некоторых других ивермектин нарушает пищевое поведение [22, 23]. Устойчивость к ивермектину у *C. elegans* контролируется тремя генами (*avr-15*, *avr-14* и *glc-1*), которые кодируют α-субъединицы GluCl^s [22, 23]. Высокая чувствительность *C. elegans* линии дикого типа N2 к супернатантам бактерий *Bacillus subtilis* MGMM36 и *Bacillus velezensis* MGMM30 в концентрации 1,25 и 2,5 %, выявленная авторами, позволяет сделать вывод о том, что эти супернатанты содержат вещества с нематоцидной активностью. Чувствительность к исследованным супернатантам нематод линии DA1316, устойчивой к ивермектину, свидетельствует о том, что они содержат вещества с нематоцидной активностью, механизм действия которых отличается от механизма действия ивермектина.

Выводы

1. В экспериментах с *Caenorhabditis elegans* линии дикого типа N2 и мутантной линии DA1316, устойчивой к ивермектину, выявлена высокая нематоцидная активность супернатантов бактерий *Bacillus velezensis* MGMM30 и *Bacillus subtilis* MGMM36 в концентрации 1,25 и 2,5 %.

2. Лабораторная культура нематоды *Caenorhabditis elegans* может быть использована для скрининга супернатантов разных штаммов бактерий на нематоцидную активность.

3. Лабораторная культура нематоды *Caenorhabditis elegans* может быть использована для выявления штаммов бактерий, подавляющих развитие нематод на ранних стадиях. В дальнейшем эти штаммы могут быть использованы для борьбы с фитопатогенными нематодами в открытом грунте, тепличных хозяйствах и при хранении продукции растениеводства.

4. Химический анализ супернатантов и вторичных метаболитов бактерий, подавляющих развитие нематод, может стать основой для разработки средств борьбы с фитопатогенными нематодами.

Список литературы

1. Migunova V.D., Sasanelli N. Bacteria as biocontrol tool against phytoparasitic nematodes // Plants. 2021. Vol. 10. Article 389. DOI: 10.3390/plants10020389.
2. Pires D., Vicente C.S.L., Menéndez E., Faria J.M.S., Rusinque L., Camacho M.J., Inácio M.L. The fight against plant-parasitic nematodes: current status of bacterial and fungal biocontrol agents // Pathogens. 2022. Vol. 11. Article 1178. DOI: 10.3390/pathogens11101178.

3. Zou Y., Liu Z., Chen Y., Wang Y., Feng S. Crop rotation and diversification in china: enhancing sustainable agriculture and resilience // *Agriculture*. 2024. Vol. 14. Article 1465. DOI: 10.3390/agriculture14091465.
4. Ahmad Md.F., Ahmad F.A., Alsayegh A.A., Zeyaulah Md., AlSharani A.M., Muzammil K., Saati A.A., Wahab S., Elbendary E.Y., Kambal N., Abdelrahman M.H., Hussain S. Pesticides impact on human health and the environment with their mechanisms of action and possible countermeasures // *Heliyon*. 2024. Vol. 10. E29128. DOI: 10.1016/j.heliyon.2024.e29128.
5. Sasanelli N., Konrat A., Migunova V., Toderas I., Iurcu-Straistaru E., Rusu S., Bivol A., Andoni C., Veronico P. Review on control methods against plant parasitic nematodes applied in southern member states (C zone) of the European Union // *Agriculture*. 2021. Vol. 11. Article 602. DOI: 10.3390/agriculture11070602.
6. Sánchez-Bayo F. Insecticides mode of action in relation to their toxicity to non-target organisms // *J. Environ. Analytic Toxicol.* 2011. Vol. S4. e002. DOI: 10.4172/2161-0525.s4-002.
7. Wang C., Yao X., Li X., Wang Q., Jiang N., Hu X., Lv H., Mu B., Wang J. Fosthiazate, a soil-applied nematicide, induces oxidative stress, neurotoxicity and transcriptome aberrations in earthworm (*Eisenia fetida*) // *J. Hazard. Mater.* 2024. Vol. 463. Article 132865. DOI: 10.1016/j.jhazmat.2023.132865.
8. Radwan W.H., Abdelhafez A.A.M., Mahgoub A.E., Zayed M.S. *Streptomyces avermitilis* MICNEMA2022: a new biorational strain for producing abamectin as an integrated nematode management agent // *BMC Microbiol.* 2024. Vol. 24. Article 329. DOI: 10.1186/s12866-024-03466-3.
9. Liang L.-M., Zou C.-G., Xu J., Zhang Ke-Q. Signal pathways involved in microbe-nematode interactions provide new insights into the biocontrol of plant-parasitic nematodes // *Philos. Trans. R. Soc. B*. 2019. Vol. 374. Article 20180317. DOI: 10.1098/rstb.2018.0317.
10. Soliman G.M., Ameen H.H., Abdel-Aziz S.M., El-Sayed G.M. *In vitro* evaluation of some isolated bacteria against the plant parasitic nematode *Meloidogyne incognita* // *BNRC*. 2019. Vol. 43. P. 2–7. DOI: 10.1186/s42269-019-0200-0.
11. Diabankana R.G.C., Shulga E.U., Validov S.Z., Afordoanyi D.M. Genetic characteristics and enzymatic activities of *Bacillus velezensis* KS04AU as a stable biocontrol agent against phytopathogens // *Int. J. Plant Biol.* 2022. Vol. 13. P. 201–222. DOI: 10.3390/ijpb13030018.
12. Diabankana R.G.C., Zhamalbekova A.A., Shakirova A.E., Vasiuk V.I., Filimonova M.N., Validov S.Z., Safin R.I., Afordoanyi D.M. Genomic insights of wheat root-associated *Lysinibacillus fusiformis* reveal its related functional traits for bioremediation of soil contaminated with petroleum products // *Microorganisms*. 2024. Vol. 12. Article 2377. DOI: 10.3390/microorganisms12112377.
13. Diabankana R.G.C., Frolov M., Islamov B., Shulga E., Filimonova M.N., Afordoanyi D.M., Validov S. Identification and aggressiveness of *Fusarium* species associated with onion bulb (*Allium cepa* L.) during storage // *J. Fungi*. 2024. Vol. 10. Article 161. DOI: 10.3390/jof10020161.
14. Bhat A.A., Shakeel A., Wagar S., Handoo Z.A., Khan A.A. Microbes vs. nematodes: insight into biocontrol through antagonistic organisms to control root-knot nematodes // *Plants*. 2023. Vol. 12. Article 451. DOI: 10.3390/plants12030451.
15. Meneely P.M., Dahlberg C.L., Rose J.K. Working with worms: *Caenorhabditis elegans* as a model organism // *Curr. Prot. Essent. Lab. Tech.* 2019. Vol. 19. e35. DOI: 10.1002/cpet.35.
16. Salinas G., Risi G. *Caenorhabditis elegans*: nature and nurture gift to nematode parasitologists // *Parasitology*. 2018. Vol. 145. P. 979–987. DOI: 10.1017/S0031182017002165.
17. Couillault C., Ewbank J.J. Diverse bacteria are pathogens of *Caenorhabditis elegans* // *Infect. Immun.* 2002. Vol. 70. P. 4705–4707. DOI: 10.1128/IAI.70.8.4705-4707.2002.
18. Sambrook J., Russell D.W. *Molecular cloning: A laboratory manual*. 3rd ed. New York: Cold Spring Harbor Laboratory Press, 2001. 336 p. ISBN 978-087969577-4.
19. Weisburg W.G., Barns S.M., Pelletier D.A., Lane D.J. 16S ribosomal DNA amplification for phylogenetic study // *J. Bacteriol.* 1991. Vol. 173. P. 697–703. DOI: 10.1128/jb.173.2.697-703.1991.
20. Belov T., Terenzhev D., Bushmeleva K.N., Davydova L., Burkin K., Fitsev I., Gatiyatullina A., Egorova A., Nikitin E. Comparative analysis of chemical profile and biological activity of *Juniperus communis* L. berry extracts // *Plants*. 2023. Vol. 12. Article 3401. DOI: 10.3390/plants12193401.
21. Porta-de-la-Riva M., Fontrodona L., Villanueva A., Cerón J. Basic *Caenorhabditis elegans* methods: synchronization and observation // *J. Viz. Exp.* 2012. Vol. 64. e4019. DOI: 10.3791/4019.
22. Hahnel S.R., Dilks C.M., Heisler I., Andersen E.C., Kulke D. *Caenorhabditis elegans* in anthelmintic research – Old model, new perspectives // *Int. J. Parasitol. Drug.* 2020. Vol. 14. P. 237–248. DOI: 10.1016/j.ijpddr.2020.09.005.
23. Dent J.A., Smith M.M., Vassilatis D.K., Avery L. The genetics of ivermectin resistance in *Caenorhabditis elegans* // *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*. 2000. Vol. 97. P. 2674–2679. DOI: 10.1073/pnas.97.6.2674.

Конфликт интересов: Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest: The authors declare that there is no conflict of interest.

Финансирование: Работа выполнена в рамках Государственного задания ФИЦ КазНЦ РАН № 124050300050-4 и Государственного задания Академии наук Республики Татарстан.

Financing: The work was performed within the framework of the State Assignment of the FIT KazNC RAS No. 124050300050-4 and the State Assignment of the Academy of Sciences of the Republic of Tatarstan.

МЕТОДЫ СНИЖЕНИЯ УЧАСТИЯ В БИОЗАЩИТЕ *SPERMOPHILUS FULVUS*, ВСТРЕЧАЮЩЕГОСЯ В ЮЖНЫХ РАЙОНАХ УЗБЕКИСТАНА

Турсунов О.Т.

Национальный университет Узбекистана имени Мирзо Улугбека,
Ташкент, Узбекистан, e-mail: azizovkhamid@gmail.com

Данная статья посвящена изучению применения Zn3p2 в снижении участия в биозащите *Spermophilus fulvus*, встречающегося в южных районах Узбекистана. Текущие исследования показывают, что современные методы подсчета в этой области недостаточно развиты и требуют новых подходов, основанных на экологических исследованиях. Целью исследования являлся систематический анализ нор, колоний и динамики популяции вида *Spermophilus fulvus*, обитающего в южных регионах Узбекистана, проведенный в течение 2022 г. Полученные результаты позволили определить, что использование этого Zn3p2 снижает роль *Spermophilus fulvus* в биозащите, способах адаптации вида к Zn3p2 и его повторного появления на обработанных территориях. Кроме того, эти исследования подчеркивают важность сохранения биоразнообразия *Spermophilus fulvus* и обеспечения стабильности экосистем. Было обработано 200 нор, обнаруженных в экспериментальной зоне. Исследование на территории эксперимента проводилось в три основных периода, один период с 26 марта по 10 апреля. Исходя из приведенных данных, эффективность Zn3p2 составила 90%. В результате этих исследований были получены данные о расположении наклонных и вертикальных нор, пробуждении от зимней спячки и увеличении количества молодых особей в колониях *Spermophilus fulvus*. После обработки вертикальных и наклонных нор Zn3p2 было изучено состояние нор и произошедшие в них изменения. В результате описаны современное экологическое состояние вида, его участие в различных биоповреждениях, а также изменения, наблюдаемые в популяции вида вследствие применения Zn3p2 против *Spermophilus fulvus*, и показатели эффективности данного Zn3p2. Определение эффективных методов снижения участия вида в биоповреждении путем обработки вертикальных и наклонных нор *Spermophilus fulvus*, встречающихся в южных регионах Узбекистана, Zn3p2.

Ключевые слова: *Spermophilus fulvus*, грызун, этология вида, синантроп, ландшафт, популяция, адаптации

Благодарности: Автор выражает искреннюю благодарность научному руководителю, коллегам и специалистам, оказавшим помощь в проведении исследования.

METHODS FOR REDUCING THE INVOLVEMENT OF *SPERMOPHILUS FULVUS* IN BIOPROTECTION IN THE SOUTHERN REGIONS OF UZBEKISTAN

Tursunov O.T.

National University of Uzbekistan named after Mirzo Ulugbek,
Tashkent, Uzbekistan, e-mail: azizovkhamid@gmail.com

This article is devoted to the study of the use of the Zn3p2 preparation in reducing the participation of *Spermophilus fulvus*, found in the southern regions of Uzbekistan. The purpose of the study was to systematically analyze the nests, colonies, and population dynamics of *Spermophilus fulvus* species in the southern regions of Uzbekistan in 2022. The objective of this study, conducted in 2022, was to perform a systematic analysis of the burrow structures, colony organization, and population dynamics of *Spermophilus fulvus* inhabiting the southern regions of Uzbekistan. It was calculated that the use of this preparation reduces the role of *Spermophilus fulvus* in bioprotection, methods of adaptation of the species to the preparation, and its reappearance in treated areas. Furthermore, these studies emphasize the importance of preserving the biodiversity of *Spermophilus fulvus* and ensuring ecosystem stability. As a result of these studies, data were obtained on the location of inclined and vertical nests, awakening from hibernation, and increasing the number of young individuals in *Spermophilus fulvus* colonies. 200 nests found in the experimental zone were processed. The nests in the experimental area were divided into 3 main periods. In it: 1 period from March 26 to April 10. Based on the data presented, the effectiveness of the Zn3p2 preparation was 90%. After treating vertical and inclined burrows with the Zn3p2 preparation, the condition of the burrows and the changes that occurred in them were studied. As a result, the current ecological state of the species, its participation in various bioprotections, as well as the changes observed in the species population due to the use of the Zn3p2 preparation against *Spermophilus fulvus*, and the effectiveness of this preparation have been described. Definition of effective methods to reduce the species' involvement in biotic damage through the treatment of vertical and slanted burrows of *Spermophilus fulvus*, found in the southern regions of Uzbekistan, with the cyanplav preparation. The working hypothesis, which determines that the Zn3p2 preparation is used for rodent control.

Keywords: *Spermophilus fulvus*, rodent, ethology of the species, synanthropus, landscape, population, adaptations

Acknowledgements: The author expresses his sincere gratitude to the scientific supervisor, colleagues and specialists who provided assistance in conducting the research.

Введение

На сегодняшний день широко применяются несколько методов борьбы с представителями рода *Rodentia*. Также для южных районов Узбекистана внедрен в практику ряд методов борьбы с сусликами, считаю-

щимися одним из доминантных видов. Разработаны новые методы борьбы с грызунами, являющимися переносчиками различных инфекционных заболеваний и поражающими сельскохозяйственные культуры в Кашкадарьинской и Сурхандарьинской

областях. В период с 2010 по 2020 г. десятки миллионов гектаров земли были очищены от сусликов с помощью Zn3p2 [1, с. 22–25; 2; 3, с. 3–13]. Методы Варшавской по борьбе с обыкновенными слепушонками оказались одними из самых эффективных [4, с. 612; 5; 6]. Естественные методы борьбы, разработанные Лукьянченко, были наиболее эффективными в районах, где распространены грызуны [7, с. 85–93; 8]. В вышеуказанных методах борьбы в норы на опытных участках вносили 1,5; 2 и 3 г Zn3p2. Эти эксперименты проводились на отобранных территориях, и результаты были получены путем подсчета вымерших грызунов. Согласно исследованиям, проведенным Бочарниковым, эффективность Zn3p2 была хорошей при применении в дозах 3 и 6 г [9, с. 105–112; 10; 11]. Работы начались задолго до того, как суслики проснулись от зимней спячки. Обработка нор Zn3p2 также проводилась в этот период [12; 13]. Относительная плотность сусликов на этих участках определялась за счет нор, которые они оставляли перед зимней спячкой. Природные условия южных районов Узбекистана, включая особенности климата и почвы, экологическое поведение флоры и фауны, также оказывают непосредственное влияние на грызунов [14; 15; 16, с. 5].

Климат южных районов Узбекистана характеризуется очень небольшим количеством осадков, особенно зимой, что означает ограниченность водных ресурсов для растений и других организмов. Такие климатические условия заставляют животных и растения проявлять различные приспособления к изменениям, включая экологические подходы и выживание. Кроме того, почвы южных районов Узбекистана, включая глинистые, некоторые соленые и песчаные почвы, по своей водоудерживающей способности и структуре определяют наличие и разнообразие экологического поведения популяций растений и животных. В то же время слабая экспрессия контрастов в растительных ассоциациях в этой области, в свою очередь, исключает миграции на большие расстояния для питания. Поскольку источники пищи растений и животных ограничены, их миграционные процессы происходят только на короткие расстояния и в менее изменчивых направлениях [17]. В целом климат, почвы и водные ресурсы южных районов Узбекистана формируют специфическое экологическое поведение растений и животных. Эти условия требуют определенных экологических механизмов, гибкости и эффективного использования ресурсов для поддержания баланса.

Цель исследования – систематический анализ нор, колоний и динамики популяции вида *Spermophilus fulvus*, обитающего в южных регионах Узбекистана, проведенный в течение 2022 г.

Материалы и методы исследования

В 2022 г. было обработано 200 нор, обнаруженных на территории эксперимента. Эти процессы были осуществлены в соответствующее время, учитывая различные экологические циклы и биологическое состояние животных. Работа с норами на территории эксперимента проводилась в три основных периода. Первый период – с 26 марта по 10 апреля. Этот период совпал с окончанием пробуждения животных от зимней спячки, поэтому в этот период были обработаны норы. Второй период – с 11 апреля по 1 мая. Это время беременности, родов и размножения молодых особей сусликов, поэтому самки животных и их детеныши пострадали в этот период. Третий период – со 2 по 25 мая. В этот период молодые суслики начинают жить самостоятельно – был нанесен ущерб в разные периоды активности взрослых и молодых животных. Расположение пораженных нор и время посева учитывают отдельно, а также норму расхода Zn3p2. Норы подвергались нескольким простым осмотрам, а также контрольным измерениям через 2–5 дней после выкапывания нор. Всего в 2022 г. было раскопано 146 из 200 обработанных нор, а также изучено экологическое состояние и ущерб нор. Кроме того, после гибели кормящих самок наблюдали за норами, вырытыми для размножения, с целью определения судьбы молодых сусликов. С этой целью в период лактации отлавливали и уничтожали кормящих самок, а норы заполняли землей и закрывали травяными пробками. Были проведены регулярные наблюдения за этими норами, которые впоследствии были выкопаны. Всего было вырыто 6 нор для размножения. В дополнение к вышеупомянутым экспериментам, в 2022 г. колонии и норы на экспериментальных площадках было трудно полностью обработать, поэтому в период с 25 марта по 17 мая были созданы специальные зоны и маршруты для точного подсчета нор грызунов. При этом были выбраны участки площадью один акр (100 м × 100 м) и линейные маршруты (5 м × 2000 м). Работы по определению сусликов в районах, где проводились посадки и маршруты, проводились только в недавно выкопанных норах. Это позволило получить полную информацию о пропущенных норах и изменившихся условиях окружающей среды.

Результаты исследования и их обсуждение

В ходе эксперимента наблюдались отравленные норы и были получены следующие результаты. Когда критерий Zn3p2 составлял 3 г на нору, смертность сусликов, без рытья нор и заполнения их землей или травяными пробками, составляла от 76 до 78,4%. Однако после рытья нор и заполнения их землей или травяными пробками уровень смертности увеличился с 76,1 до 84,9%. Когда критерий Zn3p2 составлял 6 г на нору, смертность сусликов варьировалась от 81,8 до 87,5% и от 86,9 до 91,4% соответственно. Когда количество Zn3p2 было увеличено с 3 до 6 г, смертность сусликов от застревания в норе, в случае заполнении нор травяными пробками, увеличилась в среднем с 6,5 до 10,8%. Опыт показывает, что и в первом, и во втором случаях летальность сусликов была практически одинаковой. В вертикальных норах гибель сусликов была несколько меньше, чем в наклонных. Например, в вертикальных норах смертность составляла от 73,3 до 85,8%, а в наклонных норах – от 85,4 до 94,9%. В ходе эксперимента было установлено, что из 146 выкопанных нор в 101 содержатся отравленные суслики. Заражение составило 69,2% от общего числа нор. Эти данные приведены в табл. 1 с указанием результатов эксперимента и их анализа.

Приведенные данные показывают, что в некоторых норах, обработанных Zn3p2, отравленных сусликов не обнаружено. При этом живых сусликов в выкопанных норах также не обнаружено. Было отмечено, что в норах, где не было обнаружено

мертвых сусликов, выходы из нор не были повреждены, но были обнаружены заново выкопанные выходы из нор.

После того, как погибли кормящие самки, было отмечено следующее: в норе № 1 самка была поймана и уничтожена 16 апреля; 5 мая нора была вскрыта, в норе было обнаружено 5 мертвых детенышей суслика, которые еще не были покрыты шерстью. В норе № 2 самка была уничтожена 18 апреля. При раскопках норы 15 мая было обнаружено 3 мертвых детеныша суслика, которые еще не были покрыты шерстью. В норе № 3 самка была уничтожена 22 апреля. 2 мая при раскопках норы были обнаружены 2 мертвых детеныша суслика, которые еще не были покрыты шерстью. В норе № 4 самка была уничтожена 25 апреля. А 29 апреля возле этой норы было обнаружено 6 молодых детенышей суслика.

Эти результаты предоставляют важную информацию о размножении сусликов, выживании и смертности, а также отражают влияние крупных экологических изменений в неблагоприятных условиях на процесс роста и выживания. В последующих работах были пойманы 6 молодых сусликов через различные ловушки, а также выкопаны их норы. При раскопках ничего обнаружено не было. 7 мая возле норы № 5 были обнаружены 2 суслика, которые еще не заметили присутствия человека. В результате норы были закопаны. При раскопках норы 10 мая было обнаружено, что в норе было 5 живых сусликов. Однако в норе № 6 самка суслика была уничтожена 27 апреля, а через 8 дней вокруг этой норы было обнаружено 5 молодых сусликов.

Таблица 1

Частота встречаемости сусликов в норах, обработанных Zn3p2

П/н	Состояние нор	Количество нор, обработанных Zn3p2	Состояние сусликов после повреждения		Процент повреждения (%)
			Выжившие	Раненые	
1	Естественно вырытые норы	14	–	–	0
2	Норы с выкопанной верхней частью	19	–	15	78,9
3	Нераскрытые норы	47	–	47	100
4	Открытые норы (естественно)	37	–	31	83,8
5	Недавно вырытые норы в радиусе до 2 м от обработанной территории	26	–	5	19,2
6	Норы с ловушками	3	–	3	100
	Общий	146	0	101	

Примечание: норы сусликов обработаны Zn3p2, а входы в норы заделаны; составлена автором на основе полученных данных в ходе исследования.

Таблица 2

Состояние и результаты повторного заражения нетронутых домов на исследуемой территории

Единицы учета	Общее количество нор	Норы, не обработанные Zn3p2		Норы, повторно обработанные Zn3p2	
		вертикальный	наклонный	вертикальный	наклонный
Маршруты	68	3,8	13,3	0,53	2,35
Площадки	121	2,3	12,8	0,85	4,6

Примечание: составлена автором на основе полученных данных в ходе исследования.

Наблюдения были продолжены, чтобы уточнить, с какого периода суслики могут расти и развиваться без матери, а также уточнить время половозрелости сусликов. Полученные данные свидетельствуют о том, что несмотря на смертность кормящих самок сусликов, часть их потомства продолжает развиваться.

Последующие опыты показывают, что в течение сезона на 1 га исследуемой территории норы были обработаны Zn3p2 в среднем 17,1 по маршрутному методу и 15,1 по стационарному методу на небольших площадках. При повторном обследовании маршрутным методом в этом районе были обнаружены незараженные норы, их количество составило 2,9, а по стационарному методу на небольших площадках – 5,5. Количество нор на территории, обследованной по стационарному методу на небольших площадках, составляло от 2 до 46, а методом маршрута – от 6 до 45.

После обработки исследуемой территории Zn3p2, количество вертикальных и наклонных нор, не обработанных Zn3p2, было пересчитано маршрутным методом и стационарным методом на небольших площадках. Эти результаты представлены в табл. 2.

Приведенные данные показывают, что при маршрутном и стационарном методе на небольших площадках на участке площадью 1 га выявлено от 1 до 5 вертикальных нор, оставшихся невредимыми, а наклонных нор – от 6 до 10.

Видно, что и наклонные норы остались неповрежденными. Однако в процентном отношении показатель сохранности вертикальных нор относительно выше, чем наклонных. После обработки Zn3p2 суслики в наклонных норах поражались больше, чем суслики в вертикальных норах. В вертикальных норах смертность сусликов от воздействия Zn3p2 была значительно ниже. Если в природе наклонных нор больше, чем вертикальных, то и обработанных наклонных нор будет больше, чем вертикальных. После обработки Zn3p2 размножение новых нор в этом районе наблюдалось в ос-

новном в период выхода молодых сусликов на поверхность и их распространения. Следует отметить, что количество зараженных нор напрямую связано с количеством незараженных нор. Потому что суслики прячутся в ближайшей норе, когда возникают опасные ситуации. В результате через определенное время на территории, обработанной Zn3p2, появляется новая нора. Повторное обследование помогает точно рассчитать оставшихся живых сусликов и новые норы. Во второй раз в процессе заражения нор Zn3p2 было задержано 79 оставшихся сусликов. Из 79 пойманных сусликов 29 были взрослыми самками, 26 взрослыми самцами и 24 молодыми самками и самцами. Проведенные работы показывают, что возраст и половой состав сусликов, выловленных в исследуемом районе, был различным, молодые суслики составили 30,3 % от общего количества сусликов. Таким образом, численность молодых сусликов превышала численность старых сусликов, а в соотношении полов преобладали самки. Показатель выживаемости сусликов в результате различных внешних воздействий соответствует периоду, когда молодые суслики заканчивают лактационный период и начинают самостоятельно питаться, в то время как у старых сусликов наблюдается более осторожное поведение (остаются в норе до устранения опасности). Обычно в конце мая и начале июня участки, где встречаются суслики, обрабатываются Zn3p2, после чего численность сусликов уменьшается. Это время соответствует периоду размножения в популяции вида и большому количеству молодых особей.

Заключение

Эффективность Zn3p2, применяемого в борьбе с сусликами в южных районах Узбекистана, у представителей рода, в частности у сусликов, показана неодинаково. Исходя из приведенных данных, эффективность Zn3p2 составила 90%. Для достижения этой эффективности важны такие факторы, как роение нор сусликов, их расположение, строение колоний. Обработкой Zn3p2 и за-

капыванием обработанных выходных отверстий нор определили масштабы работы, показатели гибели сусликов и относительную защитную реакцию на Zn3p2.

Для достижения высокой эффективности учитывали такие факторы, как географическое положение, климат, растительный покров района, где расположены нора. Для обеспечения эффективности Zn3p2 в борьбе с сусликами было учтено несколько ключевых факторов. Эти факторы включают в себя различные аспекты, и они оказывают большое влияние на успех эффективной борьбы.

1. Улучшить изучение биологических факторов, а именно фенологии и поведения сусликов. Это включает скорость и сроки выхода сусликов из зимней спячки, интенсивность и сроки размножения (процессы беременности и родов), питание.

2. Точный расчет химических факторов, а именно структуры Zn3p2 и количества цианистой кислоты в его составе. Эффективность Zn3p2 напрямую зависит от этого фактора, а количество цианистой кислоты и ее влияние играют важную роль в оптимизации поражения. Учет физических факторов, а именно температуры и влажности воздуха и почвы.

3. Движение воздуха и влияние этих условий на работу Zn3p2 также важны. Температура и влажность обеспечивают эффективную диффузию синильной кислоты, что ускоряет процесс обработки.

4. Эдафические факторы, структура почвы и ее состав имеют большое значение. В глинистых и песчаных почвах диффузионные свойства синильной кислоты различаются, что определяет эффективность Zn3p2. Таким образом, влияние каждого фактора и связи между ними важны в борьбе с сусликами. Когда они работают вместе, эффективность выше.

Эти работы оказывают практическую помощь в оценке эпидемиологической ситуации в районах, зараженных сусликами, и определении реальной эффективности применяемых методов борьбы.

Список литературы

- Брандлер О.В. Крапчатый суслик – от ненависти до любви // Охрана дикой природы. 2023. № 1 (41). С. 22–25. URL: <https://biodiversity.ru> (дата обращения: 05.10.2025).
- Жигарев И.В., Румянцев В.Ю. Современное состояние популяций крапчатого суслика (*Spermophilus suslicus*) в лесостепи европейской части России // Бюл. МОИП. Отд. биол. 2024. Т. 129. Вып. 6. С. 3–13. URL: https://moip-bio.msu.ru/wp-content/uploads/moip_2024_129_6.pdf (дата обращения: 02.10.2025).
- Дудников А.А., Чернышова О.В., Симаков М.Д., Титов С.В. История изучения, распространение и современная популяция сусликов Самарского края // Russian Journal of Ecosystem Ecology. 2022. № 7 (1). С. 1–11. DOI: 10.21685/2500-0578-2022-1-1.
- Нумеров А.Д., Венгеров П.Д., Соколов А.Ю., Климов А.С., Ушаков М.В., Масалькин А.И., Труфанова Е.И., Транквиловский Д.В., Квасов Д.А. Наземные позвоночные Воронежской области. Кадастр. Белгород: Изд-во Сангалова К.Ю., 2021. 612 с. EDN: XSZLLX. ISBN 978-5-6046090-4-0.
- Сапельников С.Ф., Сапельникова И.И. Ретроспективный анализ состояния популяций крапчатого суслика (*Spermophilus suslicus*) в Центральном Черноземье с сопредельными территориями и возможные пути сохранения вида // Полевой журнал биолога. 2021. № 2. Т. 3. С. 167–212. URL: <https://search.rsl.ru/ru/record/01011012403> (дата обращения: 09.10.2025).
- Blagojević M., Prokić B.B., Čupić-Miladinović D.A. Hepatica kod tekunice (*Citellus citellus*) u poređenju sa drugim eksperimentalnim životinjama // Veterinarski glasnik. 2016. Vol. 70. Is. 1–2. P. 31–39. DOI: 10.2298/VETGL1602031B.
- Lindner P., Gömöryová E., Gömöry D., Stašiov S., Kubovčík V. Development of physico-chemical and biological soil properties on the European ground squirrel mounds // Geoderma. 2019. Vol. 339. P. 85–93. DOI: 10.1016/j.geoderma.2018.12.043.
- Koshev Y., Kachamakova M., Arangelov S., Ragyov D. Translocations of European ground squirrel (*Spermophilus citellus*) along altitudinal gradient in Bulgaria – an overview // Nature Conservation. 2019. Vol. 35. P. 63–95. URL: <https://natureconservation.pensoft.net/article/30911/> (дата обращения: 04.10.2025).
- Nedyalkov N., Koshev Y. Species composition and conservation of small mammals (Mammalia: Erinaceomorpha, Soricomorpha, Lagomorpha, Rodentia) in Vrachanska Planina Mountains, Bulgaria // ZooNotes suppl. 2016. Vol. 3. P. 277–284. URL: <http://www.zoonotes.bio.uni-plovdiv.bg/> (дата обращения: 04.10.2025).
- Stefanov V., Stoyanov E., Bonchev L., Stanchev S. Restoration of the European ground squirrel in Kotlenska planina // Annuaire de l'Université de Sofia "St. Kliment Ohridski". Faculte de Biologie. 2016. Vol. 101. P. 166–170. URL: <https://ecologia-balkanica.com> (дата обращения: 04.10.2025).
- Lobbová D., Hapl E. Conservation of European ground squirrel (Mammalia: Rodentia) in Slovakia: Results of current reintroduction programme // Slovak Raptor Journal. 2014. Vol. 8. Is. 2. P. 105–112. DOI: 10.2478/srj-2014-0012.
- Bechev D., Georgiev D. Geographic features of Vrachanska Planina Mountains // ZooNotes, suppl. 2016. Vol. 3. P. 13–16. URL: <http://www.zoonotes.bio.uni-plovdiv.bg/> (дата обращения: 04.10.2025).
- Kenyeres Z., Bauer N., Nagy L., Szabó S. Enhancement of a declining European ground squirrel (*Spermophilus citellus*) population with habitat restoration // Journal for Nature Conservation. 2018. Vol. 45. P. 98–106. DOI: 10.1016/j.jnc.2018.08.006.
- Surkova E., Popov S., Tchabovsky A. Rodent burrow network dynamics under human-induced landscape transformation from desert to steppe in Kalmykian rangelands // Integr. Zool. 2019. Vol. 14. P. 410–420. DOI: 10.1111/1749-4877.12392.
- Flower C.E., Dalton J.E., Whelan C.J., Brown J.S., Gonzalez-Meler M.A. Patch use in the arctic ground squirrel: Effects of micro-topography and shrub encroachment in the Arctic Circle // Oecologia. 2019. Vol. 190. P. 243–254. DOI: 10.1007/s00442-019-04400-5.
- Tursunov O.T., Mamarakhimov O., Khaknazarova L., Andakulova N., Kamolova Sh. The Current Status of *Citellus fulvus* Licht. in the Southern Regions of Uzbekistan today's status (using the example of Guzar district) // IV International Conference on Improving Energy Efficiency, Environmental Safety and Sustainable Development in Agriculture (EESTE2024). BIO Web of Conferences 160, 02005. 2025. P. 5. DOI: 10.1051/bio-conf/202516002005.
- Андрейчев А.В., Жалилов А.Б., Кулахметов Р.М. Современное состояние популяций степных видов млекопитающих в Мордовии // Млекопитающие России: фаунистика и вопросы териогеографии (г. Ростов-на-Дону, 17–19 апреля 2019 г.). М., 2019. С. 11–14.

Конфликт интересов: Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest: The authors declare that there is no conflict of interest.

НАУЧНЫЙ ОБЗОР

УДК 577.124.22

**ПРИМЕНЕНИЕ ХИТИНОЛИТИЧЕСКИХ ФЕРМЕНТОВ
ДЛЯ МОДИФИКАЦИИ ХИТИНА И ХИТОЗАНА**

^{1,2}Рысакова К.С. ORCID ID 0000-0002-8111-0708,

¹Новиков В.Ю. ORCID ID 0000-0003-1733-5838

¹Полярный филиал Федерального государственного бюджетного научного учреждения
«Всероссийский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии»
(«Полярный научно-исследовательский институт морского рыбного хозяйства
и океанографии имени Н.М. Книповича»), Мурманск, Российская Федерация;

²Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования
«Мурманский арктический университет», Мурманск, Российская Федерация,
e-mail: rysakova@pinro.vniro.ru

Ферментативная биотрансформация хитина предназначена для получения олигомеров хитина и хитозана, низкомолекулярного хитозана, мономеров N-ацетилглюкозамина и D(+)-глюкозамина, широко применяемых в медицине, пищевой промышленности, сельском хозяйстве, косметологии. Ферментативная технология отличается экологической безопасностью и возможностью получать чистые продукты с заданными свойствами. Цель исследования – провести анализ научных сведений по использованию хитинолитических ферментов для модификации и получения олигомеров и мономеров хитина и хитозана. Объектом аналитического обзора является проблема переработки хитинсодержащего сырья методами биотехнологии. Авторами статьи проведен анализ количественных данных, оценена достоверность научной литературы, выделены ключевые работы и дана объективная оценка имеющимся результатам. В обзоре рассмотрены последние данные о различных ферментах, участвующих в превращении хитина в природе: хитиназах, хитозаназах, деацетилазах, глюкозаминидазах и т.д. Приведены данные об источниках этих ферментов, некоторых свойствах и их способности трансформировать природный хитин. Отмечается, что в последние годы для решения задачи ферментативной переработки хитина ведется поиск ферментов, способных разрушать кристаллическую структуру хитина, например, окислением хитина или применением ферментов с несколькими связывающими доменами. Отмечено, что в отличие от жестких химических способов переработки хитина ферментативные методы с участием активных белковых веществ требуют предварительной подготовки хитина для снижения его кристалличности и увеличения доступности ферментов. На основании анализа опубликованных результатов по ферментам ракообразных был сделан вывод о возможности использования собственных ферментов ракообразных для модификации хитина с получением низкомолекулярных олигосахаридов хитина и хитозана, а также мономера N-ацетилглюкозамина.

Ключевые слова: хитин, биотрансформация, ракообразные, хитиназы, хитозаназы, глюкозаминидазы, деацетилазы, олигомеры хитина, хитоолигомеры, n-ацетилглюкозамин, d(+)-глюкозамин, экологически чистая технология

**APPLICATION OF CHITINOLYTIC ENZYMES
FOR MODIFICATION OF CHITIN AND CHITOSAN**

^{1,2}Rysakova K.S. ORCID ID 0000-0002-8111-0708,

¹Novikov V.Yu. ORCID ID 0000-0003-1733-5838

¹Polar Branch of the Federal State Budgetary Scientific Institution
"All-Russian Research Institute of Fisheries and Oceanography" (N.M. Knipovich Polar Research
Institute of Marine Fisheries and Oceanography), Murmansk, Russian Federation;

²Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education
"Murmansk Arctic University", Murmansk, Russian Federation, e-mail: rysakova@pinro.vniro.ru

Enzymatic biotransformation of chitin is designed to produce chitin and chitosan oligomers, low molecular weight chitosan, N-acetylglucosamine and D(+)-glucosamine monomers, which are widely used in medicine, the food industry, agriculture, and cosmetology. The enzymatic technology is characterized by environmental safety and the ability to obtain pure products with specified properties. The purpose of the study: to analyze scientific information on the use of chitinolytic enzymes for the modification and production of oligomers and monomers of chitin and chitosan. The object of the analytical review is the problem of processing chitin-containing raw materials by biotechnology methods. The authors of the article analyzed quantitative data, assessed the reliability of scientific literature, identified key works and gave an objective assessment of the available results. The review examines the latest data on various enzymes involved in the conversion of chitin in nature: chitinases, chitosanases, deacetylases, glucosaminidases, etc. Data on the sources of these enzymes, some properties, and their ability to transform natural chitin are presented. It is noted that in recent years, in order to solve the problem of enzymatic chitin processing, a search has been underway for enzymes capable of destroying the crystal structure of chitin, for example, by chitin oxidation, or the use of enzymes with multiple binding domains. It is noted that, unlike harsh chemical methods of chitin processing, enzymatic methods involving active protein substances require preliminary preparation of chitin to reduce its crystallinity and increase the availability of enzymes. Based on the analysis of the published results on crustacean enzymes, it was concluded that it is possible to use crustacean own enzymes to modify chitin to produce low-molecular-weight oligosaccharides of chitin and chitosan, as well as the monomer N-acetylglucosamine.

Keywords: chitin, biotransformation, crustaceans, chitinases, chitosanases, deacetylases, glucosaminidases, chitin oligomers, chito oligomers, n-acetylglucosamine, d(+)-glucosamine, environmentally friendly technology

Введение

Хитин – природный полисахарид, широко распространенный в животном мире – микроорганизмах, насекомых, ракообразных, моллюсках, а также в грибах. По структуре хитин аналогичен целлюлозе за исключением наличия ацетамидной группы у второго углеродного атома. По аналогии с целлюлозой хитин играет в основном функцию защитного и поддерживающего каркаса организмов, являясь прочным и гибким соединением. Хитин является основным компонентом экзоскелета ракообразных, таких как крабы, креветки, и насекомых. Кроме того, он содержится в клеточных стенках грибов, радуле моллюсков и внутренних раковинах и клювах головоногих моллюсков, таких как осьминоги.

Синтез хитина в природе осуществляется в живых организмах с помощью ферментов хитинсинтаз. Объемы воспроизводства хитина в природе составляют по разным оценкам 10^{12} – 10^{14} т в год, что ставит этот полисахарид по распространенности на второе место после целлюлозы [1, 2].

Хитин является достаточно инертным веществом, которое не растворяется в воде и большинстве растворителей, имеет плотную упорядоченную структуру, высокую молекулярную массу. Хитин обладает низкой токсичностью и инертен в желудочно-кишечном тракте млекопитающих. Из-за своих физико-химических свойств хитин в натуральном состоянии используется очень ограниченно, например в виде хлопьев или мелкоизмельченного порошка [3]. Хитин широко используется для иммобилизации ферментов, целых клеток, например, в пищевой промышленности для осветления фруктовых соков, переработки молока [4]. Хитин также используется для очистки промышленных сточных вод [5], в качестве вспомогательного вещества и носителя лекарств в виде пленок, гелей или порошков для приложений, связанных с мукоадгезивностью, хитиновые пленки и волокна получили применение в медицине и фармацевтике в качестве материала для перевязки ран и контролируемого высвобождения лекарств [6].

Наиболее широкие возможности раскрываются при модификации хитина в различные производные: хитозан, водорастворимые низкомолекулярные хитин, хитозан и их олигомеры, мономеры N-ацетилглюкозамин и соли D(+)-глюкозамина.

Разработаны различные способы получения производных хитина, которые включают химические, физические и ферментативные.

Наиболее широко используются химические методы гидролиза гликозидной

и ацетамидной связей в молекуле хитина под действием кислот и щелочей, приводящие к деполимеризации молекулы хитина и деацетилированию его мономерных ацетилглюкозаминных звеньев.

Получение хитозана заключается в термохимическом деацетилировании хитина. Эта реакция протекает в концентрированных растворах кислот или щелочей. Так как гликозидные связи очень чувствительны к кислой среде и практически не расщепляются в щелочной, деацетилирование избирательно осуществляют в сильнощелочной среде при высокой температуре [7, 8].

Химическая дегградация хитина обычно проводится с использованием сильных кислот (HCl, HNO₃, HF, H₃PO₄) или слабых кислот (уксусная кислота, аскорбиновая кислота), но также применяется смесь органических кислот (гидроксиуксусная кислота, молочная кислота и гидратированная лимонная кислота) [9].

Непереработанный хитин не имеет высокой экономической ценности и в больших количествах доступен в качестве побочного продукта пищевой промышленности. Широкое применение находят различные производные хитина, обладающие растворимостью в водных системах и различной биологической активностью. Основные цели биотрансформации хитина – это получение хитозана и низкомолекулярного хитозана, олигосахаридов хитина и хитозана, мономеров – N-ацетилглюкозамина и солей D(+)-глюкозамина.

Хитозан, линейный полимер, состоящий из множества мономеров D-глюкозамина и N-ацетил-D-глюкозамина, может быть получен из хитина путем ферментативной или химической обработки до олигомеров с определенной длиной цепи и степенью ацетилирования. Хитозан имеет ряд коммерческих и биомедицинских применений. Он обладает доказанными антибактериальными, противогрибковыми и антиаллергенными свойствами и поэтому представляет интерес для сельскохозяйственной и фармацевтической промышленности. Его можно использовать в качестве средства для обработки семян и биопестицида, чтобы предотвратить грибковые инфекции семян и растений. В фармацевтической промышленности его можно использовать в бинтах и других кровоостанавливающих средствах в качестве антибактериального агента.

Получение хитозана заключается в термохимическом деацетилировании хитина. Эта реакция протекает в концентрированных растворах кислот или щелочей. Так как гликозидные связи очень чувствительны к кислой среде и практически не расще-

пляются в щелочной, деацетилирование избирательно осуществляют в сильно щелочной среде при высокой температуре [10, 11].

Цель исследования – провести анализ научных сведений по использованию хитинолитических ферментов для модификации и получения олигомеров и мономеров хитина и хитозана.

Материалы и методы исследования

В работе использовался метод систематического литературного обзора, а также метаанализ литературных данных. По теме исследования было проанализировано 36 научных источников с использованием баз Science Direct, Ingenta и E-library и др. При этом большинство научных работ на иностранном языке и выпущены в последние годы. Авторами статьи проведен анализ количественных данных, оценена достоверность научной литературы, выделены ключевые работы и дана объективная оценка имеющимся результатам.

Результаты исследования и их обсуждение

1. Классификации хитиназ

Хитиназы (Е.С. 3.2.2.14) относятся к гликозилгидролазам, которые гидролизуют хитин до его мономера N-ацетилглюкозамина путем разрыва гликозидных связей. Молекулярная масса хитиназ колеблется в пределах 20–90 кДа. Хитиназы подразделяются на две основные группы: эндохитиназы и экзохитиназы. Эндохитиназы произвольно расщепляют хитин на внутренних участках в случайных местах, образуя низкомолекулярные олигомеры, такие как хитотриоза, хитотриоза и диацетилхитобиоза, формируя димер диацетилхитобиозы и растворимые низкомолекулярные полимеры GlcNAc. Экзохитиназы были далее разделены на две подкатегории: хитобиозидазы, которые катализируют постепенное высвобождение диацетилхитобиозы, начиная с нередуцирующего конца хитиновой микрофибриллы, и 1-4-β-глюкозаминидазы, расщепляющие олигомерные продукты эндохитиназ и хитобиозидаз, тем самым образуя мономеры GlcNAc [12].

2. Основные источники хитинолитических ферментов

Хитинолитические ферменты, способные расщеплять молекулу хитина до низкомолекулярных соединений вплоть до мономеров в различных организмах, таких как членистоногие, моллюски, нематоды, грибы, растения и прокариоты [13, 14].

В зависимости от потребностей организмов они выполняют различные функции, такие как защита от патогенов и пи-

щевая цель. В частности, многочисленные исследования показали, что у ракообразных хитиназы играют важную роль в физиологических процессах, таких как линька, переваривание хитина в пище и иммунная защита [15, 16]. Некоторые данные говорят о том, что хитиназы могут участвовать в осморегуляции при изменении солёности воды или реагировать на это изменение [17].

В настоящее время основное внимание уделяется хитинолитическим, хитозано-литическим, деацетилирующим и другим хитинмодифицирующим ферментам, синтезируемым микробиологически. Описаны различные микроорганизмы (бактерии, грибы), производящие ферменты различной субстратной специфичности и различного действия на хитин/хитозан.

Микроорганизмы вырабатывают хитиназу для переваривания хитинового питательного вещества или для частичного гидролиза хитиновой клеточной стенки для пролиферации клеток.

Хитин является основным компонентом клеточной стенки грибов. Грибные хитиназы, как и бактериальные хитиназы, имеют множество функций, поскольку играют важную роль в питании, морфогенезе и процессах развития грибов.

У высших растений хитиназы используются для защиты от растительных патогенов и вредителей [18]. Хитиназы морских водорослей также играют роль в защите, аналогичную хитиназам растений [19]. У насекомых и ракообразных хитиназа действует путем деградации экзоскелетного хитина в кутикуле или панцире в процессе линьки.

Хитиназы являются важнейшими ферментами для ракообразных. Хитиназа играет важную роль в физиологических процессах у ракообразных, таких как линька, переваривание хитина в пище и иммунная защита [16].

Синтез и превращения хитиновых структур, осуществляемые несколькими хитинсинтезирующими и хитинолитическими ферментами, необходимы для роста и развития членистоногих. В предлиночный период эпидермис выделяет хитиназы, которые разрушают внутренние слои старого экзоскелета, одновременно синтезируя новый экзоскелет [20]. Пищеварительный тракт выделяет хитиназы, которые разрушают поступающий с пищей хитин и защищают от вирусных патогенов [21]. Хитиназа (1,4-β-поли-N-ацетилглюкозаминидаза, ЕС 3.2.1.14) – это эндогликозидаза, которая расщепляет внутренние связи в полимерах хитина, образуя олигомерные фрагменты и хитобиозу. Они, в свою очередь, гидролизуются до N-ацетил-β-глюкозамина N-ацетил-β-глюкозаминидазой и хитобиозидазой [20].

Хитинолитические ферменты играют важную роль в защите ракообразных от патогенных грибов [14]. Хитиназа также была обнаружена у млекопитающих и рыб. Таким образом, эти живые организмы производят и используют хитиназу для своих специфических и биологических целей. Также приводятся сведения о существовании различных хитинолитических ферментов в тканях и органах морских организмов – рыб, беспозвоночных. Обсуждается вопрос источника хитинолитических ферментов у рыб и беспозвоночных, а именно, являются ли эти ферменты эндогенными, или они синтезируются присутствующими во внутренних органах животных различными микроорганизмами. Более тщательные исследования подтвердили эндогенный путь образования этих ферментов [22].

Ракообразные представляют потенциально возможный источник хитинолитических, хитозанолитических и других ферментов, модифицирующих хитин, для промышленного производства. Это обусловлено большими объемами отходов переработки ракообразных.

3. Биотрансформация хитина

Основные цели биотрансформации хитина – это получение водорастворимых производных (хитозана, олигомеров, мономеров): хитозана, низкомолекулярных хитина и хитозана, олигосахаридов хитина (ацетилированных хитоолигосахаридов), хитоолигосахаридов (олигосахаридов хитозана), N-ацетилглюкозамина и солей D(+)-глюкозамина.

Основным сырьем для получения хитиновых продуктов в настоящее время считаются отходы промышленной переработки ракообразных, которые содержат большие количества хитина и требуют утилизации.

Переработка хитинсодержащих отходов осуществляется преимущественно химическими способами. Хитин извлекают щелочной депротеинизацией и кислотной деминерализацией. Хитин перерабатывают с получением хитозана щелочным деацелированием хитина и D(+)-глюкозамина гидролизом в концентрированных кислотах.

Последние годы все больше внимания уделяется возможности замены химических способов ферментативными или биотехнологическими.

Промышленное производство хитинолитических ферментов пока находится в стадии становления. Предпочтение отдается микробиологической технологии получения хитинолитических ферментов. Например, в подробных публикациях российских ученых [23, 24] оценивается возможность промышленного микробиологического производства хитинолитических ферментов.

Несмотря на значительный прогресс в области биотехнологической переработки хитина, достигнутый за последние десятилетия, химические подходы преобладают над ферментативными на промышленном уровне. Зеленые технологии сдерживаются чрезмерной стоимостью производства высококачественных ферментов и более низким выходом по сравнению с химическими способами переработки [25]. Высокая степень кристалличности нативного хитина в водном растворе представляет собой дополнительную проблему, требующую более устойчивой стратегии предварительной обработки в долгосрочной перспективе.

Ферментативные способы, представленные в различных научных публикациях, до настоящего времени не получили достаточного обобщения в отличие от химических способов. Хитиназы рассматриваются подробно, но редко делается акцент на практической стороне вопроса – как применять хитиназы для переработки хитина и какие продукты могут быть получены?

Производство хитинолитических ферментов из отходов ракообразных или рыб пока отсутствует, хотя идея потенциального выделения хитинолитических ферментов из внутренних органов этих гидробионтов и их практическое применение для получения ХОС присутствует в публикациях некоторых ученых [26, 27].

Благодаря интересным данным о биологической активности олигомеров хитина и хитозана, хитинолитические ферменты привлекли к себе большое внимание, а хитиназа рыб и ракообразных может быть использована для производства целого ряда хитиновых продуктов для здоровья. Кроме того, из-за несовместимых физико-химических свойств хитиновых продуктов, полученных кислотным или щелочным гидролизом, постоянно востребованы дешевые хитинолитические ферменты с улучшенной каталитической способностью. В этой связи отходы морского рыболовства являются потенциальным источником для извлечения хитиназ с высокой каталитической способностью.

4. Получение олигосахаридов хитина и хитозана

Химический подход модификации хитина породил ряд проблем, связанных с загрязнением окружающей среды. В отличие от них, ферментативный подход способен восполнить этот недостаток. Поэтому биодegradация, особенно ферментативный гидролиз, имеет большое значение для переработки хитиновых отходов с целью получения низкомолекулярных продуктов, в первую очередь олигосахаридов [28, 29].

Хотя многие хитиназы уже изучены, поиск экологически безопасных ресурсов и стратегий для получения олигосахаридов хитина и хитозана остается сложной задачей [5].

По сравнению с химическими и физическими методами, ферментативный метод является экологически чистым, а процесс легко контролируется. Кроме того, олигомеры могут быть получены без каких-либо дополнительных модификаций.

Однако стоимость ферментов все еще относительно высока, а отсутствие фундаментального понимания каталитических механизмов ферментов препятствует получению хитоолигосахаридов и их мономеров с помощью ферментативного подхода.

В первую очередь изучается действие специфических ферментов – хитиназ, хитозаназ.

В последнее время было изучено и охарактеризовано множество хитиназ из различных видов, включая животных, растения, насекомых, грибы и бактерии. Морские бактерии являются прекрасными источниками для производства хитиназ. В частности, бактерии, которые постоянно выживают при низких температурах, в основном выделяют холодоадаптированные ферменты, что важно в низкотемпературной каталитической реакции. Специфические ферменты могут превращать хитин в биологически активные соединения, такие как хитоолигосахариды и N-ацетил-D-глюкозамин (GlcNAc), которые могут найти применение в медицине и биотехнологии. Ферменты, участвующие в естественном производстве хитоолигосахаридов, можно разделить на два типа: ферменты, осуществляющие специфический ферментативный гидролиз (хитиназа, хитозаназа, глюканаза и т.д.), и ферменты, осуществляющие неспецифический ферментативный гидролиз (лизоцим, протеаза, липаза, амилаза, целлюлаза и т.д.). По сравнению с кислотным гидролизом, ферментативное разложение, очевидно, проще в эксплуатации и контроле. Что еще более важно, ферментативная деградация может генерировать продукты без дополнительных модификаций. Однако стоимость, доступность и специфичность ферментов ограничивают их применение и коммерческое использование.

Несколько типов неспецифических протеолитических и полисахаридных гидролаз были использованы для получения хитозановых олигомеров. К ним относятся папаин, пепсин и проназа, различные типы целлюлозы, лизоцим. Например, в образец хитозана добавляли смесь пектиназы из *Phizopus oryzae*, папаина из латекса папайи. Реакция деполимеризации протекает при 39 °C в те-

чение 24 ч. Оказалось, что при этом образуется олигомер хитозана с содержанием олигомеров (димеров-октамеров) 33 %, а димеров-тетрамеров – 54 % [30].

5. Получение N-ацетилглюкозамина и D(+)-глюкозамина

Мономером хитина является глюкозамин (GlcN), который также обладает множеством биоактивных свойств, включая функции в органогенезе растений и эмбриогенезе беспозвоночных. Глюкозамин и его ацетилированное производное (N-ацетилглюкозамин (GlcNAc)), которые могут быть получены из хитина/хитозана, широко применяются в пищевой, экономической, косметической и фармацевтической промышленности, особенно при лечении артрита [10]. Соответственно, в промышленности востребованы высокоэффективные процессы получения глюкозамина. Безусловно, хитин является подходящим биосырьем для производства глюкозамина благодаря его обильному воспроизводству в природе.

Превращение хитина в N-ацетилглюкозамин осуществляется при избирательном расщеплении гликозидных связей, а получение глюкозамина включает либо деацетилирование и гидролиз хитина, либо деполимеризацию хитина и деацетилирование образующегося N-ацетилглюкозамина. Ферментативный гидролиз является экологически чистым методом получения мономеров хитина и хитозана. Ферменты, участвующие в хитинолитической системе, представлены следующим образом: эндохитиназы (ЕС 3.2.1.1.4), экзохитиназы (ЕС 3.2.1.14), хитобиазы (ЕС 3.2.1.30) и β -N-ацетил-гексозаминидазы (ЕС 3.2.1.52). Эти ферменты работают совместно, превращая хитин в N-ацетил-D-глюкозамин. Эндохитиназы гидролизуют хитин до олигомеров, таких как хитотетраозы и хитотриозы. Причем N-ацетил-хитобиозы преобладают в конечных продуктах гидролиза хитина эндохитиназами. В отличие от них, экзохитиназы высвобождают N-ацетил-хитобиозу без образования GlcNAc или олигомеров. β -N-ацетил-гексозаминидазы могут расщеплять N-ацетил-хитобиозу, N-ацетил-хитотриозу и N-ацетил-хитотетраозу до мономеров GlcNAc.

Экзо- β -D-глюкозаминидаза (экзохитозан, ЕС 3.2.1.165) расщепляет хитозан или олигомеры хитозана, последовательно высвобождая D-глюкозамин из нередуцирующего терминала. Таким образом, гидролиз на основе экзо- β -D-глюкозаминидазы является потенциальным методом получения D-глюкозамина. Экзо- β -D-глюкозаминидаза демонстрирует более высокую скорость

расщепления хитотетраозы и хитопентаозы. Она может расщеплять GlcN-GlcNAc, но не GlcNAc-GlcNAc.

Ферментативный гидролиз для получения глюкозамина является перспективным подходом. Однако этот подход сложнее, чем химический гидролиз, поскольку необходимо учитывать как производство ферментов, так и производство глюкозамина. Кроме того, ферментативные процессы все еще нуждаются в тщательной оптимизации для решения вопросов, связанных с низким выходом и неполным превращением хитина в мономеры.

6. Отходы переработки ракообразных и способы их утилизации

Продукция рыболовства и аквакультуры не полностью используется для потребления человеком. Фактически переработка рыбы, моллюсков и других морских животных приводит к образованию значительного количества отходов, которые, в зависимости от вида, могут достигать 50–70 % от общего объема производства [31].

Отходы рыболовства и аквакультуры обычно выбрасываются в море или на свалки, в лучшем случае перерабатываются в рыбную муку и рыбий жир [14].

В рыбной промышленности и аквакультуре растет потребность в переходе на безотходный подход за счет полной утилизации продукции рыболовства и аквакультуры, сокращения образования отходов и повышения ценности производимых отходов. Переработка отходов рыболовства и аквакультуры не только снижает их серьезное воздействие на окружающую среду, но и повышает их экономическую ценность [31, 32].

В рамках концепции «голубой биоэкономики», в которой устойчивое использование океана и его ресурсов является приоритетом, крайне важно минимизировать и/или исключить образование отходов [33]. Благодаря обилию ценных биомолекул (ферментов, белков/пептидов, полиненасыщенных жирных кислот, каротиноидов, минералов и гидроксиапатита, а также полисахаридов, включая хитин и гликозаминогликаны) отходы переработки морских гидробионтов представляют ценное сырье [34, 35].

Ферменты из отходов переработки морских гидробионтов представляют интерес с нескольких точек зрения. Во-первых, наличие уникальных свойств, высокой активности, разнообразной субстратной специфичности. Во-вторых, было обнаружено, что ферменты морского происхождения обладают свойствами холодовой адаптации (то есть активны в диапазоне от 0 до 30 °C,

но нестабильны при температуре выше 50 °C [36]. В-третьих, получение ценных ферментов – элемент комплексной переработки отходов, получение продуктов с добавленной стоимостью.

Уникальные возможности представляют отходы переработки ракообразных. После получения пищевой продукции – мышечной ткани конечностей крабов или креветок остается до 60 % отходов, включающих несъедобный хитиновый покров и внутренности. Многочисленные исследования показывают, что эти отходы являются сырьем для получения различных углеводов (полисахаридов – хитина, хитозана, их производных, моносахаридов – глюкозамина и ацетилглюкозамина, липидов и каротиноидов, активных белков – ферментов, обладающих широким спектром различной субстратной активности – протеолитической, коллагенолитической, хитино- и хитозанолитической и др. В конечном счете не утилизируемый белок панцирьсодержащих отходов и внутренностей может послужить сырьем для получения ферментативных белковых гидролизатов различного назначения. Минеральная часть панциря ракообразных, представляющая комплекс карбонатов и фосфатов кальция, магния и других металлов, оказывается хорошим минеральным премиксом в корма сельскохозяйственной птицы и животных.

Заключение

Таким образом, анализ сведений по использованию ферментов для биотрансформации хитина показал, что эта проблема очень актуальна и решаемая. В настоящее время основное внимание уделяется использованию микробиологических источников ферментов и получению рекомбинантных ферментов с заданными свойствами. Тем не менее вопрос выделения ферментов, существующих в отходах промысла и переработки рыбы и беспозвоночных, остается также важным. С нашей точки зрения, выделение хитинолитических ферментов в рамках комплексной безотходной технологии переработки промысловых крабов может быть целесообразным. Идеи, высказываемые в проанализированных публикациях, позволят разработать научный подход к подготовке хитина для ферментолитического определения, экстракции и очистки ферментов из тканей ракообразных. В перспективе рассматривается возможность использования ферментных систем морских микроорганизмов, проявляющих хитинолитическое действие.

Список литературы

1. Bastiaens L., Soetemans L., D'Hondt E., Elst K. Sources of chitin and chitosan and their isolation // In: Chitin and Chitosan: Properties and Applications / L.A.M. Van Den Broek, C.G. Boeriu (Eds.). Hoboken, Chichester: John Wiley & Sons Ltd, 2020. P. 1–34. DOI: 10.1002/9781119450467.ch1.
2. Yadav M., Goswami P., Paritosh K., Kumar M., Pareek N., Vivekanand V. Seafood waste: a source for preparation of commercially employable chitin/chitosan materials // Bioresour. Bioprocess. 2019. Vol. 6. Article ID 8. DOI: 10.1186/s40643-019-0243-y.
3. Rinaudo M. Chitin and chitosan: Properties and applications // Prog. Polym. Sci. 2006. Vol. 31. Is. 7. P. 603–632. DOI: 10.1016/j.progpolymsci.2006.06.001.
4. Krajewska B. Application of chitin- and chitosan-based materials for enzyme immobilizations: a review // Enzyme Microb. Technol. 2004. Vol. 35. № 2–3. P. 126–139. DOI: 10.1016/j.enzmictec.2003.12.013.
5. Kosyakov V.N., Yakovlev N.G., Veleshko I.E. Application of chitin-containing fiber material “Mycoton” for actinide absorption // J. Nucl. Sci. Technol. 2002. Vol. 39 (supl. 3). P. 508–511. DOI: 10.1080/00223131.2002.10875518.
6. Yin H., Du Y., Dong Z. Chitin oligosaccharide and chitosan oligosaccharide: Two similar but different plant elicitors // Front. Plant Sci. 2016. Vol. 7. P. 522. DOI: 10.3389/fpls.2016.00522.
7. Soon C.Y., Tee Y.B., Tan C.H., Rosnita A.T., Khalina A. Extraction and physicochemical characterization of chitin and chitosan from *Zophobas morio* larvae in varying sodium hydroxide concentration // Int. J. Biol. Macromol. 2018. Vol. 108. P. 135–142. DOI: 10.1016/j.ijbiomac.2017.11.138.
8. Srinivasan H., Kanayairam V., Ravichandran R. Chitin and chitosan preparation from shrimp shells *Penaeus monodon* and its human ovarian cancer cell line, PA-1 // Int. J. Biol. Macromol. 2018. Vol. 107. Part A. P. 662–667. DOI: 10.1016/j.ijbiomac.2017.09.035.
9. Khiari Z., Mason B. Comparative dynamics of fish bycatch hydrolysis through chemical and microbial methods // LWT. 2018. Vol. 97. P. 135–143. DOI: 10.1016/j.lwt.2018.06.032.
10. Novikov V.Yu., Derkach S.R., Konovalova I.N., Dolgopyatova N.V., Kuchina Yu.A. Mechanism of heterogeneous alkaline deacetylation of chitin: A review // Polymers. 2023. Vol. 15. Is. 7. P. 1729. DOI: 10.3390/polym15071729.
11. Younes I., Rinaudo M. Chitin and chitosan preparation from marine sources. Structure, properties and applications // Mar. Drugs. 2015. Vol. 13. Is. 3. P. 1133–1174.
12. Aly M.M., Sediq A.N., Baghdadi A.M., Amasha R.H. Chitin and chitinases, production, characterization and applications // IOSR j. pharm. biol. sci. 2019. Vol. 14. Is. 2. Ser. 1. P. 36–43. URL: <http://www.iosrjournals.org/iosr-jpbs/papers/Vol14-issue2/Series-1/E1402013643.pdf> (дата обращения: 12.11.2025). DOI: 10.9790/3008-1402013643.
13. Dukariya G., Kumar A. Distribution and biotechnological applications of chitinase: A review // Int. J. Biochem. Biophys. 2020. Vol. 8. Is. 2. P. 17–29. DOI: 10.13189/ijbb.2020.080201.
14. Liu M., Chen C., Wu Q.-C., Chen J.-L., Dai L.-S., Chu S.H., Liu Q.-N. Chitinase involved in immune regulation by mediated the toll pathway of crustacea *Procambarus clarkii* // Fish Shellfish Immunol. 2021. Vol. 110. P. 67–74. DOI: 10.1016/j.fsi.2020.12.015.
15. Liu W., Lyu Q., Qin Z. Preparation of chito-oligosaccharides and its monomer // Oligosaccharides of Chitin and Chitosan. Bio-manufacture and Applications / Ed. by Liming Zhao. Singapore: Springer Nature Singapore Pte Ltd., 2019. P. 29–54. DOI: 10.1007/978-981-13-9402-7_3.
16. Ye C., Lu Z., Sarath B.V., Zhang X., Liu X., Zhao L., Pan G., Lin L. Cloning and expression analysis of chitinase-3B from giant freshwater prawn (*Macrobrachium rosenbergii*) during molting cycle // J. Fish. China. 2019. Vol. 43. Is. 4. P. 751–762. DOI: 10.11964/jfc.20180511272.
17. Lv J., Liu P., Wang Y., Gao B., Chen P., Li J. Transcriptome analysis of *Portunus trituberculatus* in response to salinity stress provides insights into the molecular basis of osmoregulation // PLoS ONE. 2013. Vol. 8. Is. 12. P. e82155. DOI: 10.1371/journal.pone.0082155.
18. Stintzi A., Heitz T., Prasad V., Wiedermann-Merdinoglu S., Kauffmann S., Geoffroy P., Legrand M., Fritig B. Plant “pathogenesis-related” proteins and their role in defense against pathogens // Biochimie. 1993. Vol. 75. Is. 8. P. 687–706. DOI: 10.1016/0300-9084(93)90100-7.
19. Shiota K., Sato T., Sekiguchi J., Miyauchi K., Mochizuki A., Matsumiya M. Purification and Characterization of Chitinase Isozymes from a Red Algae, *Chondrus verrucosus* // Biosci. Biotechnol. Biochem. 2008. Vol. 72. Is. 12. P. 3091–3099. URL: https://www.researchgate.net/publication/23627479_Purification_and_Characterization_of_Chitinase_Isozymes_from_a_Red_Alga_Chondrus_verrucosus (дата обращения: 22.10.2025).
20. Zou E., Bonvillain R. Chitinase activity in the epidermis of the fiddler crab, *Uca pugnator*, as an *in vivo* screen for molt-interfering xenobiotics // Comp Biochem Physiol C Toxicol Pharmacol. 2004. Vol. 139. Is. 4. P. 225–230. DOI: 10.1016/j.cca.2004.11.003.
21. Zhang J., Sun Y., Li F., Huang B., Xiang J. Molecular characterization and expression analysis of chitinase (Fcchi-3) from Chinese shrimp, *Fenneropenaeus chinensis* // Mol. Biol. Rep. 2010. Vol. 37. Is. 4. P. 1913–1921.
22. Khiari Z. Enzymes from fishery and aquaculture waste: Research trends in the era of artificial intelligence and circular bio-economy // Mar. Drugs. 2024. Vol. 22. Is. 9. P. 411. DOI: 10.3390/md22090411.
23. Актуганов Г.Э., Мелентьев А.И. Особенности деполимеризации хитозана хитиназами, хитозаназами и неспецифическими ферментами при получении биоактивных хитоолигосахаридов (обзор) // Прикладная биохимия и микробиология. 2017. Т. 53. № 6. С. 551–567. DOI: 10.7868/S0555109917060022.
24. Актуганов Г.Э., Мелентьев А.И., Варламов В.П. Биотехнологические аспекты ферментативного получения биоактивных хитоолигосахаридов (обзор) // Прикладная биохимия и микробиология. 2019. Т. 55. № 4. С. 315–337. DOI: 10.1134/S0555109919040020.
25. Arnold N.D., Bruck W.M., Garbe D., Bruck T.B. Enzymatic modification of native chitin and conversion to specialty chemical products // Mar. Drugs. 2020. Vol. 18. Is. 2. P. 93. DOI: 10.3390/md18020093.
26. Pan D., He N., Yang Z., Liu H., Xu X. Differential gene expression profile in hepatopancreas of WSSV-resistant shrimp (*Penaeus japonicus*) by suppression subtractive hybridization // Dev. Comp. Immunol. 2005. Vol. 29. Is. 2. P. 103–112.
27. Affes S., Aranaz I., Hamdi M., Acosta N., Ghorbel-Bellaaj O., Heras A., Nasri M., Maalej H. Preparation of a crude chitosanase from blue crab viscera as well as its application in the production of biologically active chito-oligosaccharides from shrimp shells chitosan // Int. J. Biol. Macromol. 2019. Vol. 139. P. 558–569. DOI: 10.1016/j.ijbiomac.2019.07.116.
28. Fu X., Guo Y., Jin Y., Ma M. Bioconversion of chitin waste using a cold-adapted chitinase to produce chitin oligosaccharides // LWT. 2020. Vol. 133. P. 109863. DOI: 10.1016/j.lwt.2020.109863.
29. Krolicka M., Hinz S.W.A., Koetsier M.J., Joosten R., Eggink G., van den Broek L.A.M., Boeriu C.G. Chitinase Chi1 from *Myceliophthora thermophila* C1, a thermostable enzyme for chitin and chitosan depolymerization // J. Agric. Food Chem. 2018. Vol. 66. Is. 7. P. 1658–1669. DOI: 10.1021/acs.jafc.7b04032.
30. Tischenko G., Simunek J., Brus J., Netopilik M., Pekarek M., Walterova Z., Koppova I., Lenfeld J. Low-molecular-weight chitosans: preparation and characterization // Carbohydr. Polym. 2011. Vol. 86. Is. 2. P. 1077–1081. DOI: 10.1016/j.carbpol.2011.04.073.

31. Khiari Z. Sustainable upcycling of fisheries and aquaculture wastes using fish-derived cold-adapted proteases // *Front. Nutr.* 2022. Vol. 9. P. 875697. DOI: 10.3389/fnut.2022.875697.
32. Valimaa A.L., Makinen S., Mattila P., Marnila P., Pihlanto A., Maki M., Hiidenhovi J. Fish and fish side streams are valuable sources of high-value components // *Food Qual. Saf.* 2019. Vol. 3. Is. 4. P. 209–226. DOI: 10.1093/fqsaf/fyz024.
33. Verissimo N.V., Mussagy C.U., Oshiro A.A., Mendonca C.M.N., Santos-Ebinuma V.D.C., Pessoa A., Oliveira R.P.D.S., Pereira J.F.B. From green to blue economy: Marine biorefineries for a sustainable ocean-based economy // *Green Chem.* 2021. Vol. 23. P. 9377–9400. DOI: 10.1039/D1GC03191K.
34. Caruso G., Floris R., Serangeli C., Di Paola L. Fishery wastes as a yet undiscovered treasure from the sea: biomolecules sources, extraction methods and valorization // *Mar. Drugs.* 2020. Vol. 18. Is. 12. P. 622. DOI: 10.3390/md18120622.
35. Singh S., Negi T., Sagar N.A., Kumar Y., Tarafdar A., Sirohi R., Sindhu R., Pandey A. Sustainable processes for treatment and management of seafood solid waste // *Sci. Total Environ.* 2022. Vol. 817. P. 152951 (17 p.). DOI: 10.1016/j.scitotenv.2022.152951.
36. Wang G.-x., Gao Y., Hu B., Lu X.-l., Liu X.-y., Jiao B.-h. A novel cold-adapted 'beta'-galactosidase isolated from *Halo- monas* sp. S62: gene cloning, purification and enzymatic characterization // *World J. Microbiol. Biotechnol.* 2013. Vol. 29. P. 1473–1480. DOI: 10.1007/s11274-013-1311-7.

Конфликт интересов: Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest: The authors declare that there is no conflict of interest.

Финансирование: Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда, проект № 25-16-00064.

Financing: The work was carried out with the financial support of the Russian Science Foundation, project No. 25-16-00064.

СТАТЬИ

УДК 595.133

**ГЕЛЬМИНТОЛОГИЧЕСКАЯ И ЭПИЗООТОЛОГИЧЕСКАЯ
ХАРАКТЕРИСТИКА АКАНТОЦЕФАЛОВ АМФИБИЙ СЕМЕЙСТВ
BUFONIDAE И RANIDAE ЮЖНОГО УЗБЕКИСТАНА**

**Алиев Ш.Т. ORCID ID 0009-0007-4379-7741,
Амиров О.О. ORCID ID 0000-0002-6840-2036**

*Институт зоологии Академии наук Республики Узбекистан, Ташкент,
Узбекистан, e-mail: biocandidatlotus@gmail.com*

Цель данного исследования заключается в изучении гельминтологических и эпизоотологических особенностей акантоцефал амфибий семейства Bufonidae и Ranidae в Южном Узбекистане. Исследования проводились в 2023–2025 гг. в южных областях Узбекистана, в районах Кашкадарьи и Сурхандарьи, на водоемах, озерах, берегах рек и в зонах водоемов, где встречаются акантоцефалы амфибий. В ходе исследований были изучены желудок, кишечник и клоака амфибий с использованием полного и неполного гельминтологического метода. Акантоцефалы были закреплены в маркированных флаконах с 70 % раствором этанола для морфологических и морфометрических исследований. Для эпизоотологической характеристики заражения амфибий гельминтами использовались показатели широты инвазии. Полученные данные были обработаны статистически с помощью программ Statistics Excel 2003 и Bio Stat. В южной части Узбекистана было выявлено паразитирование шести видов акантоцефал, относящихся к виду Acanthocephala (Rudolphi, 1808), представителям двух классов, трех порядков, четырех семейств и шести родов гельминтов амфибий. Кроме того, по результатам гельминтологических вскрытий было установлено наличие пяти видов акантоцефал у амфибий семейства Ranidae и трех видов у амфибий семейства Bufonidae. Гельминты, обнаруженные у амфибий Южного Узбекистана, в зависимости от смешанных инвазивных особенностей специфической инфекции организма, разделены на две группы: биинвазивное фаунистическое объединение – 4, триинвазивное фаунистическое объединение – 1. В 2023–2025 гг. был проведен эпизоотологический анализ заражения амфибий акантоцефалов типа, южного типа в различных географических зонах республики. По результатам исследования у 340 (864) образцов амфибий был диагностирован акантоцефалез, что составило 39,35 % от общего числа обследованных животных. Наивысший показатель зараженности амфибий акантоцефалезом был зафиксирован в 2023 г. (43,92 %), самый низкий – в 2025 г. (38,09 %).

Ключевые слова: акантоцефалез, акантоцефалы, амфибии, экстенсивность инвазии, эпизоотология, Южный Узбекистан

**HELMINTHOLOGICAL AND EPIZOOTOLOGICAL CHARACTERISTICS
OF ACANTHOCEPHALANS IN AMPHIBIANS OF THE FAMILIES
BUFONIDAE AND RANIDAE IN SOUTHERN UZBEKISTAN**

**Aliyev Sh.T. ORCID ID 0009-0007-4379-7741,
Amirov O.O. ORCID ID 0000-0002-6840-2036**

*Institute of Zoology of the Academy of Sciences of the Republic of Uzbekistan, Tashkent,
Republic of Uzbekistan, e-mail: biocandidatlotus@gmail.com*

The purpose of this study is to investigate the helminthological and epizootological characteristics of acanthocephalans in amphibians belonging to the Bufonidae and Ranidae families in Southern Uzbekistan. The research was conducted between 2023 and 2025 in the southern regions of Uzbekistan, specifically in Kashkadarya and Surkhandarya, in areas such as water reservoirs, lakes, riverbanks, and zones where acanthocephalans of amphibians are found. During the study, the stomach, intestines, and cloacal parts of amphibians were examined using complete and incomplete helminthological methods. Acanthocephalans were preserved in labeled vials with a 70 % ethanol solution for morphological and morphometric studies. To describe the epizootological characteristics of helminth infestation in amphibians, invasion prevalence indicators were used. The collected data were statistically processed using "Statistics Excel 2003" and "Bio Stat" software. It was established that amphibians in Southern Uzbekistan are parasitized by six species of Acanthocephalans (Rudolphi, 1808), representing 2 classes, 3 orders, 4 families, and 6 genera of helminths. Furthermore, based on the results of helminthological autopsies, it was determined that amphibians of the Ranidae family harbor 5 species, while amphibians of the Bufonidae family harbor 3 species of acanthocephalans. The helminths identified in amphibians in Southern Uzbekistan are divided into two groups based on the mixed invasive characteristics of host organism infections: bi-invasive faunistic associations – 4, tri-invasive faunistic associations – 1. Between 2023 and 2025, an epizootological analysis of amphibian infestation with acanthocephalans was conducted in various geographical zones of southern Uzbekistan. According to the study results, acanthocephalasis was diagnosed in 340 (864) amphibian specimens, accounting for 39.35% of the total animals examined. The highest rate of amphibian infestation with acanthocephalasis was recorded in 2023 (43.92%), while the lowest rate was observed in 2025 (38.09%).

Keywords: acanthocephalasis, acanthocephalans, amphibians, infestation extensiveness, epizootology, Southern Uzbekistan

Введение

Амфибии (Amphibia: Anura) считаются важной частью экосистемы, выступая в качестве пищи для хищных рыб, птиц (Galliformes, Falconiformes) и некоторых хищных млекопитающих (Carnivores) в трофической цепи биосферы. Сокращение их численности оказывает значительное влияние на всю пищевую цепь. Субтропический и засушливый климат Южного Узбекистана (озера, реки, болота, ирригационные системы в сельской местности), температура воды, уровень минерализации и растительный покров создают благоприятную среду для водно-болотных животных, включая амфибий [1; 2]. В популяциях амфибий, встречающихся в данном регионе, представлены жабы семейства Bufonidae, такие как *Bufo peskovii* и *Bufo turanensis*, а также лягушки семейства Ranidae, включая *Rana (Pelophylax) ridibundus* [3–5]. В настоящее время актуальность изучения амфибий объясняется их активным участием в биологической циркуляции гельминтов домашних и диких животных. В частности, амфибии региона были исследованы как переносчики паразитов типа *Acanthocephala* (скребни).

Тело представителей типа *Acanthocephala* имеет нитевидную, цилиндрическую, мешковидную или овальную форму, размеры варьируются от 1,5 мм до самых крупных – 68 см (*Macracanthorhynchus hirudinaceus*), и состоит из двух частей: хобот и собственно тело. В передней части тела находится хобот, вооруженный хитиновыми крючками, хоботный чехол и шейка. В собственно теле расположены все внутренние органы. Пищеварительная система редуцирована, поэтому они поглощают пищу путем диффузии через всю поверхность тела. Хобот служит для прикрепления к стенке кишечника хозяина. Форма, размер, количество и расположение хитиновых крючков на хоботе различаются у разных видов, что играет важную роль в уточнении классификации видов акантоцефал.

Акантоцефалы являются биогельминтами, где позвоночные животные выступают в качестве основных хозяев, а беспозвоночные животные (моллюски, ракообразные, насекомые) – промежуточных хозяев. Развитие происходит с метаморфозом, и в яйцах, вышедших из основных хозяев во внешнюю среду, личинки полностью формируются. Когда промежуточные хозяева проглатывают такие яйца, из яйца выходит личинка (акантор). Аканторы через стенку кишечника переходят в по-

лость тела, продолжают развиваться и превращаются в следующую личиночную стадию – преакантеллу. Она также развивается и становится следующей заразной (инвазионной) личиночной стадией – акантеллой. Если такие зараженные промежуточные хозяева употребляются в пищу различными позвоночными животными вместе с водой или кормом, то акантоцефалы передаются этим животным. У основных хозяев акантоцефалы живут более года. У животных, пораженных акантоцефалезом, отсутствует аппетит, наблюдается диарея с примесью крови, они сильно худеют. Часто больные животные погибают [6, с. 277].

На сегодняшний день в мире проведено и продолжается множество исследований по гельминтам амфибий. Важными работами можно считать исследования следующих ученых. Акантоцефалы вызывают заболевание акантоцефалез у почти всех классов позвоночных животных [7–9]. Они живут в пищеварительной системе животных, проникая в слизистую оболочку пищеварительной системы и вызывая воспаление [10–12]. Представители семейства Centrorhynchidae (класс Palaeacanthocephala) паразитируют преимущественно у млекопитающих, насекомых и хищных птиц по всему миру [6; 13; 14].

В странах СНГ можно отметить следующие важные работы в этом направлении. В Самарской области России *Bufo viridis* (Laurenti, 1768) зарегистрирован как новый хозяин для *Acanthocephalus falcatus* [13, с. 185]. В Туркменистане обнаружены акантоцефалы, относящиеся к семи видам, найденным у амфибий и рептилий. Амфибии описаны как промежуточные и резервуарные хозяева [15, с. 43].

В Узбекистане также проведен ряд научных исследований по изучению гельминтов амфибий. В частности, в Ташкентской, Навоийской, Джизакской областях, а также в городах Ташкент и Карши у *Bufo viridis* (Laurenti, 1768) обнаружено четыре вида акантоцефалов [16, с. 107]. В Хорезмской, Сурхандарьинской, Джизакской и Ташкентской областях у *Rana ridibunda* и *Bufo viridis* (Laurenti, 1768) выявлены акантоцефалы, относящиеся к двум видам [17, с. 39]. В Узбекистане описаны пять видов акантоцефалов, заражающих амфибий гельминтами и личинками гельминтов [18, с. 33].

Существующая научная литература посвящена изучению видового состава гельминтофауны амфибий [18–20]. Однако в южных регионах Узбекистана (Кашкадарьинская, Сурхандарьинская области) недостаточно данных о фауне гельминтов амфибий, их морфобиологических особен-

ностях и экологических факторах, влияющих на формирование гельминтофауны амфибий. Поэтому в 2024–2025 гг. авторами были проведены исследования.

Цель исследования заключалась в изучении гельминтологических и эпизоотологических характеристик акантоцефалов амфибий семейств Bufonidae и Ranidae Южного Узбекистана.

Материалы и методы исследования

Гельминтологический анализ

В течение 2023–2025 гг. были выполнены в лаборатории молекулярной зоологии Института зоологии АН Узбекистана гельминтологические и эпизоотологические исследования акантоцефалов амфибий. В ходе исследования методом маршрутов и стационарных методов было обследовано 864 экземпляра амфибий, собранных в водоемах, озерах, берегах рек и водохранилищах южных регионов Узбекистана – Кашкадарьинской и Сурхандарьинской областей (рис. 1). Из них представители семейства Ranidae составили 393 экземпляра (190 экземпляров из Кашкадарьи, 203 экземпляра из Сурхандарьи), а представители семей-

ства Bufonidae – 471 экземпляр (230 экземпляров из Кашкадарьи, 241 экземпляр из Сурхандарьи). Определение видового состава амфибий было проведено совместно с научными сотрудниками лаборатории учета и кадастра редких видов животных Института зоологии. Кроме того, были использованы исследования зарубежных и местных ученых по видовому составу амфибий Средней Азии [3; 5; 21].

Амфибиям с подозрением на акантоцефалез (чрезмерно истощенным и малоподвижным) было проведено полное и неполное гельминтологическое исследование желудка, кишечника и клоаки. В ходе исследования было подготовлено 140 постоянных и временных гельминтологических препаратов. Акантоцефалы фиксировались в 70%-ном растворе этанола в маркированных флаконах для морфологических и морфометрических исследований. Для определения видов гельминтов использовались определители «Акантоцефалы наземных позвоночных фауны СССР» [6, с. 277], а также база данных глобального биологического разнообразия (Gbif) (<https://www.gbif.org/>).

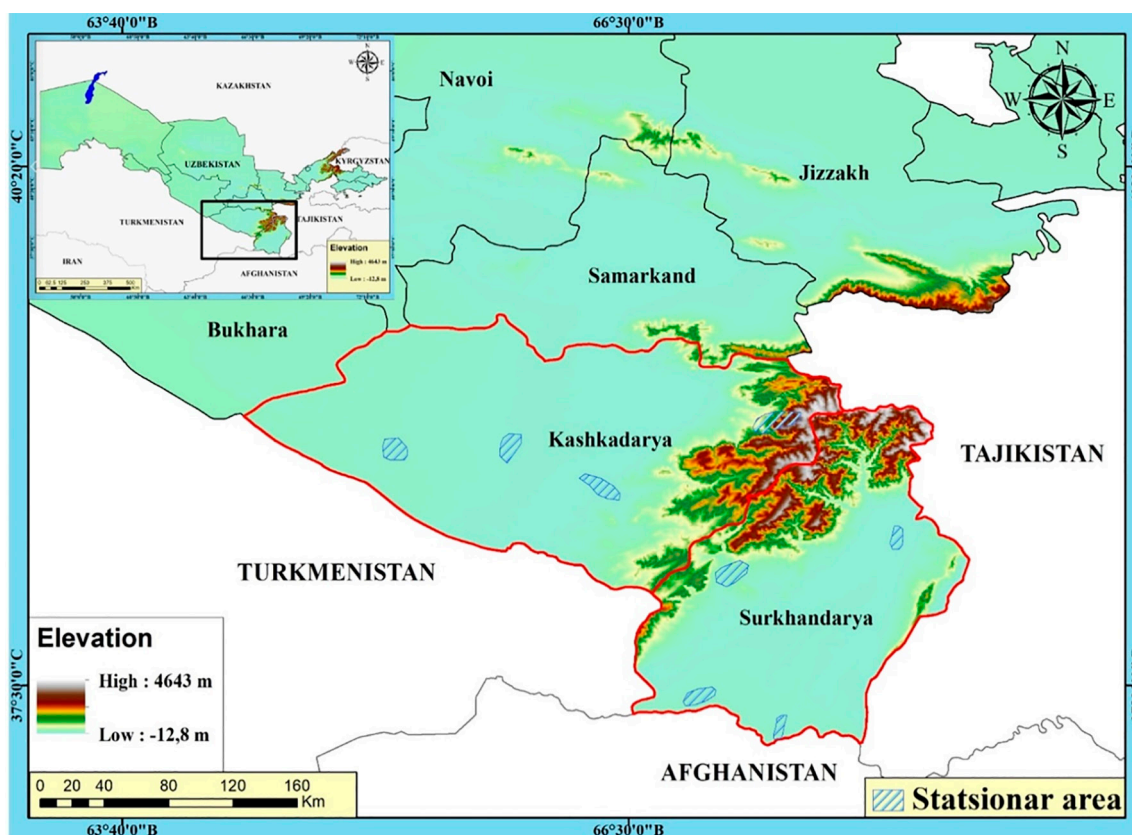


Рис. 1. Территории проведения исследований авторов в 2023–2025 гг.
Примечание: составлена авторами с помощью ArcGIS Pro. URL: <https://pro.arcgis.com/>

Эпизоотологический анализ

Для характеристики зараженности гельминтами земноводных Сурхандарьинской и Кашкадарьинской областей использованы следующие паразитологические показатели:

Экстенсивность инвазии (ЭИ):

$$\text{ЭИ} = (N_{\text{инф}} / N_{\text{провер}}) \times 100\%$$

где $N_{\text{инф}}$ – количество инфицированных хостов; $N_{\text{провер}}$ – количество проверенных владельцев.

Статистическая обработка полученных данных проводилась с использованием программного обеспечения Statistics Excel 2003 и Bio Stat.

Результаты исследования и их обсуждение

Результаты гельминтологического исследования

У амфибий Южного Узбекистана выявлено паразитирование акантоцефалов, относящихся к двум классам, трем отрядам, четырем семействам, шести родам и шести видам. Эта таксономия показывает зависимость амфибий от условий обитания и климатических факторов.

Тип: *Acanthocephala* Rudolphi, 1808

Класс: *Palaeanthocephala* Meyer, 1931

Отряд: *Echinorhynchida* Southwell & Macfie, 1925

Семейство: *Echinorhynchidae* Cobbold, 1879

Род: *Acanthocephalus* Koelrenther, 1771

***Acanthocephalus ranae* Schrank, 1788**

Локализация: тонкий кишечник.

Основной хозяин: *Bufotes pewzowi*, *Rana (Pelophylax) ridibundus*.

Промежуточный хозяин: водяной ослик (*Asellus aquaticus*) [18, с. 33].

Морфология: Поверхность тела гладкая, длина самца составляет 4–10 мм, ширина 0,64–1,10 мм, длина хоботка 0,2–0,37 мм, количество рядов крючков у самцов 11–14, у самок 12–19, количество крючков в ряду 5, размер самых длинных крючков 0,06 мм, самых коротких крючков 0,03 мм, длина шеи 0,15 мм, семенники составляют 0,4–0,96 мм. Самец явно меньше самки, длина тела самки акантоцефала составляет 15–21 мм.

Территория, на которой обнаружены: Каршинский, Косонский, Муборакский и Нишонский районы Кашкадарьинской области, Термезский, Шерободский, Байсунский и Кызырыкский районы Сурхандарьинской области.

Род: *Pseudoacanthocephalus* Petrotschenko, 1956

***Pseudoacanthocephalus bufonis* Shipley, 1903**

Локализация: тонкий кишечник.

Основной хозяин: *Bufotes turanensis*, *Rana (Pelophylax) ridibundus*.

Промежуточный хозяин: изоподы (*Porcellio fedtschencoi*, *Porcellio latus*, *Porcellio sp*, *Armadillidium vulgare*) [22; 23].

Территория, на которой обнаружены: Каршинский, Касбинский, Миришкорский и Камашинский районы Кашкадарьинской области, Джаркурганский, Шурчинский, Деновский и Узунский районы Сурхандарьинской области.

Отряд: *Polymorphida* Petrochenko, 1956

Семейство: *Centrorhynchidae* Van Cleave, 1916

Род: *Centrorhynchus* Lühe, 1911

***Centrorhynchus globocaudatus* Zeder, 1800, larvae**

Локализация: полость тела, внешняя поверхность внутренних органов, кишечные петли.

Основной хозяин: птицы (*Galliformes*, *Falconiformes*).

Резервуарный хозяин: *Rana (Pelophylax) ridibundus*.

Территория, на которой обнаружены: Гузарский, Яккабогский, Шахрисабзский и Дехканабадский районы Кашкадарьинской области, Шерободский, Байсунский, Джаркурганский и Ангорский районы Сурхандарьинской области.

Род: *Sphaerirostris* Golvan, 1956

***Sphaerirostris picae* Rudolphi, 1819, larvae**

Локализация: полость тела, внешняя поверхность внутренних органов, стенки кишечника.

Основной хозяин: енотовидная собака (*Procyon lotor*), обыкновенный майна (*Acridotheres tristis*), индийская сорока (*Dendrocitta vagabunda*), европейская сорока (*Pica pica*).

Резервуарный хозяин: *Bufotes pewzowi*.

Морфология: длина тела личинки (с хоботком) 2,3–5,2 мм, длина хвостовой части 0,3–0,64 мм, передняя часть хоботка округлая, задняя часть вытянутая, длина хоботка 0,37–0,67 мм, количество рядов крючков до 33–37, количество крючков в рядах 10–14, крючки первых (верхних) 4–6 рядов хорошо развиты, крупные и длинные, крючки последующих рядов постепенно укорачиваются, размеры крючков уменьшаются до начала шейной части, самый длинный крючок – 0,068 мм, самый короткий – 0,032 мм. Обычно личинки этого вида покрыты соединительной тканью.

Территория, на которой обнаружены: Каршинский, Касбийский, Косонский и Чиракчинский районы Кашкадарьинской области, Музрабадский, Ангорский, Кумкурганский и Сариасийский районы Сурхандарьинской области.

Семейство: Centrorhynchidae Van Cleave, 1916

Род: *Plagiorhynchus* Lühe, 1911

***Plagiorhynchus transversus* Rudolphi, 1819, larvae**

Локализация: полость тела, наружная поверхность внутренних органов, кишечные петли

Основной хозяин: птицы (Galliformes, Falconiformes).

Резервуарный хозяин: *Bufotes turanensis*, *Rana (Pelophylax) ridibundus*.

Территория, на которой обнаружены: Гузарский, Нишанский, Камашинский и Дехканабадский районы Кашкадарьинской области, Кызырыкский, Музрабадский, Джаркурганский и Шурчинский районы Сурхандарьинской области.

Класс: Archiacanthocephala Meyer, 1931

Отряд: Oligacanthorhynchida Petrotchenko, 1956

Семейство: Oligacanthorhynchidae Southwell et Macfie, 1925

Род: *Macracanthorhynchus* Travassos, 1915

***Macracanthorhynchus catulinus* Kostylev, 1927, larvae**

Локализация: тонкий кишечник.

Основной хозяин: хищные млекопитающие (Carnivores).

Промежуточный хозяин: жесткокрылые жуки (Tenebrionidae).

Резервуарный хозяин: *Rana (Pelophylax) ridibundus*.

Территория, на которой обнаружены: Кашкадарьинская область – районы Касби, Миришкор и Муборак; Сурхандарьинская область – районы Кизирик и Музробад.

Согласно данным Е.М. Романовой и др., смешанные инвазии амфибий гельминтами изучены крайне мало, отдельные исследования не проводились [24, с. 69]. В ходе исследований авторы зафиксировали случаи смешанных инвазий (миксинвазий) акантоцефал у амфибий. Гельминтологические исследования проведены на 347 экземплярах *Bufotes pewzowi*, из которых 107 (30,83%) были поражены смешанной инвазией, на 124 экземплярах *Bufotes turanensis* – 53 (42,74%) и на 393 экземплярах *Rana (Pelophylax) ridibundus* – 180 (45,8%) случаев наблюдалась смешанная инвазия. Смешанные инвазии двух или более видов из классов Palaeacanthocephala и Archiacanthocephala могут быть обнаружены в отдельных органах, системах органов и на уровне организма.

На основе межвидовых взаимодействий в смешанных инвазиях амфибий гельминтами можно выделить следующие экологические группы сообществ гельминтов:

У *Bufotes pewzowi* наблюдается 1 биинвазивное фаунистическое сообщество:

A. ranae (тонкий кишечник) + *S. picae* (полость тела).

У *Rana (Pelophylax) ridibundus* наблюдаются 2 типа фаунистических сообществ:

Биинвазивные сообщества гельминтов:

1. *A. ranae* (тонкий кишечник) + *C. globocaudatus* (полость тела);

2. *M. catulinus* (тонкий кишечник) + *P. bufonis* (тонкий кишечник).

Триинвазивные сообщества гельминтов:

A. ranae (тонкий кишечник) + *P. bufonis* (тонкий кишечник) + *C. globocaudatus* (полость тела).

У *Bufotes turanensis* наблюдается 1 биинвазивное фаунистическое сообщество:

P. bufonis (тонкий кишечник) + *Pl. transversus* (полость тела).

Результаты эпизоотологического исследования

В 2023–2025 гг. в южном регионе Республики Узбекистан был проведен эпизоотологический анализ заражения амфибий различных географических зон представителями типа *Acanthocephala*. Согласно результатам исследования, у 340 (864) экземпляров амфибий был диагностирован акантоцефалез, что составляет 39,35% от общего числа обследованных животных. Наивысший процент амфибий, зараженных акантоцефалезом, был выявлен в 2023 г. (43,92%), а самый низкий – в 2025 г. (38,09%) (табл. 1).

Исследования проводились в весенний, летний и осенний сезоны. Зимой эпизоотологический анализ был невозможен из-за перехода амфибий в состояние диапаузы. Проведенные исследования показали, что температура и влажность играют важную роль в сезонном размножении гельминтов и их личинок. Установлено, что ранняя весенняя теплая погода и увеличение числа половозрелых амфибий летом приводят к параллельному увеличению числа паразитов [12; 16; 18].

Согласно наблюдениям, наивысший уровень заражения амфибий акантоцефалезом приходился на летний сезон, а активность акантоцефал резко снижалась с лета до зимы. Также в период с весны до лета наблюдался небольшой рост числа случаев заражения акантоцефалезом (табл. 2).

В 2023 г. был зафиксирован наибольший показатель амфибий, зараженных акантоцефалезом; заболевание отмечалось во все времена года, кроме зимы; наибольший показатель был летом (55). Наименьшее количество заражений было зарегистрировано осенью 2024 года (24). В 2025 г. заболевание немного увеличилось весной (32) и осенью (25) (рис. 2).

Таблица 1

Количество обследованных и больных акантоцефалезом амфибий
в южных регионах Узбекистана

Год	Число исследованных на акантоцефалез амфибий	Число амфибий с подтвержденным диагнозом	% амфибий с подтвержденным диагнозом (ЭИ, %)
2023	280	123	43,92
2024	290	105	36,21
2025	294	112	38,09
Итого	864	340	39,35

Примечание: составлена авторами по результатам гельминтологических исследований в 2023–2025 гг.

Таблица 2

Число больных акантоцефалезом амфибий
в южных регионах Узбекистана по сезонам

Год	Число больных акантоцефалезом амфибий по сезонам			
	Весной	Летом	Осенью	Зимой
2023	38	55	30	0
2024	27	54	24	0
2025	32	52	25	0
Итого	97	161	79	0

Примечание: составлена авторами по результатам гельминтологических исследований в 2023–2025 гг.

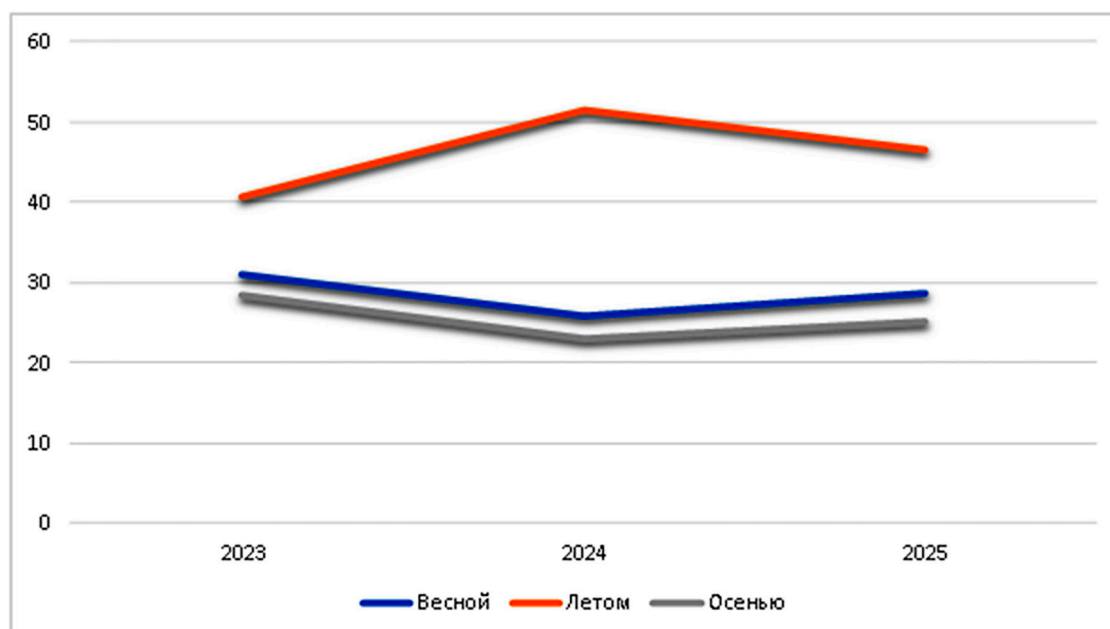


Рис. 2. Сезонная динамика заболеваемости акантоцефалезом
земноводных в южных регионах Узбекистана

Примечание: составлен авторами по результатам
гельминтологических исследований в 2023–2025 гг.

Заключение

У амфибий Южного Узбекистана выявлено паразитирование шести видов гельминтов, относящихся к типу *Acanthocephala* (Rudolphi, 1808): два класса, три порядка, четыре семейства, шесть родов. Кроме того, согласно результатам гельминтологических исследований, у амфибий семейства Ranidae обнаружено пять видов акантоцефал, а у амфибий семейства Bufonidae – три вида. Заражение амфибий акантоцефалами связано с биологией развития паразита. Промежуточным хозяином гельминта являются наземные ракообразные (Isopoda) и водные ракообразные (Amphipoda). Два вида гельминтов, относящихся к классу акантоцефал, являются специфичными для амфибий и были выявлены в зрелой стадии. Кроме того, амфибии выступают резервуарными хозяевами для четырех видов гельминтов, обнаруженных в личиночной стадии, участвуя в их цикле развития. В зрелой стадии паразиты поражают птиц и млекопитающих, вызывая различные акантоцефалезы.

Гельминты, выявленные у амфибий Южного Узбекистана, в зависимости от смешанных инвазивных характеристик заражения организма хозяина, разделены на две группы: бинвазивная фаунистическая группа – 4 вида и триинвазивная фаунистическая группа – 1 вид.

Акантоцефалез у амфибий Южного Узбекистана имеет четкую сезонную динамику и характеризуется пиками. Первый пик происходит летом, а к осени активность акантоцефал резко снижается. Второй, менее выраженный пик наблюдается с зимы до лета. С 2023 по 2025 г. экстенсивность акантоцефалеза у амфибий составила 38,09–43,92%. Полученные эпизоотологические данные соответствуют информации из научной литературы о других регионах, однако из-за глобального потепления в Центральной Азии в последние годы активность амфибий и их акантоцефал наблюдается поздней осенью, а иногда и зимой. Теперь акантоцефалез перестает быть строго сезонным. Это заболевание значительно влияет на плотность и численность популяции амфибий, создавая благоприятные условия для развития акантоцефал в результате глобального потепления.

Список литературы

1. Aliev Sh.T., Amirov O.O., Kuchboev A.E., Amael Borzee, Wang Muyang, Yo'ldoshxonov A.A., Donayeva Sh.A., Norqobilova R.D. Phylogenetic Relationships Classification of Bufotes pewzowi (Bedriaga, 1898) Inhabiting Near Aquatic Basins of Central and South Uzbekistan // Egyptian Journal of Aquatic Biology & Fisheries. Cairo, 2025. Vol. 29 (3) P. 1953–1966. DOI: 10.21608/ejabf.2025.432151.

2. Жумаев Ф.К., Шерназаров Э.Ш. Сезонная динамика численности амфибий и рептилий в закрепленных песках Карнабуля (Юго-Западный Кызылкум, Узбекистан) // Узбекский биологический журнал. 2020. № 2. С. 42–46. URL: <https://www.academy.uz/page/ozbekiston-biologiya-jurnali-arxivi> (дата обращения: 04.12.2025).
3. Dufresnes C., Mazepa G., Jablonski D., Caliar Oliveira R., Wenseleers T., Shabanov D.A., Auer M., Ernst R., Koch C., Ramirez-Chaves H.E., Patrick Mulder K., Simonov E., Tiutenko A., Kryvokhyzha D., Wennekes P.L., Zinenko O.I., Korshunov O.V., Al-Johany A.M., Peregontsev E.A., Masroor R., Betto-Colliard C., Denoel M., Borkin L.J., Skorinov D.V., Pasyukova R.A., Mazanaeva L.F., Rosanov J.M., Dubey S., Litvinchuk S. Fifteen shades of green: The evolution of Bufotes toads revisited // Molecular Phylogenetics and Evolution. 2019. 141. P. 1–25. DOI: 10.1016/j.ympev.2019.106615.
4. Litvinchuk S.N., Svinin A.O., Dujsebaeva T.N. Morphological differentiation between diploid and polyploid species of green toads (Anura: Bufonidae: Bufotes) in Central Asia // Bonn Zoological Bulletin. 2021. Vol. 70 (2). P. 361–371. DOI: 10.20363/BZB-2021.70.2.361.
5. Ualieva D., Ermakov O.A., Litvinchuk S.N., Guo X., Ivanov A.Yu., Xu R., Li J., Xu F., Arifulova I.I., Kaptyonkina A.G., Khromov V.A., Krainyuk V.N., Sarzhanov F., Dujsebaeva T.N. Diversity, Phylogenetic Relationships and Distribution of Marsh Frogs (the Pelophylax ridibundus complex) from Kazakhstan and Northwest China // Diversity. 2022. Vol. 14 (10). P. 1–17. DOI: 10.3390/d14100869.
6. Хохлова И.Г. Акантоцефалы наземных позвоночных фауны СССР. М.: Наука, 1986. С. 277. [Электронный ресурс]. URL: https://www.google.co.uz/books/edition/Акантоцефалы_наземны/5Mg5AAAAIAAJ?hl=ru&gbpv=0&bsq=inauthor:>Inna%20Grigor'evna%20Khokhlova (дата обращения: 02.10.2025).
7. Арепбаев И.М., Равшанова А.Р., Еркулов Ж.М., Акрамова Ф.Д., Шакарбоев У. А., Азимов Д.А. Эколого-фаунистические исследования гельминтов водно-болотных птиц Узбекистана // Теория и практика борьбы с паразитарными болезнями. 2023. № 24. С. 52–57. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/ekologo-faunisticheskie-issledovaniya-gelmintov-vodno-bolotnyh-ptits-uzbekistana> (дата обращения: 01.10.2025).
8. Lorenti E., Rodriguez S.M., Cremonte F., Elia G.D Life cycle of the parasite *Profilicollis chasmagnathi* (Acanthocephala) on the Patagonian coast of Argentina based on morphological and molecular data // Journal of Parasitology. 2018. Vol. 104. P. 479–485. DOI: 10.1645/17-134.
9. Доржиев Ц.З., Бадмаева Е.Н., Дугаров Ж.Н. Эколого-фаунистический анализ гельминтов водно-болотных птиц Байкальской Сибири: 1. Утиные Anatidae // Природа Внутренней Азии. Nature of Inner Asia. 2019. № 1 (10). С. 7–27. DOI: 10.18101/2542-0623-2019-1-7-27.
10. Zittel M., Grabner D., Wleclik A. Cryptic species and their utilization of indigenous and nonindigenous intermediate hosts in the acanthocephalan *Polymorphus minutus* Ssensu Lato (Polymorphidae) // Parasitology. 2018. Vol. 145 (11). P. 1421–1429. DOI: 10.1017/S0031182018000173.
11. Доржиев Ц.З., Бадмаева Е.Н., Дугаров Ж.Н. Гельминты водно-болотных птиц Байкальской Сибири: таксономическое разнообразие и распределение по хозяевам // Природа Внутренней Азии. 2021. № 1 (17). С. 23–65. DOI: 10.18101/2542-0623-2021-1-23-65.
12. Файзулин А.И., Зарипова Ф.Ф. Гельминты озерной лягушки *Pelophylax ridibundus* (Pallas, 1771) г. Салават (Республика Башкортостан) // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2017. № 2–1. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/gelminty-ozernoy-lyagushki-pelophylax-ridibundus-pallas-1771-g-salavat-respublika-bashkortostan> (дата обращения: 29.10.2025).
13. Чихляев И.В. Материалы к гельминтофауне зеленой жабы *Bufo viridis* (Laurenti, 1768) (Amphibia: Anura) в Самарской области // Самарская Лука: Проблемы региональной и глобальной экологии. 2014. № 2. С. 185–190. URL: <https://>

cyberleninka.ru/article/n/materialy-k-gelmintofaune-zelenoy-zhaby-b-ufo-viridis-laurenti-1768-amphibia-anura-v-samarskoy-oblasti (дата обращения: 29.10.2025).

14. Кукина М.М., Кукин В.В. Совместное паразитирование *Lateriporus teres* (Cestoda: Dilepididae) и *Polymorphus phippi* (Palaecanthocephala: Polymorphidae) в тонком кишечнике обыкновенной гаги // Российский паразитологический журнал. 2021. № 1. С. 32–41. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/sovmestnoe-parazitirovanie-lateriporus-teres-cestoda-dilepididae-i-polymorphus-phippi-palaecanthocephala-polymorphidae-v-tonkom> (дата обращения: 02.10.2025).

15. Великанов В.П. Роль земноводных и пресмыкающихся как промежуточных и резервуарных хозяев гельминтов в условиях Туркменской ССР // Изв. АН ТССР. Сер. биол. Наук. 1989. № 6. С. 43–49.

16. Vashetko E.V., Siddikov B.H. The Effect of the Ecology of Toads on the Distribution of Helminths // Tr. J. of Zoology. 1999. Vol. 23. P. 107–110. URL: <https://journals.tubitak.gov.tr/zoology/vol23/iss1/14> (дата обращения: 29.10.2025).

17. Кучбоев А.Э., Шакарбоев Э.Б., Кучарова И.Ш. Гельминты амфибий Узбекистана // Узбекский биологический журнал. 2002. № 1. С. 39–43. URL: <https://www.academy.uz/page/uzbekiston-biologiya-jurnali-arxiv> (дата обращения: 20.10.2025).

18. Икромов Э.Ф., Азимов Дж.А., Шакарбоев Э.Б. Структура и функционирование акантоцефалов позвоночных животных Узбекистана // Ферганский государственный университет, научный журнал. 2001. № 3 (4). С. 33–35. URL: <https://journal.fdu.uz/arxiv> (дата обращения: 29.10.2025).

19. Кириллов А.А., Кириллова Н.Ю., Евланов И.А. Паразиты рыб (Pisces) Самарской области. Сообщение 2. Platyhelminthes, Nematoda и Acanthocephala // Известия Самарского научного центра РАН. 2018. № 5 (4). С. 652–674.

URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/parazity-ryb-pisces-samarskoy-oblasti-soobshchenie-2-platyhelminthes-nematoda-i-acanthocephala> (дата обращения: 29.10.2025).

20. Москвин А.С. «Формула биологии развития»: Новая стилизованная категория представления основных параметров биологии и экологии гельминтов // Теория и практика борьбы с паразитарными болезнями. 2023. № 24. С. 312–318. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/formula-biologii-razvitiya-novaya-stilizovannaya-kategoriya-predstavleniya-osnovnyh-parametrov-biologii-i-ekologii-gelmintov> (дата обращения: 29.10.2025).

21. Shernazarov E.Sh., Jumaev F.K. Transformations of the herpetofauna of South-Western Kyzylkum (Uzbekistan) under the influence of technogenesis // Journal of E3S Web of Conferences. 2021. Vol. 264. P. 1–9.

22. Ikromov E.F., Akmuradova L.G., Ikromov E.E., Aliev Sh.T. Helminth Fauna Of Pevtsov's Toad *Bufo* (BEDRIAGA, 1898) In Uzbekistan // International scientific and practical conference "Modern trends in teaching natural sciences: practice and innovation". 2024. P. 296–297.

23. Ikromov E.E., Ikromov E.F., Yildirimhan H.S., Azimov D.J., Amirov O.O. Biodiversity of Helminths in genera of *Bufo* and *Pelophylax*, Uzbekistan // Biharean Biologist. 2023. Vol. 17 (1). P. 22–38. URL: https://www.researchgate.net/publication/373111350_Biodiversity_of_Helminths_in_genera_of_Bufo_and_Pelophylax_Uzbekistan (дата обращения: 01.10.2025).

24. Романова Е.М., Индирякова Т.А., Матвеева Е.А. Биотические взаимоотношения в паразитоценозах *Rana ridibunda* // Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. 2010. № 1 (11). С. 69–75. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/bioticheskie-vzaimootnosheniya-v-parazitotsenozah-rana-ridibunda/viewer> (дата обращения: 22.10.2025).

Конфликт интересов: Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest: The authors declare that there is no conflict of interest.

УДК 631.42.05(262.83)

ИЗМЕНЕНИЕ МОРФОЛОГИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ПОЧВЕННО-ГРУНТОВЫХ СЛОЕВ ВОСТОЧНОЙ ЧАСТИ ВЫСОХШЕГО ДНА АРАЛЬСКОГО МОРЯ, А ТАКЖЕ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ЕС, дС/м И pH

**¹Жаббаров З.А., ¹Махаммадиев С.К., ²Номозов У.М., ¹Имомов О.Н.,
¹Махкамova Д.Ю., ¹Абдуллаев Ш.З., ²Соатов Г.Т., ¹Абдукаримов Ж.Ж.**

*¹Национальный университет Узбекистана имени Мирзо Улугбека, Ташкент,
Республика Узбекистан, e-mail: shoxabullaev1996@gmail.com;*

*²Ташкентский филиал Самаркандского государственного университета ветеринарной
медицины, животноводства и биотехнологий, Ташкент, Республика Узбекистан*

Изменение климата и освоение больших земельных площадей в сельском хозяйстве, а также высыхание Аральского моря привели к значительным экологическим последствиям для Центральной Азии. Высохшая часть Аральского моря, занимающая более 3,0 млн га, вызывает серьезное экологическое повреждение из-за распространения песчаных и солевых частиц. В данной статье на основе исследований морфологических признаков почвы, сформированных в слоях восточной части высохшего дна Аральского моря, анализируются результаты исследования, а также влияние природных и антропогенных процессов на эти территории. На разрезах 2 и 6 на глубине 0–120 см, а также на разрезе 10 на глубине 0–138 см были выявлены морфологические характеристики почвы, проведен отбор почвенных проб. На разрезе 2 значения pH колебались от 6,9 до 7,3, а электропроводность (ЕС) варьировалась от 0,90 до 1,50 дС/м. На разрезе 6 значения pH составляли от 7,8 до 8,0, а ЕС – от 0,21 до 0,66 дС/м. На разрезе 10 pH колебался от 6,8 до 7,6, а ЕС находилась в пределах от 1,3 до 1,9 дС/м. В ходе исследований были изучены физико-химические свойства почвы, а также предложены рекомендации по посадке растений, адаптированных к данным условиям.

Ключевые слова: изменение климата, высохшее дно Аральского моря, разрезы почвы, морфологические признаки, показатель pH

MORPHOLOGICAL CHANGES AND PHYSICO-CHEMICAL PROPERTIES OF SOILS IN THE EASTERN PART OF THE DESICCATED ARAL SEA BED BASED ON EC, дС/м AND pH INDICATORS

**¹Zhabbarov Z.A., ¹Makhammadiev S.K., ²Nomozov U.M., Imomov O.N.,
¹Makhkamova D.Yu., ¹Abdullaev Sh.Z., ²Soatov G.T., ¹Abdulkarimov Zh.Zh.**

*¹National University of Uzbekistan, Tashkent, Republic of Uzbekistan,
e-mail: shoxabullaev1996@gmail.com;*

*²Samarkand State University of Veterinary Medicine, Animal Husbandry
and Biotechnology, Tashkent Branch, Tashkent, Republic of Uzbekistan*

Climate change and the development of vast land areas for agriculture, as well as the drying up of the Aral Sea, have led to significant environmental consequences for Central Asia. The dried-up part of the Aral Sea, covering more than 3.0 million hectares, causes serious environmental damage due to the spread of sand and salt particles. This article analyzes the results of a study based on research of the morphological features of soils formed in the layers of the eastern part of the dried-up Aral Sea bed, as well as the impact of natural and anthropogenic processes on these territories. Soil profiles were examined at sites 2 and 6 (to a depth of 0–120 cm) and site 10 (to a depth of 0–138 cm). Morphological features were described, and soil samples were collected for laboratory analysis. In profile 2, pH values ranged from 6.9 to 7.3, while electrical conductivity (EC) varied between 0.90 and 1.50 dS/m. In profile 6, pH values were recorded between 7.8 and 8.0, with EC ranging from 0.21 to 0.66 dS/m. Profile 10 showed pH values ranging from 6.8 to 7.6, and EC values between 1.3 and 1.9 dS/m. The study also assessed the physico-chemical properties of the soils and provided recommendations for planting vegetation species that are adapted to the prevailing environmental conditions.

Keywords: climate change, the dried-up bottom of the Aral Sea, soil profiles, morphological features, pH indicator

Введение

Высыхание Аральского моря началось в 1960-х гг., и, с учетом нынешнего состояния, за более чем 60 лет значительно сократилась площадь водоема, что представляет собой огромную экологическую катастрофу. За этот период невнимание к вопросу высыхания Аральского моря привело к увеличе-

нию площади опустынившихся земель в Центральной Азии, изменению климата, а также к распространению пыльных бурь, которые наносят вред окружающей среде. В ходе проводимых исследований изучались почвы на восточной части высохшего дна Аральского моря и были предложены виды растений, устойчивых к засоленности и засухе.

Когда-то бывшее четвертым по величине в мире, Аральское море в настоящее время подверглось сильному опустыниванию, и обширные участки его бывшего дна становятся источниками пыли и соли, загрязняющих атмосферу. В 1960-х гг. уровень воды в Аральском море был на высоком уровне. Освоение новых земель в сельском хозяйстве привело к сокращению поступления воды из рек Амударья и Сырдарья. Интенсивное использование воды для орошения сельскохозяйственных земель, а также повышение уровня испарения воды постепенно привели к высыханию Аральского моря. Повышение уровня солености воды привело к сокращению численности и разнообразия живых организмов, что вынудило 17 крупных рыболовецких предприятий прекратить свою деятельность. В статье рассматривается изучение формирования почвенных и грунтовых слоев на высохшем дне Аральского моря, а также морфологических признаков почвы с рекомендациями по посадке растений. Правильный выбор растений способствует увеличению зеленых насаждений, что, в свою очередь, эффективно борется с опустыниванием. Создание зеленых зон на высохшем дне Аральского моря поможет снизить уровень пылевых, солевых и песчаных бурь, уменьшить загрязнение окружающей среды, ускорить процесс формирования почвы, увеличить численность микро- и макроорганизмов, повысить биомассу и способствовать образованию гумуса.

Цель исследования – выявить морфологические особенности и изменения физико-химических свойств почвенно-грунтовых слоев восточной части высохшего дна Аральского моря, а также определить взаимосвязь между показателями ЕС (дС/м) и pH в процессе деградации земель.

Изменения в экосистемах, вызванные высыханием моря, оказывают крайне негативное влияние на устойчивость экосистем Центральной Азии. Особенно ощутимыми являются последствия сильного засоления почвы и частые песчаные бури в центральной части региона. В то же время в северной части Аральского моря, где уровень солености почвы ниже, растительность сохраняется на более высоком уровне. Огромные площади, покрытые песком и солью, вызывают проблемы с загрязнением воздуха и ухудшением здоровья людей. Поэтому ученые рекомендуют увеличить растительность в этом регионе, чтобы минимизировать воздействие песчаных бурь, улучшить удержание влаги в почве и восстановить экологическую стабильность [1].

Высыхание Аральского моря разрушает биологические системы, что приводит к значительным экологическим изменениям. Ожидается, что к 2025 г. экосистема Аральского моря может исчезнуть полностью, что будет иметь катастрофические последствия для окружающей среды [2, 3].

Высыхание Аральского моря оказывает негативное влияние на устойчивость экосистем Центральной Азии и данной территории в целом. Исследования показывают, что засоление почвы и пыльные бури, возникающие в результате высыхания, являются одной из самых очевидных экологических проблем. Особенно часто сильные пыльные бури и высокое засоление встречаются в центральной части бывшего Аральского моря. В то же время в нижнем течении Амударьи и на севере Аральского моря уровень солености ниже, а растительный покров сохраняется на более высоком уровне. В настоящее время экологические проблемы Аральского моря стали глобальными. Уровень воды в море был напрямую связан с разливами Амударьи и Сырдарьи в весенне-летний период [4].

Динамика изменения уровня воды в Аральском море в период с 1920 по 2020 г. показывает, что с 1920 по 1960 г. площадь водной поверхности увеличилась на 0,04 км², но после этого наблюдалось только сокращение. К 2020 г. площадь уменьшилась на 88% по сравнению с 1920 г. [5] (рис. 1).

В восточной части Аральского моря высыхание воды привело к превращению больших территорий в пустыню, известную как Оролкум, что ухудшило здоровье людей и нанесло ущерб сельскому хозяйству и экосистемам региона [6]. Изучение песчаных почв показало, что интенсивное испарение воды из грунтов приводит к накоплению солей и минералов в верхнем слое, что делает эти земли крайне засоленными. Уровень солености этих почв варьируется от 0,439 до 1,147%, с преобладанием хлоридно-сульфатных солей [7].

Исследования показывают, что для восстановления флоры на засоленных и заболоченных почвах вокруг высохшего Аральского моря важно учитывать годовые осадки, тип почвы, а также выбирать растения, устойчивые к солям и перепадам температур. Применение биопрепаратов, таких как Grunt malhami и Bionitrogen, положительно сказывается на росте растений. Также установлено, что метод выращивания растений в трубах является более эффективным, чем открытая посадка, так как он способствует лучшему удержанию влаги и снижает воздействие высоких температур и солнечного излучения [8].

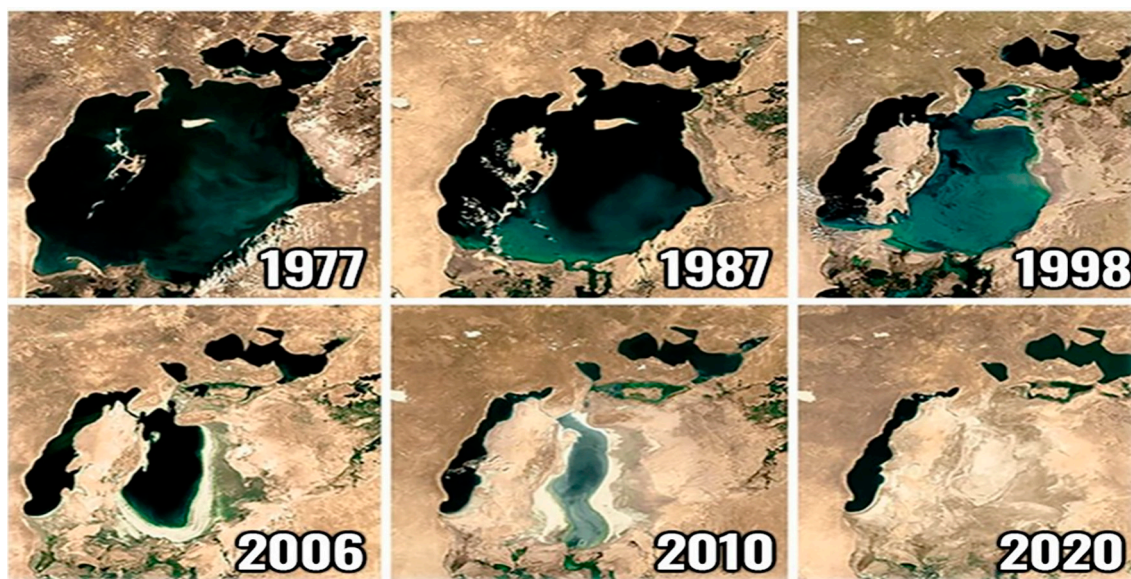


Рис. 1. Сокращение уровня воды в Аральском море в период с 1977 по 2020 г.
Примечание: составлен авторами на основе источника URL: <https://landsat.nasa.gov/>

Для оценки качества почвы и определения подходящих растений для высадки важна диагностика уровня засоленности и химических свойств почвы. Это позволяет эффективно управлять экосистемой и поддерживать нормальный рост растений [9, 10].

На высохшем дне Аральского моря для кормления скота рекомендуется высаживать растения, такие как терескен, бойалыч и кейреук, которые хорошо растут в засушливых условиях. Это приведет к увеличению площади пастбищ и позволит повысить численность скота на 20–30%. Таким образом, высохшее дно Аральского моря может стать важным источником корма для животноводства и откроет новые возможности для его развития [11]. Одной из крупнейших экологических катастроф современности является трагедия Аральского моря, которое оказывает прямое воздействие на устойчивое развитие региона, экологическое состояние, социально-экономическую ситуацию, а также здоровье и будущее населения. Проблемы, вызванные высыханием Аральского моря, оставили след в физическом развитии детей, ослабляя их физические характеристики [12, 13]. Основной причиной высыхания Аральского моря является сокращение поступления воды из Амударьи и Сырдарьи, используемой для орошения сельскохозяйственных земель, что привело к постепенному уменьшению объема воды в Аральском море [14].

Разрезы почвы в разных районах имели различные зерновые составы и морфоло-

гические признаки, что указывает на преобладание песчаных почв [15]. Кроме того, изменения в характеристиках почвы значительно влияют на растительность региона.

Аральское море, когда-то являвшееся важным компонентом экосистемы Центральной Азии, ныне стало объектом экологической катастрофы, утратив важнейшую роль в рыбной промышленности и водном транспорте [16, 17].

В связи с изменениями климата и ухудшением экосистемы региона необходимо поддерживать развитие зеленых территорий, а также реализацию мероприятий, направленных на восстановление экологии. Местное население должно ориентироваться не только на сельское хозяйство, но и развивать такие секторы, как туризм и экологически чистые отрасли [18–20].

Состав почвы в районе высохшего Аральского моря характеризуется низким содержанием гумуса и органических веществ, а почвы состоят в основном из солевых и глинистых остатков. Наряду с этим увеличивается концентрация токсичных элементов, таких как тяжелые металлы и микросоли, что негативно влияет на флору и фауну региона [21].

На сегодняшний день Аральское море трижды высыхало, и во время второго высыхания была попытка перекачки воды в Каспийское море через Узбой [22].

Социально-экономическое развитие региона, особенно в Узбекистане, зависит от решения экологических проблем Арала. Для решения этих проблем важно наладить

международное сотрудничество и привлекать внешние ресурсы для улучшения экологической ситуации в этом регионе [23].

Материалы и методы исследования

Исследуемая территория. Исследования проводились в соответствии с государственным стандартом GOST 17.4.3.01-83 для межгосударственных стандартов, с отбором почвенных образцов и проведением лабораторных исследований [24]. Исследуемая территория охватывает восточную часть высохшего Аральского моря, расположенную на юго-востоке Республики Казахстан и на юго-западе Республики Каракалпакстан. Территория исследования начинается от района Караозак и продолжается до государственной границы Республики Казахстан. Исследования проводились на площади, охватывающей участок высохшего морского дна протяженностью до 100 км. Изучены морфологические характеристики растительности и почвенных грунтов. Образцы почвы были отобраны из следующих профилей: 2-й профиль 43.437409°N / 60.179305°E, 6-й профиль 43.787157°N / 60.191236°E и 10-й профиль 43.932633°N / 60.254561°E (рис. 2). Исследования рассчитаны на три года: в первый год изучались почвы восточной части высохшего Аральского моря, во втором и третьем годах – почвы западной и южной частей.

Методы исследования. Полевые исследования почвенных грунтов и морфологических характеристик восточной части высохшего Аральского моря были проведены с 22 по 24 августа 2024 г. В рамках работы были пробурены три основных профильных участка: 2, 6 и 10, с отбором почвенных образцов из различных слоев. Каждый

образец был помещен в специальные бумажные пакеты с обозначением территории и номера профильного участка. В лаборатории при температуре 20–25 °C почва была высушена и просеяна через сито с ячейками 1 мм.

Для определения показателя pH почвы из каждого образца было отмерено 20 г. почвы с точностью до 0,001 г, после чего почва экстрагировалась с использованием дистиллированной воды в соотношении 5:1. Раствор выдерживался в течение 1 ч для встряхивания, затем фильтровался через специальную фильтровальную бумагу. Полученный раствор анализировался с использованием электронного pH-метра (pH-электроды Orion ROSS Ultra pH/ATC Triode Thermo).

Для определения электрической проводимости (ЕС) почвы был использован электрокондуктометрический метод. Изготовлен раствор почвы в соотношении 1:1 (почва : вода), который измерялся с использованием электрокондуктометра. Полученные данные проводимости умножались на коэффициент 3,5, что позволило получить точные показатели ЕС (табл. 1).

Для вычисления средней проводимости (ЕС) в каждом профиле результаты из всех слоев суммировались, после чего вычислялся средний показатель, который затем умножался на коэффициент 3,5 для получения итогового значения ЕС для каждого профиля.

На данный момент значительная часть акватории Аральского моря высохла. Исследования направлены не только на изучение физико-химических свойств грунтов высохшего моря, но и на выбор подходящих видов растений для восстановления экосистемы.

Таблица 1

Классификация электрической проводимости почвы согласно FAO [25]

Состояние растений (устойчивых к соли)	Уровень засоленности почвы	ЕС, дС/м
Растения растут и развиваются хорошо. Нет признаков солевых отложений	Не засоленные или очень слабо засоленные	0–0,2
Растения с легкими повреждениями от соли, признаки солевых отложений слабо выражены	Слабо засоленные	0,2–0,4
Растения с умеренными повреждениями от соли, солевые окраски заметны	Умеренно засоленные	0,4–0,8
Растения с сильными повреждениями от соли, полностью покрыты белыми пятнами солевых отложений	Сильно засоленные	0,8–1,0
Очень сильно поврежденные растения, отдельные экземпляры встречаются реже. Признаки солевых поражений на листьях и почках, или образуются соляные отложения (урожайность минимальна)	Очень сильно засоленные (Солончаковые почвы)	> 1,0

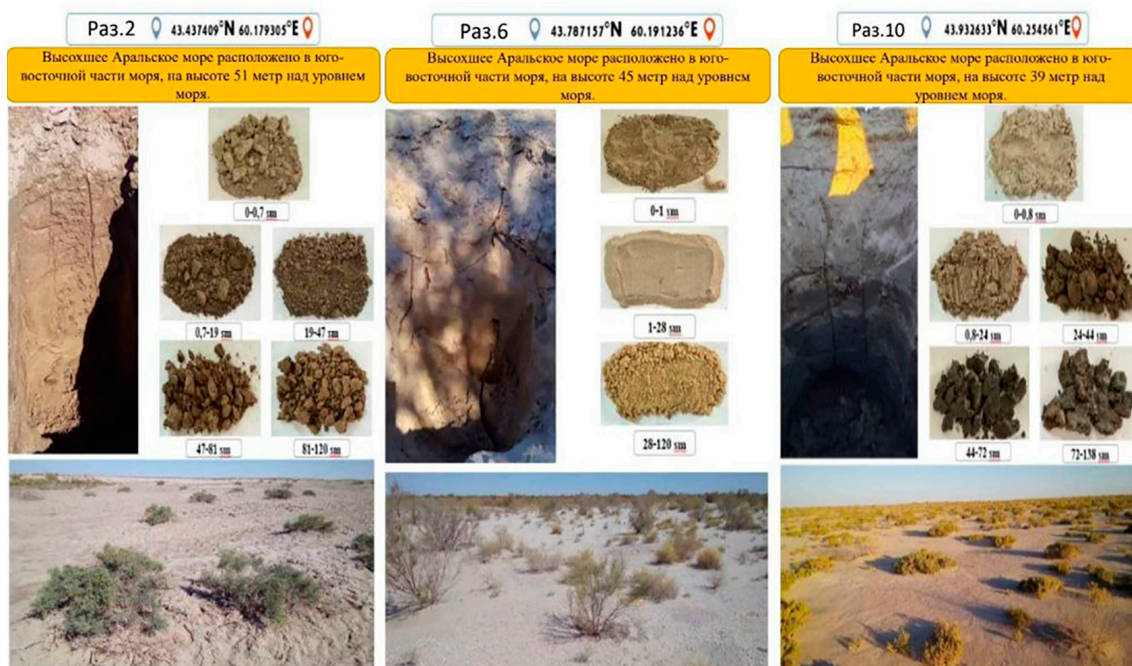


Рис. 2. Морфологическая характеристика почвенно-грунтовых слоев восточной части высохшего дна Аральского моря

Важно, что выбор растений должен способствовать предотвращению образования пыли и солевых отложений, что также снизит экологический ущерб от процесса засоления. Кроме того, увеличение биомассы в регионе способствует улучшению окружающей среды.

Восточная часть Аральского моря занимает значительную территорию и простирается на расстояние 230 км от точки входа до государственной границы соседней республики. Поскольку пути исследования в основном пролегают через песчаные и пустынные участки, для проведения работ требуются специализированные автотранспортные средства.

Результаты исследования и их обсуждение

Морфологические характеристики почвенных слоев. В восточной части высохшего дна Аральского моря на расстоянии 100 км от восточного входа было вскрыто 10 почвенных разрезов, 3 из них были выбраны как основные для дальнейших исследований. В ходе исследований были определены морфологические характеристики слоев почвы. Результаты представлены в табл. 2.

pH-показатели. Процесс распространения растительности в исследуемом районе зависит от pH почвы. В разрезе 2, на высоте 52 м над уровнем моря, наблюдаются

следующие особенности: растительность на исследуемых участках распространена неравномерно, с преобладанием редких растений, длина которых не превышает 1 м. Эти участки подвергаются сильной ветровой эрозии, что приводит к высокому уровню пылевых бурь и загрязнению окружающей среды соляными частицами. Этот район близок к восточной части высохшего дна Аральского моря, в непосредственной близости от зон проживания местных жителей.

В разрезе 2 pH варьирует от 6,9 до 7,3. Наибольшее значение pH (7,3) было зафиксировано как в верхнем, так и в нижнем слоях. Наименьший показатель pH был обнаружен в слое глубиной 0,7–19 см, где pH составил 6,9 (рис. 3).

В разрезе 6, на высоте 45 м над уровнем моря, растительность заметно отличается от предыдущего разреза: в этом районе наблюдается более высокая плотность растительности. Несмотря на редко встречающиеся саксаулов, однолетние растения хорошо развиты и встречаются на каждом метре площади. Повышенная плотность растительности способствует увеличению биомассы, что в свою очередь ведет к увеличению численности живых организмов, а также оказывает положительное влияние на окружающую среду, снижая воздействие пыли и солевых осадков, которые могут ухудшать экологическое состояние региона (рис. 4).

Таблица 2

Морфологические характеристики почвы исследуемого района [11]

Почвенный разрез	Глубина слоев, см	Морфологические характеристики почвы
Разрез 2	0–0,7	Песчаный, светло-серый, механический состав легкий песок, сухой, не увлажнен, редкие ракушечники, пылеобразная структура, не уплотнен
	0,7–19	Серовато-голубоватый, механический состав тяжелый песок, средне увлажненный, с пластичной и слоистой структурой, присутствуют белые кристаллы гипса, редкие ржавые пятна, корни растений и следы насекомых слабо выражены
	19–47	Светло-коричневый, механический состав тяжелый песок, с наличием средне увлажненных участков, пластичная структура, выраженные ржавые пятна, следы корней растений и насекомых мало выражены
	47–81	Светло-коричневый, механический состав средне песчаный, увлажненный, не уплотненный, с пластичной структурой, редкие ржавые пятна, корни растений редки, следов насекомых нет
	81–120	Светло-коричневый, механический состав легкий песок, средне увлажненный, с пылеобразной и пластичной структурой, редкие ржавые пятна, следы корней растений не обнаружены
Разрез 6	0–1	Песчаный, светло-серый, механический состав песок и мелкий песок, сухой, не увлажнен, много ракушечников, пылеобразная структура, корни растений распространены, не уплотнен
	1–28	Светло-серый, механический состав песок и мелкий песок, сухой, не увлажнен, много ракушечников, пылеобразная структура, корни растений и следы насекомых широко распространены
	28–120	Светло-желтый, механический состав песок и мелкий песок, сухой, не увлажнен, незначительное количество ракушечников, пылеобразная структура, следы корней и насекомых редки
Разрез 10	0–0,8	Песчаный, светло-серый, механический состав песок и мелкий песок, сухой, не увлажнен, множество ракушечников, пылеобразная структура, распространены корни растений, не уплотнен
	0,8–24	Светло-серый, механический состав песок и мелкий песок, с низким уровнем увлажненности, много ракушечников, пылеобразная структура, распространены корни растений и следы насекомых
	24–44	Светло-коричневый, механический состав средне песчаный, влагосодержание повышенное, уплотненный, пластичная структура, множество ржавых пятен, следы корней и насекомых мало выражены
	44–72	Темно-синий, механический состав песок, сильное увлажнение, слабое уплотнение, множество ржавых и окисленных пятен, корни растений слабо выражены
	72–138	Темно-синий, грязно-зеленый, механический состав легкий песок, сильно увлажнен, слабое уплотнение, выраженные ржавые и окисленные пятна, следы корней и насекомых не обнаружены

Специалисты утверждают о невозможности восстановления уровня воды в Аральском море в ближайшем будущем, создание растительности на высохшем дне моря с целью озеленения и увеличения биомассы будет способствовать улучшению условий для существования микро- и макроорганизмов и животных. Это также приведет к улучшению экологической ситуации в регионе, способствуя восстановлению экосистемы.

В разрезе 6 pH варьирует в пределах 7,8–8,0. Наивысшее значение pH (8,0) было зафиксировано в верхнем слое 0–1 см, в то время как в оставшихся слоях до 120 см pH оставался постоянным на уровне 7,8.

В разрезе 10, на высоте 39 м над уровнем моря, территория вокруг разреза была

покрыта растительностью очень хорошо. Одиночные растения занимают каждый метр площади, но их высота варьируется от 0,50 до 0,60 см, а в некоторых местах может быть даже ниже. Растительность в основном представлена саксаулом. В слое 0–24 см почвы преобладает песок, после чего идет водянистая (болотистая) почва с ржавыми пятнами. Увлажнение почвы и увеличение плотности грунта в слоях с присутствием глинистой (болотистой) почвы могут создать анаэробные условия, что может повлиять на рост растений, ограничивая их высоту. Более точные данные по этому поводу могут быть получены в результате лабораторных анализов собранных образцов почвы (рис. 5).

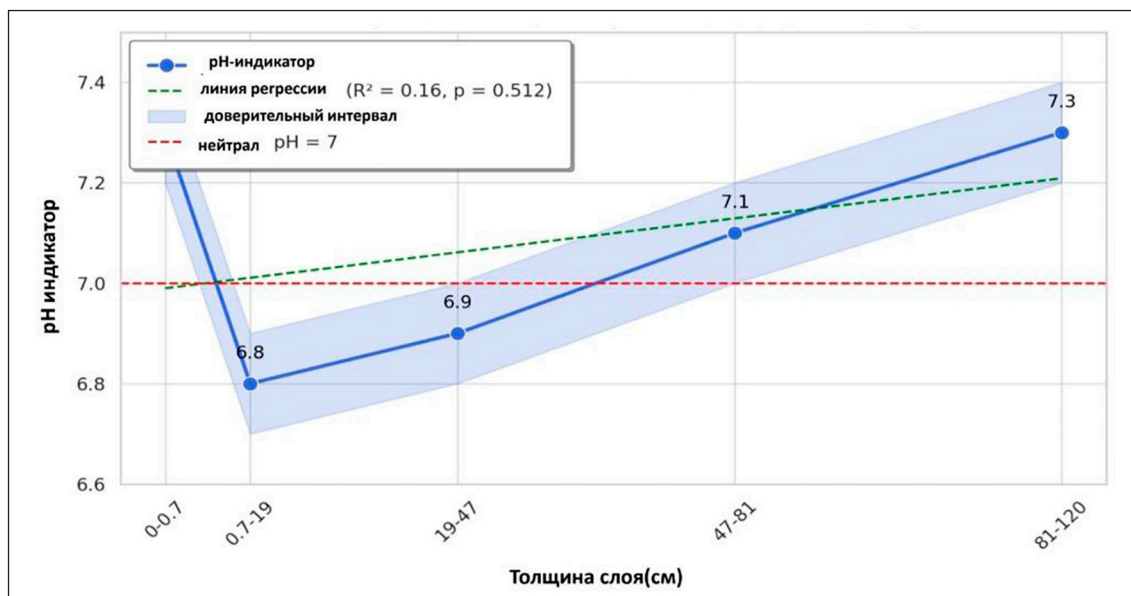


Рис. 3. Разрез 2. Толщина слоя против показателя pH (с регрессией)

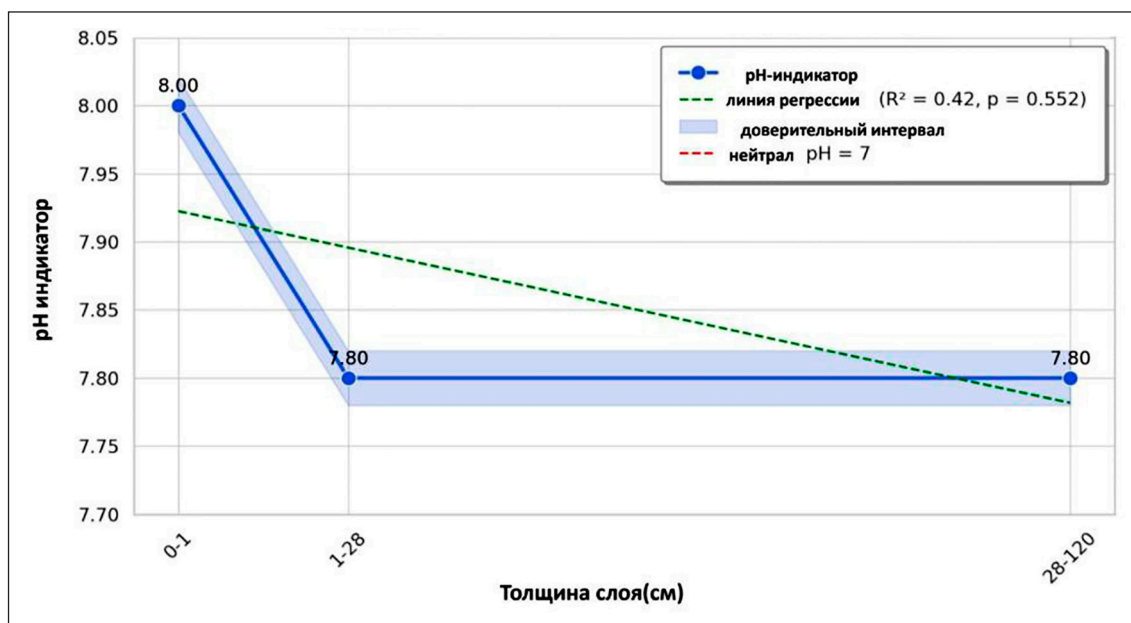


Рис. 4. Разрез 6. Толщина слоя против показателя pH (с регрессией)

В разрезе 10 pH варьирует от 6,8 до 7,6. Наивысший показатель pH (7,6) был зафиксирован в верхнем слое 0–0,8 см, а минимальный показатель (6,8) – в слое 24–44 см.

При исследовании растительности и фауны на территории, где были добыты образцы почвы, было установлено, что растительность в восточной части Аральского моря развивается слабо, с высотой растений не превышающей 1 м. В других местах, например в разрезе 10, растительность была значительно более развитой, с высотой рас-

тений от 50 до 60 см. Этот факт может быть связан с лучшими условиями для роста, включая более высокое содержание воды и благоприятные почвенные характеристики.

Разнообразие животных, таких как черви, муравьи и другие насекомые, также проявляется в зависимости от состояния растительности. В районах с хорошим покровом растительности наблюдается значительно большее количество живых существ, что указывает на благоприятные условия для экосистемы в целом.

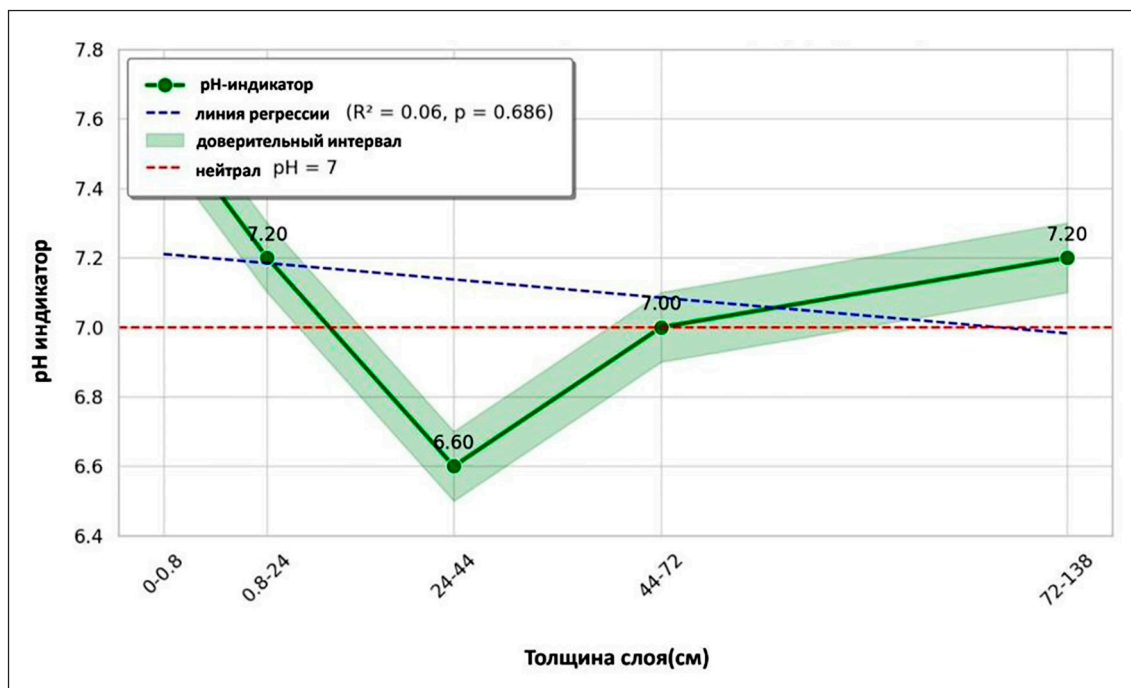


Рис. 5. Разрез 10. Толщина слоя против показателя pH (с регрессией)

Таблица 3

Электропроводность почв средняя, EC, dS/m [11]

Почвенный разрез	Глубина слоев, см	EC, dS/m	Средняя, EC, dS/m	
Разрез 2	0–0,7	1,0	x3,5	3,84
	0,7–19	1,50		
	19–47	1,37		
	47–81	0,90		
	81–120	0,91		
Разрез 6	0–1	0,66	x3,5	1,35
	1–28	0,21		
	28–120	0,40		
Разрез 10	0–0,8	1,6	x3,5	5,32
	0,8–24	1,3		
	24–44	1,9		
	44–72	1,8		
	72–138	1,0		

Электропроводность почвы (EC). Развитие растений и существование микроорганизмов в почве напрямую зависят от уровня электропроводности почвы. Повышение уровня электропроводности может негативно сказаться на биологических свойствах почвы, что ведет к снижению активности живых существ и даже к их исчезновению. В ходе исследования были получены следующие результаты относительно уровней электропроводности почвы (табл. 3).

Для определения средней электропроводности в разрезах используется следующая формула:

$$A = \frac{B_1 + \dots + B_n}{C} \times 3,5$$

где A – средняя электропроводность (EC) в dS/m,

B – результаты измерений,

C – количество измерений.

Электрическая проводимость почвы оказывает прямое влияние на рост и развитие растений, а также на активность микроорганизмов. Увеличение ЕС может негативно сказаться на биологических характеристиках почвы, снижая активность живых организмов и даже приводя к их гибели. В ходе исследования были получены следующие результаты (табл. 3).

Разрез 2. В слоях почвы электрическая проводимость колебалась в пределах 0,90–1,50 дС/м, при этом на слое 0,7–19 см было зафиксировано максимальное значение 1,50 дС/м. Минимальное значение ЕС 0,90 дС/м было обнаружено в слое 47–81 см. Среднее значение ЕС для этого разреза составило 3,84 дС/м.

Разрез 6. В отличие от разреза 2, электрическая проводимость в этом разрезе была ниже, варьируя в пределах 0,21–0,66 дС/м. На поверхности, в слое 0–1 см, ЕС составляла 0,66 дС/м, в то время как в слое 1–28 см было зафиксировано минимальное значение 0,21 дС/м. Среднее значение ЕС для этого разреза составило 1,35 дС/м.

Разрез 10. Этот разрез показал более высокие результаты по сравнению с двумя предыдущими, с диапазоном ЕС от 1,3 до 1,9 дС/м. В этом разрезе распределение ЕС не было равномерным: максимальные значения были зафиксированы в слое 24–44 см, в то время как минимальные значения, равные 1,3 дС/м, наблюдались в слое 0,8–24 см. Среднее значение ЕС для этого разреза составило 5,32 дС/м.

Каждый из разрезов почвы был взят на различных высотах над уровнем моря, что также влияет на растительность и животный мир, которые здесь обитают. В Восточной части высохшего Арала наблюдается различие в растительности в зависимости от расстояния от Арала. На входе в Арал растительность была более разнообразной, чем в его внутренних частях, где количество растений было меньше, а число раковин – очень низким. Песчаные барханы, несмотря на значительное количество растительности в прибрежной зоне, не наблюдались на входе в Арал, но спустя 15–20 км вглубь начали появляться песчаные барханы, их количество увеличивалось по мере продвижения внутрь. Растительность была распределена неравномерно: по сравнению с растительностью в прибрежной зоне, на расстоянии 45 км от входа в Арал наблюдалось более высокое количество растительности с большим ростом. В этом регионе стабильно развиваются растения саксаула, которые в количественном плане преобладают в данном районе, их высота достигает 3–5 м.

Заключение

Физико-химические и биологические свойства почвы, распространение природной растительности, степени растительного покрова и воздействия климатических факторов были исследованы совместно. На основе проведенного анализа был сделан вывод, что правильный выбор растений и их выращивание в этих условиях может привести к хорошим результатам. Исследование морфологических характеристик почвы в разрезах Восточного Арала позволяет выделить ключевые закономерности, которые необходимы для выбора подходящих растений и их успешного выращивания. Разрез 2 и разрез 6 имеют глубину до 120 см, в то время как в глубина разреза 10 достигает 138 см. В этих разрезах были определены морфологические признаки почвы, а также взяты образцы почвы. В разрезе 2 pH варьировался от 6,9 до 7,3, ЕС – от 0,90 до 1,50 дС/м, в разрезе 6 pH – от 7,8 до 8,0, ЕС – от 0,21 до 0,66 дС/м, а в разрезе 10 pH – от 6,8 до 7,6, ЕС – от 1,3 до 1,9 дС/м.

Восстановление высохшего дна Арала будет способствовать улучшению условий для живых организмов, сохранению влаги в почве, минимизации воздействия песчаных и солевых частиц на окружающую среду, улучшению свойств почвы, росту биомассы и органических веществ, а также образованию гумуса.

В ходе дальнейших исследований высохшего дна Арала рекомендуется создание специальных полигонов для автомобильных дорог, зон отдыха и систематизация артезианских подземных вод. Это обеспечит удобство для исследователей и улучшит условия для проведения исследований. В рамках этих исследований будут рассмотрены природные растения, характеристики почвы и климатические условия региона, что позволит выбрать наиболее подходящие виды растений и разработать нормы их посадки.

Список литературы

1. An J., Chang H., Han S.H., Khamzina A., Son Y. Changes in basic soil properties and enzyme activities along an afforestation series on the dry Aral Sea Bed, Kazakhstan // Forest Science and Technology. 2020. Vol. 16. Is. 1. P. 26–31. DOI: 10.1080/21580103.2019.1705401.
2. Archana Gupta. Shrinking of Aral Sea: An Environmental Disaster in Central Asia [Электронный ресурс] // International Journal of Humanities, Arts and Social Sciences. 2020. Vol. 6. Is. 4. P. 162–170. DOI: 10.20469/ijhss.6.20003-4.
3. Bakirov N.Z., Novitskiy Z.B., Khamzaev A.K. Methods of creating various forest plantations on the dried-up bottom of the Aral Sea // Contemporary Problems of Ecology. 2022. Vol. 15. Is. 7. P. 799–805. DOI: 10.1134/S1995425522070046.
4. Bao A., Yu T., Xu W., Lei J., Jiapaer G., Chen X., Kamalatin I. Ecological problems and ecological restoration zon-

- ing of the Aral Sea // Journal of Arid Land. 2024. Vol. 16. Is. 3. P. 315–330. DOI: 10.1007/s40333-024-0055-6.
5. Duan Z., Afzal M.M., Liu X., Chen S., Du R., Zhao B., Awais M. Effects of climate change and human activities on environment and area variations of the Aral Sea in Central Asia // International Journal of Environmental Science and Technology. 2024. Vol. 21. Is. 2. P. 1715–1728. DOI: 10.1007/s13762-023-05072-8.
6. Егамбердийев Ж.А., Каландаров Н.Н., Абдурахмонов Н.Ю. Characteristics of residual marine automorphic salt marshes (On the example of the dried-up bottom of the Aral Sea) // International Scientific Journal Science and Innovation. 2024. Vol. 21. Is. 3. P. 534–538. DOI: 10.5281/zenodo.10935309.
7. Ismonov A., Dusaliev A., Kalandarov N., Mamajanova U., Kattaeva G. Profile of desert sandy soils formed in the Aral Sea dried-up seabed // E3S Web of Conferences. 2024. Vol. 486. P. 04010. DOI: 10.1051/e3sconf/202448604010.
8. Jabbarov Z., Abdrakhmanov T., Tashkuziev M., Abdurakhmonov N., Makhmadiyev S., Fayzullaev O., Nomozov U., Kenjaev Yu., Abdullaev Sh., Yagmurova D., Abdushukurova Z., Iskhakova Sh., Kováčik P. Cultivation of plants based on new technologies in the dry soil of the Aral Sea // E3S Web of Conferences. 2024. Vol. 497. P. 03008. DOI: 10.1051/e3sconf/202449703008.
9. Jabbarov Z., Abdrakhmonov T., Sultonova N., Abdullaev Sh., Nomozov U., Kabelkova I., Smutka L. Soil contamination and changes in some properties of the soils scattered around the Almalyk mining and metallurgical combine // E3S Web of Conferences. 2024. Vol. 508. P. 07001. DOI: 10.1051/e3sconf/202450807001.
10. Jin Q., Wei J., Yang Z.L., Lin P. Irrigation-Induced Environmental Changes around the Aral Sea: An Integrated View from Multiple Satellite Observations // Remote Sensing. 2017. Vol. 9. Is. 9. P. 900. DOI: 10.3390/rs9090900.
11. Jabbarov Z.A., Imomov O.N., Nomozov U.M. Effect of Melioration Drug on Chemical Degradation of Soils // International Journal of Biological Engineering and Agriculture. 2023. Vol. 2. № 10. P. 3–5. URL: <https://inter-publishing.com/index.php/IJBEA> (дата обращения: 15.10.2025).
12. Loodin N. Aral Sea: an environmental disaster in twentieth century in Central Asia // Modeling Earth Systems and Environment. 2020. Vol. 6. Is. 4. P. 2495–2503.
13. Makhmudova S., Pulatova S. The problem of the Aral Sea drying up and its impact on the physical development of children in the Republic of Uzbekistan // E3S Web of Conferences. 2024. Vol. 486. P. 04017. DOI: 10.1051/e3sconf/202448604017.
14. Matkholikov K., Xudayorov A. Environmental tragedy of Central Asia: The Aral Sea problem // E3S Web of Conferences. 2023. Vol. 462. P. 03021. DOI: 10.1051/e3sconf/202346203021.
15. Matsui K., Watanabe T., Kussainova M., Funakawa S. Soil properties that determine the mortality and growth of *Haloxylon aphyllum* in the Aral region, Kazakhstan // Arid Land Research and Management. 2019. Vol. 33. Is. 1. P. 37–54. DOI: 10.1080/15324982.2018.1496187.
16. Micklin P., Aladin N.V., Chida T., Boroffka N., Plotnikov I.S., Krivonogov S., White K. The Aral Sea: A story of devastation and partial recovery of a large Lake // Large Asian Lakes in a Changing World: Natural State and Human Impact. 2020. P. 109–141. DOI: 10.1007/978-3-030-42254-7_4.
17. Makhmadiyev S., Jabbarov Z., Kenjaev Y., Kasimov U., Rakhmatov Z., Makhkamova D., Imomov O. Effect of mineral fertilizers on yield and grain quality of winter wheat in the conditions of foothill plains // E3S Web of Conferences. 2024. Vol. 563. P. 03056. DOI: 10.1051/e3sconf/202456303056.
18. Novitskiy Z., Khamzaev A., Bakirov N., Atadjanova G., Abdulkadirova M., Tasheva U. Study on desert agrophytocenoses on the drained bottom of the Aral Sea // E3S Web of Conferences. 2023. Vol. 377. P. 03007. DOI: 10.1051/e3sconf/202337703007.
19. Ramazonov B., Mutalov K., Egamberdiyeva L., Atabayeva D., Abdurashitova Ye., Allanazarova I. Growing salt-resistant flora under natural conditions of the Kyzylkum desert and arid bed of Aral Sea, Uzbekistan // Sabrao Journal of Breeding & Genetics. 2024. Vol. 56. Is. 5. P. 1895–1906. DOI: 10.54910/sabrao2024.56.5.13.
20. Saidmamatov O., Sobirov Y., Marty P., Ruzmetov D., Berdiyev T., Karimov J., Ibadullaev E., Matyakubov U., Day J. Nexus between Life Expectancy, CO2 Emissions, Economic Development, Water, and Agriculture in Aral Sea Basin: Empirical Assessment // Sustainability. 2024. Vol. 16. Is. 7. P. 2647. DOI: 10.3390/su16072647.
21. Simonovicova A., Pauditsova E., Nosaj S., Oteuliev M., Klitsincova N., Maisto F., Krakova L., Pavlovich J., Soltis K., Pangallo D. Fungal and Prokaryotic Communities in Soil Samples of the Aral Sea Dry Bottom in Uzbekistan // Soil Systems. 2024. Vol. 8. Is. 2. P. 1–19. DOI: 10.3390/soilsystems8020058.
22. Суннатгуллаева С.А., Абдураимова Ў.А., Каримова Ф.С. Орол фожиаси келиб чиқиш сабаблари // International Scientific Conference “Effectiveness of Using Innovative Technologies in Agriculture and Water Management”. 2024. Vol. 1. Is. 3. P. 709–712. URL: <https://uz-conference.com> (дата обращения: 15.10.2025).
23. Туйгунова Н. Оролбўйи минтақасини ижтимоий-иқтисодий ривожлантиришда халқаро ҳамкорлик // География: Природа и общество. 2020. Vol. 1. Is. 3. P. 63–66. DOI: 10.26739/2181-0834-2020-3-9.
24. ГОСТ 17.4.3.01–83. Охрана природы. Почвы. Общие требования к отбору зонда. М.: Стандарты информ, 2004. 6 с.
25. Қўзиев Р.Қ., Ахмедов А.У., Рўзметов М.И., Омонов А.С., Жабборов О.А., Парпиев Ф.Т., Турдалиев Ж.М. Методические указания по картографированию орошаемых земель, учету засоленных почв и определению норм выщелачивания солей. Ташкент, 2015. 33 с.

Конфликт интересов: Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest: The authors declare that there is no conflict of interest.

Финансирование: Статья была выполнена в рамках проекта FL-8323102111 на тему «Создание научной основы для группировки участков для посадки растений в зависимости от состояния засоленности, физических, химических и биологических свойств почв, распространенных на высохшем дне Аральского моря».

Financing: The article was completed within the framework of project FL-8323102111 on the topic “Creating a scientific basis for grouping areas for planting plants depending on the state of salinity, physical, chemical and biological properties of soils common on the dried bottom of the Aral Sea”.

УДК 581.52(470.11)

МОНИТОРИНГ СОСТОЯНИЯ ПОПУЛЯЦИИ *NYMPHOIDES PELTATA* (S.G. GMEL.) O. KUNTZE В АРХАНГЕЛЬСКОЙ ОБЛАСТИ

Марковская Е.Ф., Дьячкова Т.Ю.,
Морозова К.В. ORCID ID 0000-0001-6655-5197

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Петрозаводский государственный университет», Петрозаводск, Российская Федерация,
e-mail: mkv25@bk.ru

Nymphoides peltata (S.G. Gmel.) O. Kuntze (болотноцветник щитовидный) – редкий вид, включенный в Красную книгу Архангельской области. Биология этого вида, структура и состояние его популяций в Архангельской области не изучались, что и определяло актуальность данного исследования. Цель исследования – мониторинг состояния популяции *Nymphoides peltata* на левом берегу р. Северная Двина. В месте проведения мониторинга впервые вид был обнаружен в 2014 г. у левого берега реки в д. Анфимовская. Повторные наблюдения были проведены в 2017 и 2025 гг. Анализ динамики состояния популяции в данных условиях произрастания показал заметное снижение жизнеспособности популяции в 2025 г. Так, выявлено снижение почти в 2 раза численности популяции, занимаемой ею площади и проективного покрытия листьев. В последние годы отмечалось резкое сокращение уровня воды и русла реки в связи с очень теплым летним периодом. В месте произрастания *Nymphoides peltata* отмечено увеличение фрагментов песчаных отмелей и активное зарастание берегов наземными видами растений. В настоящее время сохранение популяции данного вида связано только с более глубокой протокой реки у левого берега. Такие природные изменения условий произрастания *Nymphoides peltata* в данном месте являются угрозой для его дальнейшего существования здесь.

Ключевые слова: *Nymphoides peltata*, редкий вид, Архангельская область, мониторинг

MONITORING THE POPULATION STATUS OF *NYMPHOIDES PELTATA* (S.G. GMEL.) O. KUNTZE IN THE ARKHANGELSK REGION

Markovskaya E.F., Dyachkova T.Yu.,
Morozova K.V. ORCID ID 0000-0001-6655-5197

Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education
“Petrozavodsk State University”, Petrozavodsk, Russian Federation,
e-mail: mkv25@bk.ru

Nymphoides peltata (S. G. Gmel.) O. Kuntze is a rare species included in the Red Data Book of the Arkhangelsk Region. The biology of this species, the structure and condition of its populations in the Arkhangelsk region have not been studied, which determined the relevance of this research. The aim of the study was to monitor the state of the *Nymphoides peltata* population on the left bank of the Severnaya Dvina River. The species was found for the first time at the monitoring site in 2014 near the left bank of the River in the village of Anfimovskaya. Repeated observations were carried out in 2017 and 2025. An analysis of the dynamics of the population in these growing conditions showed a noticeable decrease in the vitality of the population in 2025. Thus, a decrease of almost 2 times in the population size, the area occupied by it, and the projective leaf cover were revealed. In recent years, there has been a sharp decrease in the water level and riverbed due to the very warm summer period. An increase in fragments of sandbanks and active overgrowth of the shores by terrestrial plant species was noted at the site of *Nymphoides peltata* growth. Currently, the conservation of the population of this species is associated only with a deeper channel of the River on the left bank. Such natural changes in the growing conditions of *Nymphoides peltata* in this place are a threat to its continued existence here.

Keywords: *Nymphoides peltata*, rare species, Arkhangelsk region, monitoring

Введение

Nymphoides peltata (S.G. Gmel.) O. Kuntze – многолетнее травянистое растение из семейства Menyanthaceae (Вахтовые). Укореняющийся корневищный гидрофит с ползучими подводными побегами с вегетативными и генеративными почками. Листья плавающие, простые, длинночерешковые, округлой или яйцевидной формы, диаметром 3–10 см. Цветки с ярко-желтым венчиком размером 2–5 см в диаметре, со-

браны в немногочетковые (чаще по три) зонтиковидные пучки, выступают на поверхность и открываются последовательно. Плод – коробочка [1, с. 338].

N. peltata предпочитает медленно текущие речные заводи и эвтрофные водоемы со стоячей водой повышенной щелочности на глубине менее 3 м, при этом известны места произрастания и в условиях слабой кислотности, а также на болотах в анаэробных условиях [2, с. 6; 3; 4]. В течение ве-

гетационного периода растения этого вида способны покрыть большую площадь водной поверхности (до 430 км²), оказывая негативное воздействие на рост и развитие других видов растений, а также на виды животных [2, с. 3; 3]. По данным ряда исследователей [5], в настоящее время из-за потепления климата *N. peltata* стал вести себя более агрессивно, активно размножаясь не только вегетативно с помощью корневищ и столонов, но и семенами.

N. peltata – плюризональный циркумполярный вид, широко распространенный в умеренной зоне северного полушария. Ареал вида охватывает Северную Америку, Новую Зеландию и большую часть Евразии (Европа, Малая и Средняя Азия, Иран, Монголия, Китай, Корея, Япония, Кавказ, Сибирь, Дальний Восток и др.) [5–7]. Согласно данным генетического анализа *N. peltata* завезен в Северную Америку в конце XIX в. из Европы как декоративное и случайно заносное растение, произрастающее изолированными, но широко распространенными популяциями [8]. В Новую Зеландию этот вид был занесен относительно недавно, так как впервые обнаружен в 1988 г. [2, с. 3]. Имеются сведения и о произрастании вида в субтропическом поясе. Так, в Африке первая находка *N. peltata* зарегистрирована в первой половине XXI в., и предполагается, что это интродуцированный и активно дичающий вид, который в последние годы не культивируется из-за агрессивного расселения [9].

В южной и юго-западной части России вид считается аборигенным, а в средней и северной частях это колонофит и ксенофит, случайно занесенный на новую для него территорию вид, способный десятилетиями удерживаться в местах заноса [5]. На территории северо-востока европейской части России встречается в основном по р. Северная Двина, отмечен в верхнем и нижнем течении Вычегды [10, с. 64]. В Архангельской области *N. peltata* впервые найден Н.И. Кузнецовым в 1886 г. в старом русле Северной Двины (севернее 63°). По мнению этого исследователя, в бассейн реки этот вид попал, вероятно, из бассейна р. Волги через Екатерининский канал. Река Северная Двина – важнейший транспортный путь для перевозки грузов и сырьевых ресурсов, что способствует непреднамеренному заносу, дальнейшему самостоятельному распространению прибрежных и водных видов растений из других регионов. Исследования, проведенные в 1930-е и 1970-е гг., а также в начале XXI в., подтверждают распространение *N. peltata* по реке от устья до г. Котласа [5; 11, с. 158].

Данный вид является редким с природоохранным статусом и включен в Красные книги различных регионов Российской Федерации [3; 4]. В Красную книгу Архангельской области включен с категорией охраны 4 – *неопределенный по современному состоянию и категории* [1, с. 338]. Биология *N. peltata*, структура и состояние его популяций в Архангельской области не изучались, что определило актуальность данных исследований более 10 лет назад. Ранее авторами были изучены морфолого-анатомические особенности надземных и подземных вегетативных органов растений, эколого-физиологические параметры листьев, структура популяции *N. peltata* и начат мониторинг ее состояния [12–14].

Цель исследования – мониторинг состояния популяции *N. peltata* на левом берегу р. Северная Двина.

Материалы и методы исследования

В августе 2014 г. на левом берегу р. Северная Двина в Верхнетоемском муниципальном округе в д. Анфимовская (62°02'10" с. ш., 45°04'37" в. д.) (рис. 1) была обнаружена популяция *N. peltata* в небольшой заводи глубиной от 30 до 70 см основного русла реки (рис. 2).

Место произрастания вида – водная протока шириной около 10–15 м. Между протокой и основным руслом реки, около левого берега, имеются большие выходы песка и другие протоки. Все пески в разной степени, но зарастают, и это зависит от времени их намыва. На более «старых» песчаных отмелях заросли разных видов ив (*Salix acutifolia* Willd., *S. alba* L., *S. caprea* L., *S. viminalis* L.), высота которых достигает до 3 м. В сообществе с небольшим обилием отмечены также *Sparganium emersum* Rehm., *Alisma plantago-aquatica* L., *Hippuris vulgaris* L., *Carex acuta* L., *C. cespitosa* L., *Eleocharis palustris* (L.) Roem & Schult., *Rorippa amphibia* (L.) Bess., *Agrostis stolonifera* L., *Glyceria fluitans* (L.) R. Br.

Популяция полночленная, с выраженным вегетативным самовозобновлением за счет ежегодно развивающихся столонов. В годы проведения наблюдений (2014, 2017 и 2025 гг.) отмечено обильное цветение растений (до 400–500 цветков) вплоть до начала сентября.

Результаты исследования и их обсуждение

Популяция *N. peltata* располагается вплотную к береговой линии. В 2014 г. водная площадь, занимаемая популяцией, составляла около 20 м² [12].



Рис. 1. Местонахождение ценопопуляции *Nymphoides peltata*
(д. Акимовская, Архангельская область, Россия)
Примечание: карта составлена М.А. Шредерс

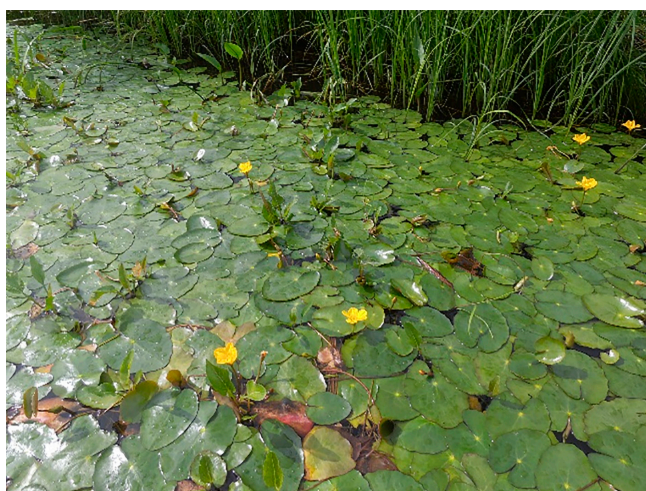


Рис. 2. Популяция *Nymphoides peltata* у берега р. Северная Двина
Примечание: фотография выполнена авторами

Проективное покрытие плавающих листьев в данном водоеме было почти 50%, местами доходило до 80% от площади водоема. В 2017 г. занимаемая популяцией площадь уже составляла около 40 м², проективное покрытие листьев местами доходило до 100% с явным большим перекрытием листовых пластинок. При продвижении популяции по течению реки ее площадь увеличивалась, при этом освоение видом водной поверхности осуществлялось за счет повышения плотности листьев растений [13].

В августе 2025 г. (через 8 лет) отмечены изменения в состоянии изучаемой популяции *N. peltata* в сторону снижения ее численности и, соответственно, занимаемой ею площади до 25 м², проективное покрытие листьев уже составило около 60%. В связи с этим полученные результаты проведенного в настоящее время наблюдения вызывают некоторое беспокойство по поводу дальнейшего существования вида в данном месте.

Одним из факторов, способствующих распространению как аборигенных, так и адвентивных видов растений по Северной Двине, является медленное течение, широкое и извилистое русло реки, сложенное песчаными и илистыми отложениями,

относительно легко размываемыми течением, что характерно для всех равнинных рек. Вероятно, *N. peltata* в данном биотопе также начал произрастать благодаря этим факторам. За более чем 10 лет существования была зафиксирована положительная динамика в сторону увеличения численности популяции в 2017 г. и отрицательная динамика в сторону ее уменьшения в 2025 г. В последние несколько лет (3–4 года) в летне-осеннее время отмечалось резкое сокращение уровня воды и русла реки. В месте произрастания *N. peltata* отмечено увеличение фрагментов песчаных отмелей (рис. 3).

В настоящее время сохранение популяции связано только с более глубокой протокой реки у левого берега. Однако фактор обмеления реки и, как следствие, активное зарастание берегов наземными видами растений может привести к обмелению самой протоки. Такие природные изменения условий произрастания вида в данном месте являются угрозой для его дальнейшего существования здесь. При этом можно отметить, что имеются сведения о формировании наземной жизненной формы у *N. peltata* в условиях периодического осушения [3].



Рис. 3. Песчаные отмели р. Северная Двина
Примечание: фотография выполнена авторами

Отрицательное влияние снижения уровня воды в водоемах на показатели роста и развития *N. peltata* отмечают и другие исследователи. По данным С.Н. Жалдак и А.И. Бирик [15], в пресноводном водоеме со слабопроточной водой, расположенном в глубокой лесной балке на юго-восточном склоне от пгт. Научный в Республике Крым, перекрывание листовых пластинок растений над водной поверхностью и самый высокий процент проективного покрытия плавающих листьев (до 98%) зарегистрированы у *N. peltata* при глубине водоема $97,3 \pm 2,9$ см, с уменьшением глубины до $38,1 \pm 1,5$ см около берега значения этих показателей значительно снижались. Аналогично изменялись и морфологические параметры листьев – длина уменьшалась с $8,4 \pm 0,1$ до $7,8 \pm 0,2$ см, ширина – с $7,2 \pm 0,4$ до $6,2 \pm 0,2$ см.

Q. Li с соавт. [16] указывают, что *N. peltata* поддерживает нормальный рост и размножение в гетерогенных местообитаниях с разной глубиной воды, изменяя морфологические параметры листьев (площадь и толщину листовой пластинки, длину и диаметр черешка).

М.И. Соколова и Е.Ю. Зарубина [17] исследовали динамику фитомассы *N. peltata* в Бердском заливе Новосибирского водохранилища и установили, что в 2013 и 2014 гг. при высоком уровне воды в заливе абсолютно сухая масса растений составляла 172 и 288 г/м² соответственно, в отличие от маловодных лет – 2011 г. (88 г/м²), 2012 г. (133 г/м²), 2015 г. (83 г/м²), 2020 г. (64 г/м²), 2021 г. (48 г/м²).

В Японии в последнее время численность популяции *N. peltata* так сократилась, что вид уже занесен в Красную книгу как близкий к уязвимому положению (NT) [6]. Причем исследователи отмечают не только снижение численности популяции данного вида с изменениями условий произрастания, но и количество генотипов в клоне, а генетическое разнообразие крайне важно для адаптации организмов к изменениям окружающей среды.

Еще одним из негативных факторов ухудшения роста и развития растений может быть загрязнение воды. Северная Двина относится к загрязненным рекам России, и основными загрязняющими веществами являются нефтепродукты, фенолы, соединения железа, меди, цинка, лигносульфонаты [18]. Однако известно, что макрофиты, к которым относится *N. peltata*, поглощают из воды и донных отложений загрязняющие вещества, снижают скорость течения, а после отмирания выносят эти вещества обратно в воду, изменяя газовый режим, содержание растворенного кислорода в воде

и другие биохимические процессы [2, с. 6; 19]. Виды высших водных растений обладают избирательной способностью к поглощению разных химических соединений и могут быть использованы в качестве показателя уровня загрязнения экосистемы водного объекта [20]. Так, в ряде работ [20] предложена методика использования *N. peltata* в качестве тест-объекта для мониторинга содержания в воде железа и хрома.

Заключение

Проведенное исследование показало, что популяция редкого вида флоры Архангельской области *N. peltata* сохраняется в обнаруженном в 2014 г. местообитании. Вероятной причиной уменьшения популяционных параметров в 2025 г., как считают авторы, может быть отмеченное обмеление водоема в жаркий летний период. Известно, что вид реагирует на этот природный фактор, что и было зафиксировано в этом году. Поэтому восстановление и дальнейшее стабильное состояние данной популяции *N. peltata* будет зависеть от влияния природных факторов.

Список литературы

1. Красная книга Архангельской области. Архангельск: Сев. (Арктич.) федер. ун-т, 2020. 490 с. ISBN 978-5-261-01436-2.
2. Nault M.E., Mikulyuk A. Yellow Floating Heart (*Nymphaeoides peltata*): A Technical Review of Distribution, Ecology, Impacts, and Management. Wisconsin: Wisconsin Department of Natural Resources Bureau of Science Services, 2009. 15 p. [Электронный ресурс]. URL: https://www.researchgate.net/publication/365464795_Nymphaeoides_peltata_yellow_floating-heart (дата обращения: 01.10.2025).
3. Леднев С.А. Биоморфология и сезонное развитие *Nymphaeoides peltata* (Gmel.) O. Kuntze // Бюллетень Московского общества испытателей природы. Отделение Биология. 2015. Т. 120. Вып. 1. С. 69–75. [Электронный ресурс]. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/biomorfologiya-i-sezonnoe-razvitiye-nymphaeoides-peltata-gmel-o-kuntze/viewer> (дата обращения: 11.10.2025). EDN: VECAB.
4. Жалдак С.Н., Просяникова И.Б. Флористические находки водных растений в окрестностях поселка Научный (Бахчисарайский район, Республика Крым) // Экосистемы. 2016. Вып. 8. С. 8–14. [Электронный ресурс]. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/floristicheskie-nahodki-vodnyh-rasteniy-v-okrestnostyah-poselka-nauchnyy-bahchisarayskiy-rayon-respublika-krym/viewer> (дата обращения: 01.10.2025). EDN: YUTHMH.
5. Бубырева В.А., Храбрый В.М. *Nymphaeoides peltata* (Menyanthaceae) – новый вид для флоры Ленинградской области // Ботанический журнал. 2023. Т. 108. № 9. С. 854–857. DOI: 10.31857/S000681362309003X. EDN: QVRGXJ.
6. Asakawa A., Murakami Sh., Horie S., Matsuo A., Suyama Y., Fujii Sh., Maki M. Genome-wide SNPs reveal clonality and population genetic structure of *Nymphaeoides peltata* in Japan (Menyanthaceae) // Aquatic Botany. 2024. Vol. 190. P. 103720. EDN: GKPLGJ.
7. Harms N.E., Purcell M., Hong S.H., Stutz S., Zhang J., Harlow M., Liu Ch., Tippers N.P. Native and invaded-range surveys provide mixed support for enemy-release of *Nymphaeoides peltata* in the invaded range // Aquatic Botany. 2024. Vol. 195. P. 103803. URL: <https://www.researchgate.net/pub>

lication/383116436_Native_and_invaded-range_surveys_provide_mixed_support_for_enemy-release_of_Nymphoides_peltata_in_the_invaded_range (дата обращения: 01.10.2025).

8. Tippery N.P., Harms N.E., Purcell M.F., Hong S.H., Häfliger P., Killoy K., Wolfe A.L., Thum R.A. Assessing the genetic diversity of *Nymphoides peltata* in the native and adventive range using microsatellite markers // *Biological Invasions*. 2023. Vol. 25. Is. 12. P. 3949–3963. URL: <https://www.semanticscholar.org/paper/Reproduction-strategies-in-introduced-Nymphoides-by-Larson/24c6c7ec03e6582dfb193c195a-9514c91854e4f8> (дата обращения: 25.09.2025).

9. Cheek M.D. First confirmed record of *Nymphoides peltata* (S.G. Gmel.) Kuntze (*Menyanthaceae*) naturalised in southern Africa // *Bothalia*. 2018. Vol. 48 (1). a2258. URL: https://www.researchgate.net/publication/325021654_First_confirmed_record_of_Nymphoides_peltata_SGGmel_Kuntze_Menyanthaceae_naturalised_in_southern_Africa (дата обращения: 25.09.2025).

10. Флора северо-востока европейской части СССР. Т. IV. Л.: Изд-во «Наука», 1977. 312 с.

11. Шмидт В.М. Флора Архангельской области. СПб.: Изд-во С.-Петерб. ун-та, 2005. 346 с. ISBN 5-288-03759-0.

12. Марковская Е.Ф., Дьячкова Т.Ю., Морозова К.В. Анатомо-морфологические особенности *Nymphoides peltata* (S. G. Gmel.) O. Kuntze на северной границе ареала // Ученые записки Петрозаводского государственного университета. Биологические науки. 2015. № 2 (147). С. 17–22. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/anatomo-morfologicheskie-osobennosti-nymphoides-peltata-s-g-gmel-o-kuntze-na-severo-zapadnoy-granitse-areala/viewer> (дата обращения: 01.10.2025).

13. Марковская Е.Ф., Дьячкова Т.Ю., Морозова К.В. *Nymphoides peltata* (S.G. Gmel.) O. Kuntze (*Menyanthaceae*) на границе ареала: анатомо-морфологические особенности // *Hortus botanicus*. 2018. Т. 13. URL: <http://hb.karelia.ru/journal/article.php?id=5322> (дата обращения: 20.09.2025). DOI: 10.15393/j4.art.2018.5322. EDN: VQDBKH.

14. Markovskaya E.F., Novichonok E.V., Dyachkova T.Y., Morozova K.V. *Nymphoides peltata* (S.G. Gmel.) O. Kunze at the northern limit: ecophysiological peculiarities // *Botanica Pacifica*. 2019. Т. 8. № 2. P. 1–7. DOI: 10.17581/bp.2019.08205.

15. Жалдак С.Н., Бибик А.И. Морфо-биологические особенности *Nymphoides peltata* (Gmel.) O. Kuntze в условиях природной флоры Горного Крыма // Ученые записки Крымского федерального университета имени В.И. Вернадского.

Сер. Биология. Химия. 2020. Т. 6 (72). № 4. С. 69–77. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/morfo-biologicheskie-osobennosti-nymphoides-peltata-gmel-o-kutze-v-usloviyah-prirodnoy-flo-ry-gornogo-kryma/viewer> (дата обращения: 10.10.2025). EDN: JCDLAR.

16. Li Q., Chen L., Qiu Yu., Li X., Nan Zh., Yao Sh., Chen Zh., Zhang Yu., Zhao Ch. Responses of the leaf characteristics of *Nymphoides peltata* to a water depth gradient in the Qionghai lake, Western Sichuan plateau, China // *Plants*. 2025. Vol. 14. Is. 6. P. 919. DOI: 10.3390/plants14060919.

17. Соколова М.И., Зарубина Е.Ю. Многолетняя динамика фитомассы водных и прибрежно-водных растений Бердского залива Новосибирского водохранилища // Водные и экологические проблемы Сибири и Центральной Азии: материалы IV Всероссийской научной конференции с международным участием (г. Барнаул, 29 августа – 03 сентября 2022 г.). Барнаул: ООО «Пять плюс», 2022. Т. 2. С. 327–331 AVCFXC.

18. Лобченко Е.Е., Ничипорова И.П., Оленникова Н.Н., Романок О.Л., Лямперт Н.А. Пространственно-временные изменения содержания загрязняющих веществ в поверхностных водах бассейна Северной Двины // Известия вузов. Северо-Кавказский регион. Естественные науки. 2022. № 1. С. 57–65. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/prostranstvenno-vremennye-izmeneniya-soderzhaniya-zagryaznyayuschih-veschestv-v-poverhnostnyh-vodah-basseyna-severnoy-dviny> (дата обращения: 20.10.2025). DOI: 10.18522/1026-2237-2022-1-57-65.

19. Фомина А.А., Тихомирова Е.И., Кораблева А.И. Анализ содержания тяжелых металлов в высших водных растениях Волгоградского водохранилища в районе агломерации Саратов – Энгельс // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2016. Т. 18. № 2 (3). С. 822–826. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/analiz-soderzhaniya-tyazhelykh-metallov-v-vysshih-vodnyh-rasteniyah-volgogradskogo-vodohranilisha-v-rayone-aglomeratsii-saratov-engels> (дата обращения: 01.10.2025).

20. Куанова А.С., Ершова Т.С., Зайцев В.Ф., Чаплыгина В.А., Литвинова Н.В. Содержание химических элементов в *Trapa natans* и *Nymphoides peltata* дельты Волги // Юг России: экология, развитие. 2023. Т. 18. № 4. С. 192–196. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/soderzhanie-himicheskikh-elementov-v-trapa-natans-i-nymphoides-peltata-delyty-volgi/viewer> (дата обращения: 10.10.2025). DOI: 10.18470/1992-1098-2023-4-192-196.

Конфликт интересов: Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest: The authors declare that there is no conflict of interest.

УДК 597.2/5:597.4/5

ФАУНИСТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ И БИОЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ РЫБ РЕКИ ИСФАЙРАМСАЙ

^{1,2}Гафурова С.О., ³Назаров М.Ш. ORCID ID 0009-0005-6066-7338,
³Мирзахалилов М.М., ³Мукимов М.А. ORCID ID 0000-0001-7605-8880

¹Наманганский государственный университет, Наманган, Узбекистан;

²Международный медицинский университет «Central Asian Medical University»,
Фергана, Узбекистан;

³Ферганский государственный университет, Фергана, Узбекистан,
e-mail: muqimovmuhammadkarim7@gmail.com

Ихтиофауна р. Исфайрамсай, притока верхнего течения Сырдарьи, претерпела коренные изменения за последние 40 лет с момента последнего изучения. Изменение гидрологического режима и интродукция новых видов оказали существенное влияние на ее состав, что определяет актуальность современных исследований. Целью работы являлся фаунистический анализ современной ихтиофауны р. Исфайрамсай и изучение некоторых ее биоэкологических особенностей. Материал для исследования был собран в 2022–2025 гг. в среднем и нижнем течении реки. Проведена таксономическая идентификация видов на основе современных каталогов и изучены биоэкологические параметры, включая зависимость «длина – масса» и скорость роста. Результаты показывают, что современный таксономический состав включает 19 видов рыб, относящихся к 5 отрядам и 11 семействам. Выявлено, что почти половину фауны составляют интродуцированные виды, в результате чего ихтиофауна обогатилась тремя новыми фаунистическими комплексами и теперь принадлежит к 7 фаунистическим комплексам. Анализ связи роста и массы тела рыб показал, что у *Hemiculter leucisculus* положительный, у *Schizothorax eurystomus* – изометрический и у *Triplophysa strauchii* и *Pseudorasbora parva* – отрицательный аллометрический рост. Проанализировано также изменение интенсивности роста рыб на разных этапах их жизни. Исследование подтверждает, что состав ихтиофауны реки кардинально изменился под влиянием антропогенных факторов, в частности из-за интродукции чужеродных видов, что привело к переформированию исторически сложившейся фауны.

Ключевые слова: ихтиофауна, акклиматизация, фаунистический комплекс, интродукция, бассейн, верхнее течение, местный вид, эндемический вид

FAUNISTIC ANALYSIS AND BIOECOLOGICAL FEATURES OF FISH IN THE ISFAYRAMSAY RIVER

^{1,2}Gafurova S.O., ³Nazarov M.Sh. ORCID ID 0009-0005-6066-7338,
³Mirzakhaliyov M.M., ³Mukimov M.A. ORCID ID 0000-0001-7605-8880

¹Namangan State University, Namangan, Uzbekistan;

²Internacional Medical University “Central Asian Medical University”, Fergana, Uzbekistan;

³Fergana State University, Fergana, Uzbekistan, e-mail: muqimovmuhammadkarim7@gmail.com

The ichthyofauna of the Isfayramsai River, a tributary of the upper Syr Darya, has undergone radical changes in the 40 years since it was last studied. Changes in the hydrological regime and the introduction of new species have significantly affected its composition, highlighting the relevance of modern research. The study's purpose was to conduct a faunistic analysis of the modern ichthyofauna of the Isfayramsai River and to study some of its bioecological features. Material for the study was collected from 2022–2025 in the middle and lower reaches of the river. Taxonomic identification of species was carried out based on modern catalogs, and bioecological parameters, including length-weight relationships and growth rates, were examined. The results show that the modern taxonomic composition includes 19 fish species belonging to 5 orders and 11 families. It was found that introduced species comprise almost half of the fauna, enriching the ichthyofauna with three new faunistic complexes; the fauna now belongs to 7 faunistic complexes. Analysis of the length-weight relationship of the fish showed that *Hemiculter leucisculus* had positive allometric growth, *Schizothorax eurystomus* had isometric growth, and *Triplophysa strauchii* and *Pseudorasbora parva* had negative allometric growth. The change in the intensity of fish growth at different stages of their life was also analyzed. The study confirms that the composition of the river's ichthyofauna has radically changed due to anthropogenic factors, particularly the introduction of alien species, which has led to a reformation of the historically established fauna.

Keywords: ichthyofauna, acclimatization, faunistic complex, introduction, basin, upper reaches, native species, endemic species

Введение

С северных склонов Алайского хребта, входящего в бассейн верхнего течения р. Сырдарьи, стекает ряд рек и саев (ручьев), в том числе Аксу, Ходжабакирган, Исфара, Сох, Шахимардан, Исфайрамсай, Араван-

сай, Акбура. В верхнем течении р. Исфайрамсай известна под названием Тенгизбай. Она имеет такие крупные притоки, как Малый Алай (длиной 33 км), Сурметан (33 км), Тегирмач (26 км), Кульсай (21 км), Пумсай (19 км), а также более 60 мелких притоков.

Река Исфайрамсай образуется на территории Киргизии от слияния рек Тегирмач и Сурметан, берущих начало из ледников и снежников Алайского хребта на высоте 4000 м. Длина реки составляет 122 км, площадь бассейна – 2220 км². В среднем и верхнем течении р. Исфайрамсай находится множество небольших горных озер, крупнейшим из которых является оз. Зоркуль, расположенное на высоте 3892 м. Питание реки преимущественно ледниковое и снеговое, частично за счет подземных вод [1; 2].

Поскольку Исфайрамсай является горной рекой, его ихтиофауна, подобно другим горным рекам, считается относительно бедной. Большинство рек Ферганской долины, в частности Исфайрамсай, являются трансграничными, что в определенной степени затрудняет получение полных данных для изучения их разнообразия ихтиофауны. За последние 50–60 лет ихтиофауна не только р. Исфайрамсай, но и всего бассейна р. Сырдарьи претерпела резкие изменения. Основной причиной таких изменений стала акклиматизация в регионе множества новых видов рыб. Целью акклиматизации новых видов являлась компенсация ряда местных и ценных промысловых видов, исчезнувших в регионе из-за экологического кризиса Аральского моря, зарыбление новопостроенных ирригационных водоемов (водохранилищ, каналов и искусственных озер), а также обеспечение прудовых рыбных хозяйств новыми перспективными объектами рыбоводства. Эти преобразования начались преимущественно со второй половины XX в., что привело к изменениям в исторически сложившейся ихтиофауне бассейна р. Сырдарьи. Подобно бассейну р. Сырдарьи, состав ихтиофауны р. Исфайрамсай со временем также изменялся, перестраивался, и этот процесс продолжается до сих пор. Изменения в ихтиофауне реки прямо или косвенно связаны с антропогенным фактором.

Изменение гидрологического режима и интродукция новых видов не могли не оказать влияния на ее ихтиофауну не только в р. Исфайрамсай, но и в целом в бассейне р. Сырдарьи. Последнее комплексное исследование видового разнообразия рыб р. Исфайрамсай было проведено М. Мухамедиевым в 1982 г. Прошло уже более 40 лет, и за это время коренным образом изменился состав ее ихтиофауны. Изучение современной ихтиофауны р. Исфайрамсай представляет научную актуальность [3].

Территория Узбекистана представляет особый интерес с зоогеографической точки зрения. Большинство среднеазиатских рек протекает через две провинции, принад-

лежащие к разным подобластям, а Сырдарья и Амударья, крупные реки, протекают через три провинции. В частности, их верхние течения (верховья) относятся к Таримской провинции Нагорно-Азиатской подобласти, средние течения – к Туркестанской провинции, а нижние течения (низовья) – к Понто-Каспийско-Аральской провинции Средиземноморской подобласти. Таким образом, эти реки, протекая по трем провинциям, пересекают две различные подобласти Палеарктики [4, с. 19].

Изучением ихтиофауны р. Исфайрамсай занимался М. Мухамедиев (1982 г.) и отметил в ней 15 видов рыб, таких как *Alburnus taeniatus*, *Carassius gibelio*, *Channa argus*, *Ctenopharyngodon idella*, *Cyprinus carpio*, *Gambusia holbrooki*, *Gobio lepidolaemus*, *Hemiculter leucisculus*, *Hypophthalmichthys molitrix*, *Luciobarbus conocephalus*, *Pseudorasbora parva*, *Rutilus lacustris*, *Schizothorax eurystomus*, *Silurus glanis* и *Triplophysa stoliczkae*. Кроме того, он изучил размножение и биологические особенности *Luciobarbus conocephalus*, *Cyprinus carpio* и *Schizothorax eurystomus* в Каркидонском водохранилище, раскрыв их хозяйственное значение [3].

Цель исследования – провести фаунистический анализ ихтиофауны р. Исфайрамсай и изучить некоторые биоэкологические особенности рыб.

Материал и методы исследования

Материал для исследования был собран в р. Исфайрамсай в период с 2022 по 2024 г. Пробы рыб после анестезии фиксировались в 10 %-м растворе формалина, а через 10 дней переводились в 70 %-й этиловый спирт для длительного хранения. У рыб измеряли общую (TL) (до конца хвостового плавника) и стандартную (SL) (до конца чешуйного покрова) длину тела с точностью до 1 мм, общую (W) массу тела и массу тела без внутренностей (W1) с точностью до 0,01 г, подсчитывали меристические признаки. Морфометрические измерения произведены по методике Kottelat & Freyhof (2007) [5, с. 299]. Таксономическая идентификация рыб проводилась с использованием определителей «Разнообразие рыб Узбекистана» И.М. Мирабдуллаева, А.Р. Кузметова, А.Р. Курбанова [6, с. 116] и «Рыбы Узбекистана» И.М. Мирабдуллаева [7, с. 220]. Статистическая обработка данных выполнялась с помощью программы MS Excel.

Зависимость «длина – масса» (LWR) рассчитывалась по уравнению

$$W = aL^b,$$

где W – общая масса (г), L – общая длина тела (см), a – коэффициент пересечения;

b – коэффициент регрессии. Коэффициенты a и b вычислены следующим линейным регрессионным логарифмом:

$$\log(W) = \log(a) + b \cdot \log(L) \quad [8].$$

Все статистические вычисления произведены программой MS Excel 2019.

Для определения годовых приростов рыбы использовали выработанные Эйнар Леа метода обратного вычисления роста рыб [9, с. 889–898]. Вычисления вели по следующей формуле

$$\frac{L}{C} = \frac{l_x}{c_x}; \quad l_x = \frac{L}{C} c_x,$$

где L – длина рыбы; C – длина чешуи (от центра до края в той части, где определяются годовые кольца); C_x – длина чешуи за первый год (от центра чешуи и включая первое годовое кольцо); этим же выражением обозначается величина чешуи за два, три и т.д. года; l_x – длина рыбы за первый, второй, третий и т.д. годы.

Результаты исследования и их обсуждение

Горно-Азиатская зоогеографическая подобласть охватывает высокогорные центральные регионы Азиатского континента. В состав этой подобласти входят верховья ряда рек, в том числе и р. Сырдарья. Для данной территории характерны высокогорные холодные водоемы с суровыми условиями, и эти факторы привели к формированию своеобразной и специализированной ихтиофауны. Данная подобласть обособлена от других зоогеографических подобластей и характеризуется следующими основными особенностями: относительной бедностью видового состава, высоким уровнем эндемизма и своеобразием родов. Здесь встречаются такие роды, как *Schizothorax*, *Schizopygopsis*, *Diptychus*, *Aspiorhynchus*, и многочисленные виды, относящиеся к семейству *Nemacheilidae* (ранее в составе рода *Noemacheilus*) [10–12]. Горно-Азиатская зоогеографическая подобласть условно подразделяется на три основные провинции: Балхашскую, Таримскую и Тибетскую. Верховья бассейна р. Сырдарья относятся к территории Таримской провинции. Для данной территории характерны такие роды, как маринка (*Schizothorax*), осман (*Diptychus*), голец (*Triplophysa*) и сомик (*Glyptosternon*) [13; 14].

В ихтиологических исследованиях в качестве основной единицы зоогеографического анализа принято понятие фаунистического комплекса. Этот термин был

впервые предложен Г.В. Никольским (1956) и впоследствии получил концептуальное развитие у других специалистов. Под фаунистическим комплексом понимается группа видов, имеющая общее географическое происхождение, сформировавшаяся в определенном географическом регионе, приспособленная к абиотическим и биотическим условиям данного региона и обладающая сходными экологическими требованиями [15, с. 348].

Ихтиофауна бассейна р. Сырдарья и ее притоков состоит из видов, принадлежащих к нескольким фаунистическим комплексам. В частности, в р. Исфайрамсай, являющейся притоком бассейна верхнего течения р. Сырдарья, в результате антропогенного вмешательства появились представители трех новых фаунистических комплексов, ранее не встречавшихся на данной территории [16]. Это индийский равнинный (*Channa argus*), североамериканский (*Gambusia holbrooki*) и китайский равнинный (*Hemiculter leuciscus*, *Abbottina rivularis*, *Pseudorasbora parva*, *Rhodeus ocellatus*, *Rhinogobius cf. lindbergi*) фаунистические комплексы [17; 18].

В результате данного исследования установлено, что современная ихтиофауна р. Исфайрамсай, относящейся к бассейну верхнего течения р. Сырдарья, представлена 5 отрядами, 11 семействами и 19 видами; установлено, что она принадлежит к 7 фаунистическим комплексам (табл. 1).

Среди местных видов *Sabanejewia aralensis* и *Glyptosternum oschanini* занесены в Красную книгу Узбекистана. Среди рыб, встречающихся в реке, лишь пять видов имеют некоторое промысловое значение, причем уровень их встречаемости также не высок. Из 19 видов, выявленных в р. Исфайрамсай, 10 являются местными, остальные 9 видов относятся к интродуцированным, то есть почти половину фауны составляют аллохтонные элементы. Основную часть ихтиофауны р. Исфайрамсай составляют мелкие по размеру виды рыб, не имеющие промыслового значения.

Среди выявленных М. Мухамедиевым (1982 г.) в р. Исфайрамсай *Ctenopharyngodon idella*, *Hypophthalmichthys molitrix*, *Luciobarbus conocephalus*, *Rutilus lacustris* и *Triplophysa stoliczkae* не встречались в данной работе. Обнаруженные авторами данного исследования *Triplophysa ferganensis*, *Triplophysa strauchii*, *Iskandaria kuschakewitschi*, *Abbottina rivularis*, *Rhodeus ocellatus*, *Rhinogobius cf. lindbergi* и *Glyptosternum oschanini* не были отмечены М. Мухамедиевым (1982 г.).

Таблица 1

Современный видовой состав и принадлежность ихтиофауны
р. Исфайрамсай к фаунистическим комплексам

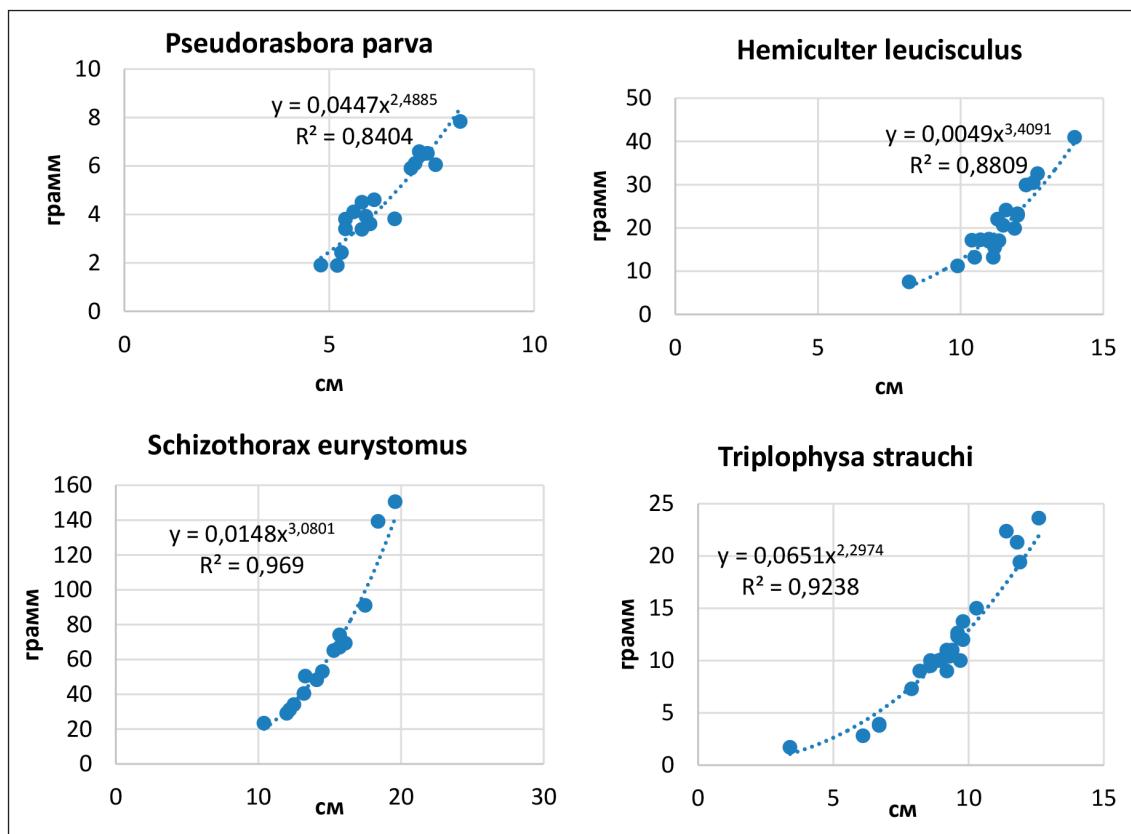
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1 Cypriniformes Bleeker, 1859 <i>Iskandaria kuschakewitschi</i> (Herzenstein, 1890)	+	+			+						
2 <i>Triplophysa strauchii</i> (Kessler, 1874)			+		+						
3 <i>Triplophysa ferganensis</i> Sheraliev B., Peng Z.	+	+			+						
4 <i>Sabanejewia aralensis</i> (Kessler, 1877)	+	+		+	+						
5 <i>Carassius gibelio</i> (Bloch, 1782)			+				+				
6 <i>Cyprinus carpio</i> Linnaeus, 1758	+							+			
7 <i>Schizothorax eurystomus</i> Kessler, 1872	+				+						
8 <i>Hemiculter leucisculus</i> (Basilewsky, 1855)			+			+					
9 <i>Rhodeus ocellatus</i> (Kner, 1866)			+			+					
10 <i>Abbottina rivularis</i> (Basilewsky, 1855)			+			+					
11 <i>Gobio lepidolaemus</i> Kessler, 1872	+	+					+				
12 <i>Pseudorasbora parva</i> (Temminck & Schlegel, 1846)			+			+					
13 <i>Alburnus taeniatus</i> Kessler, 1874	+	+							+		
14 <i>Leuciscus squaliusculus</i> (Kessler, 1872)	+	+					+				
15 Anabantiformes Britz, 1995 <i>Channa argus</i> (Cantor, 1842)			+							+	
16 Gobiiformes Günther, 1880 <i>Rhinogobius cf. lindbergi</i> Berg, 1933			+			+					
17 Siluriformes Cuvier, 1817 <i>Silurus glanis</i> Linnaeus, 1758	+							+			
18 <i>Glyptosternum oschanini</i> (Herzenstein, 1889)	+	+		+							
19 Cyprinodontiformes Berg, 1940 <i>Gambusia holbrooki</i> Girard, 1859			+								+

Примечание: составлена авторами на основе полученных данных в ходе исследования: 1 – таксономический статус (видовой состав); 2 – местные виды; 3 – виды-эндемики; 4 – интродуцированные виды; 5 – виды, занесенные в Красную книгу Узбекистана. Фаунистические комплексы: 6 – нагорно-азиатский; 7 – китайский равнинный; 8 – бореально-равнинный; 9 – древнетретичный; 10 – переднеазиатский; 11 – индийский равнинный; 12 – североамериканский.

В отличие от других позвоночных животных, рыбы растут всю жизнь. Рост рыб происходит как в линейном, так и в весовом отношении. Изучение зависимости «длина – масса» (LWR – length-weight relationship) является важным критерием для оценки экологического состояния рыбных популяций. Ожидаемый диапазон значений коэффициента b в уравнении LWR составляет 2,5–3,5, при этом отмечается, что его идеальное значение (при изометрическом росте) равно 3,0. Если b превышает 3,0, это свидетельствует о положительном аллометрическом росте, тогда как значение b менее 3,0 указывает на отрицательный аллометрический рост. В последнем случае это означает, что рыба расходует больше энергии на увеличение длины, чем на накопление массы тела. Так, положительный аллометрический рост среди рыб в р. Исфайрамсай зафиксирован

у *Hemiculter leucisculus*, изометрический рост наблюдался у *Schizothorax eurystomus*, а у *Triplophysa strauchii* и *Pseudorasbora parva* – отрицательный аллометрический рост (рисунок).

Среди существующих позвоночных животных только рыбы продолжают расти на протяжении всей жизни. Вода, в отличие от твердого субстрата, создает условия для свободного развития скелетной системы рыб, что и обеспечивает их непрерывный рост в течение жизни. Однако интенсивность роста рыб изменяется на разных этапах их жизни. Так, у *Hemiculter leucisculus*, *Pseudorasbora parva*, *Carassius gibelio* скорость роста тела достигала максимума в первый год жизни, а на второй и третий год она резко замедлялась (табл. 2). Снижение интенсивности роста рыб на втором и третьем годах объясняется достижением ими половой зрелости.



Линейно-логарифмическое выражение связи длины и массы тела рыб
 Примечание: составлен авторами по результатам данного исследования

Таблица 2

Скорость роста рыб по годам жизни

Возраст, год	Длина тела рыб по годам жизни (l_1 l_2 l_3 l_4), мм			n
<i>Hemiculter leuciscus</i>	l_1	l_2	l_3	7
1+	69,4	109,3		6
2+	95,6	117,6	140	1
среднее	82,5	113,45	140	
Скорость роста	82,5	30,95	26,55	
<i>Pseudorasbora parva</i>	l_1	l_2	l_3	
1+	45,46	62,4	—	11
среднее	45,46	62,4	—	
Скорость роста	45,46	16,94	—	
<i>Carassius gibelio</i>	l_1	l_2	l_3	8
1+	64,16	91,9		5
2+	62,23	83,8	97,8	3
среднее	63,195	87,85	97,8	
Скорость роста	63,19	24,66	9,95	

Примечание: составлена авторами на основе полученных данных в ходе исследования

Заключение

Проведенное исследование показало, что за более чем 40 лет, прошедших с момента последней ревизии М. Мухамедиева, состав ихтиофауны р. Исфайрамсай кардинально изменился под влиянием антропогенных факторов. Важнейшим результатом является установление современного таксономического состава, включающего 19 видов рыб. Выявлено, что почти половину фауны (9 видов) составляют интродуцированные, аллохтонные элементы. В результате антропогенного вмешательства ихтиофауна обогатилась представителями трех новых фаунистических комплексов (китайского равнинного, индийского равнинного и североамериканского), ранее не встречавшихся на данной территории, и теперь принадлежит к семи фаунистическим комплексам. Большинство инвазивных видов являются мелкими, не имеют промыслового значения и считаются сорными.

В ходе работы также определены ключевые биоэкологические параметры: у *Hemiculter leuciscus* зафиксирован положительный аллометрический рост, у *Schizothorax eurystomus* – изометрический, а у *Triplophysa strauchii* и *Pseudorasbora parva* – отрицательный аллометрический рост. Установлено, что у *Hemiculter leuciscus*, *Pseudorasbora parva* и *Carassius gibelio* скорость роста максимальна в первый год жизни, что связано с достижением ими половой зрелости. Таким образом, исследование подтверждает глубокую трансформацию ихтиофауны р. Исфайрамсай, вызванную интродукцией чужеродных видов.

Список литературы

1. Ключевая территория биоразнообразия KGZ20: Исфайрам – Шахимардан. [Электронный ресурс]. URL: <https://map.kg/lokacii/84-kgz20-kljuhevaja-territoriya-bioraznoobrazija-kgz20-isfajram-shahimardan.html>, свободный (дата обращения: 29.10.2025).
2. Исфайрамсай / Водные ресурсы России. [Электронный ресурс]. URL: <https://waterresources.ru/reki/isfayramsai/>, свободный (дата обращения: 29.10.2025).
3. Мухамедиев М.А. Ихтиофауна и перспективы рыбохозяйственного освоения предгорных водоемов Ферганской долины в связи с ирригационным строительством (на примере бассейна реки Исфайрамсай): автореф. дис. ... канд. биол. наук. Ленинград: Ленинградский государственный университет, 1982. 16 с.
4. Вундцеттель М.Ф. Эколого-зоогеографический анализ современной ихтиофауны бассейна р. Сырдарьи: автореф. дис. ... докт. биол. наук. М.: ВНИИПРХ, 1994. 59 с. URL: <http://www.dspace.vniro.ru/handle/123456789/544> (дата обращения: 21.10.2025).
5. Kottelat M., Freyhof J. Handbook of European freshwater fishes. Cornol: Kottelat, 2007. 660 p. DOI: 10.1007/s10228-007-0012-3.
6. Мирабдуллаев И.М., Кузметов А.Р., Курбонов А.Р. O'zbekiston baliqlari xilma-xilligi. Toshkent: "Classic" nashriyoti, 2020. 116 b.
7. Мирабдуллаев И.М. Рыбы Узбекистана. Saarbrücken: Lambert Academic Publishing, 2022. 120 c.
8. Froese R. Cube law, condition factor and weight-length relationship: history, meta-analysis and recommendations // Journal of Applied Ichthyology. 2006. Vol. 22. P. 241–253. DOI: 10.1111/j.1439-0426.2006.00805.x.
9. Clay L. Pierce, Joseph B. Rasmussen, William C. Leggett, Back-Calculation of Fish Length from Scales: Empirical Comparison of Proportional Methods // Transactions of the American Fisheries Society. 1996. Vol. 125. Is. 6. P. 889–898. DOI: 10.1577/1548-8659(1996)125<0889:BCOFLF>2.3.CO;2.
10. Sheraliev B., Komilova D., Kayumova Y. Length-weight relationship and relative condition factor of *Schizothorax eurystomus* Kessler, 1872 from Fergana valley // Journal of entomology and zoology studies. 2019. Vol. 7. P. 409–412. URL: https://www.researchgate.net/publication/342345068_Length-weight_relationship_and_relative_condition_factor_of_Schizothorax_eurystomus_Kessler_1872_from_Fergana_valley (дата обращения: 21.10.2025).
11. Karimov E., Zeiringer B., Coeck J., Verhelst P., Karimov B., Omonov O., Schletterer M., Hayes D.S. Length-Weight-Age Relationship of *Schizothorax eurystomus* Kessler, 1872 and Comparison to Other Snow Trout Species in Central Asia // Fishes. 2024. № 9 (3). P. 94. DOI: 10.3390/fishes9030094.
12. Sheraliev B., Kayumova Y., Peng Z. *Triplophysa daryoe*, a new nemacheilid loach species (Teleostei, Nemacheilidae) from the Syr Darya River basin, Central Asia // ZooKeys. 2022. № 1125. P. 47–67. DOI: 10.3897/zookeys.1125.85431.
13. Froese R., Pauly D. (eds.). Species in genus *Diptychus* // FishBase. May 2018. version. URL: <https://www.fishbase.se/summary/Diptychus.html> (дата обращения: 29.10.2025).
14. Li G., Tang Y., Zhang R., Zhao K. Phylogeography of *Diptychus maculatus* (Cyprinidae) endemic to the northern margin of the QTP and Tien Shan region // BMC Evolutionary Biology. 2016. Vol. 16. № 1. DOI: 10.1186/s12862-016-0756-3.
15. Никольский Г.В. Рыбы бассейна Амура: итоги Амурской ихтиологической экспедиции, 1945–1949. М.: Издательство АН СССР, 1956. 551 с.
16. Makhmutaliyevitch S.B. The systematic analysis of the fish fauna of the Fergana valley // European journal of biomedical and life sciences. 2015. №. 2. С. 80–84. DOI: 10.20534/ELBLS-15-2-80-84.
17. Sheraliev B. et al. Length-weight relations of 14 endemic and indigenous freshwater fish species (Actinopterygii) from the Aral Sea basin, Uzbekistan // Acta Ichthyologica et Piscatoria. 2022. T. 52. С. 239–243. DOI: 10.3897/aiep.52.89279.
18. Мукимов М.К.А. и др. Сравнительная оценка морфобиологических показателей амурского чебака (*Pseudorasbora parva*) как инвазивного вида // Science and innovation. 2022. T. 1. № D2. С. 50–54. URL: <https://scientists.uz/view?id=188> (дата обращения: 21.10.2022).

Конфликт интересов: Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest: The authors declare that there is no conflict of interest.

УДК 574.5

ХАРАКТЕРИСТИКА ФИТОПЛАНКТОНА СОЛОНОВАТОГО ОЗЕРА (ЧЕЛЯБИНСКАЯ ОБЛАСТЬ, ОЗЕРО БОЛЬШОЕ КЕСЕНЕ)

Саган В.В., Кравцова А.В. ORCID ID0000-0001-9098-5795,

Сташкевич Д.С. ORCID ID 0000-0001-7235-9459,

Ковалева А.П., Башкатова К.Ю.

*Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Челябинский государственный университет», Челябинск, Российская Федерация,
e-mail: kravtsova87@yandex.ru*

Солоноватые озера представляют собой уникальные биотопы с особым биоразнообразием орнитофауны, в том числе редких видов птиц, в которых фитопланктон выступает основным продуцентом и звеном в пищевых цепях. Изучение альгофлоры таких водоемов вносит вклад в формирование представлений о структуре фитопланктонных сообществ, обитающих в минерализованных водах, и позволяет оценить основы кормовой базы для популяций обитающих водоплавающих птиц. Цель работы – определить состав, численность и эколого-географическую характеристику фитопланктона солоноватого озера Большое Кесене (Варненский район) в Челябинской области. В статье впервые представлено исследование альгофлоры оз. Б. Кесене. Физико-химический анализ пробы показал, что воды относятся к гидрокарбонатному классу, натриевой группе, являются солоноватыми, характеризуются щелочными условиями, очень высокой степенью цветности и жесткости. Гидробиологический анализ выявил, что фитопланктонное сообщество водоема включает 26 видов водорослей из отделов Cyanobacteriophyta, Charophyta и Heterokontophyta. Доминирующим отделом по численности и видовому разнообразию являются диатомовые, а доминирующим видом – *Lindavia radiosa*. Анализ эколого-географической характеристики показал, что наблюдается преобладание бентосных и планктонно-бентосных форм, космополитных видов, индифферентных к уровню солености и pH. В водоеме определены мезаспробные условия по индексу Пантле – Букка.

Ключевые слова: фитопланктон, солоноватое озеро, утка-савка

CHARACTERISTICS OF PHYTOPLANKTON OF BRACKISH LAKE (CHELYABINSK REGION, LAKE B. KESENE)

Sagan V.V., Kravtsova A.V. ORCID ID0000-0001-9098-5795,

Stashkevich D.S. ORCID ID 0000-0001-7235-9459,

Kovaleva A.P., Bashkatova K.Yu.

*Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education
“Chelyabinsk State University”, Chelyabinsk, Russian Federation,
e-mail: kravtsova87@yandex.ru*

Brackish lakes represent unique biotopes with a special biodiversity of avifauna, including rare bird species in which phytoplankton acts as the main producer and link in food chains. The study of the algoflora of such reservoirs contributes to the formation of ideas about the structure of phytoplankton communities living in mineralized waters, and allows us to assess the basics of the food base for populations of native waterfowl. The purpose of the work is to determine the composition, abundance, and ecological and geographical characteristics of phytoplankton in brackish Lake B. Kesene (Varna district) in the Chelyabinsk region. The article presents for the first time a study of the algoflora of Lake Baikal. Thank you very much. Physico-chemical analysis of the sample showed that the waters belong to the bicarbonate class of the sodium group, are brackish, characterized by alkaline conditions, a very high degree of color and hardness. Hydrobiological analysis revealed that the phytoplankton community of the reservoir includes 26 species of algae from the Cyanobacteriophyta, Charophyta and Heterokontophyta divisions. The dominant division in terms of abundance and species diversity is diatoms, and the dominant species is *Lindavia radiosa*. The analysis of the ecological and geographical characteristics showed that there is a predominance of benthic and planktonic-benthic forms, cosmopolitan species, indifferent to the level of salinity and pH. The meso-approved conditions in the reservoir have been determined according to the Pantle-Bucca index.

Keywords: phytoplankton, brackish lake, duck *Oxyura leucocephala*

Введение

Солоноватые озера представляют собой уникальные биотопы с особым биоразнообразием, в которых фитопланктон выступает основным продуцентом и звеном в пищевых цепях. Кроме того, данные о состоянии фитопланктона служат важным индикатором экологического состояния водных объектов и позволяют оценить процессы,

протекающие в них. В условиях глобальных изменений климата и увеличения антропогенного давления на водные объекты изучение фитопланктона солоноватых озер приобретает особую актуальность для разработки стратегий их сохранения [1; 2].

В Челябинской области около 3000 озер. Однако преобладают озера с малой площадью водного зеркала (0,5 км² и меньше), их

около 80%. Примерно 1000–1200 из них классифицируются как соленые и солоноватые. Большая часть озер такого типа расположена в степной зоне Челябинской области. Эти водоемы играют важную роль в поддержании орнитофауны: служат местами гнездования и отдыха на миграционных путях водоплавающих птиц. Особую значимость представляют озера, являющиеся местом гнездования видов, занесенных в Международную Красную книгу, таких как утка-савка *Oxyura leucoccephala*, которая неоднократно была отмечена на оз. Чекатай и Кесене [3]. В настоящее время гидробиологических исследований степных солоноватых озер Челябинской области недостаточное количество [4]. Таким образом изучение альгофлоры таких водоемов является актуальной и важной задачей, так как вносит вклад в формирование представлений о структуре фитопланктонных сообществ, обитающих в минерализованных водах, и позволяет оценить основы кормовой базы для популяций обитающих водоплавающих птиц, в том числе видов, находящихся под особой охраной.

Цель исследования – определить состав, численность и эколого-географическую характеристику фитопланктона солоноватого оз. Б. Кесене.

Материалы и методы исследования

Материалом для исследования послужила проба воды, отобранная в сентябре 2025 г. с поверхностного горизонта в оз. Б. Кесене, представленного на рис. 1.

Водоем находится на юго-востоке Челябинской области, в 10–20 км на восток от с. Варна, вдоль него расположены региональные автодороги. Для этой территории характерен резко континентальный климат с дефицитом влаги (коэффициент увлажнения 0,5–0,7), годовое количество осадков составляет 330–350 мм. Водные объекты здесь питаются только за счет атмосферных осадков, поэтому часть озер в засушливые годы сильно мелеет, а иные высыхают. Озеро Б. Кесене представляет собой бессточный мелководный просадочный водоем с обширными зарослями тростника, площадью около 500 га каждый. Зеркало свободной от тростника воды зависит от гидрометеорологических условий. Исследование проводилось в Учебном научно-исследовательском центре биотехнологий Челябинского государственного университета. Гидрохимические показатели качества воды определялись в соответствии с действующими нормативными документами (РД 52.18.769-2012) и общепринятыми методиками (ГОСТ 17.1.3.07-82, РД 52.24.620-2000).



Рис. 1. Расположение пункта отбора пробы воды на оз. Б. Кесене

Примечание: составлен авторами на основе источника URL: <https://yandex.ru/maps>

Пробу природной воды сгущали фильтрацией воды под вакуумом через мембранный фильтр с диаметром пор 0,8 мкм. Затем сгущенный осадок с фильтра переносили в склянку при помощи кисточки и доводили дистиллированной водой до объема 5 мл. Концентрированную пробу фиксировали несколькими каплями 40%-ного раствора формалина. Подсчет численности фитопланктона осуществлялся в лаборатории в соответствии с руководством по методам гидробиологического анализа поверхностных вод и донных отложений (под ред. В.А. Абакумова, 1983). Определение видового состава проводилось с помощью определителей [5–7] с использованием микроскопа Микмед-1 в камере Горяева.

Результаты исследования и их обсуждение

Вода в оз. Б. Кесене характеризуется как солоноватая (минерализация 3,22 г/дм³) и относится к гидрокарбонатному классу, натриевой группе. Щелочность воды в озере составляет 11,5 ммоль/дм³. По характеру жесткости воды являются очень жесткими (24,75 мг-экв/дм³), по уровню pH – слабощелочными (7,79). Кислородный режим удовлетворительный, количество растворенного кислорода в воде – 7,29 мг/дм³. Биологическое потребление кислорода, характеризующее содержание органического вещества, – 2,1 мгО₂/дм³. Воды обладают низкой мутностью 0,84 мг/дм³ и очень высоким уровнем цветности (186 град. цветности).

Систематический состав альгофлоры оз. Б. Кесене
и эколого-географическая характеристика по видам

№	Таксономическая принадлежность	Численность, кл./дм ³	Доля от суммарной численности, %	Географическая приуроченность	Приуроченность к местообитанию	Отношение к рН	Галобность	Сапробность
Отдел Cyanobacteriophyta (Цианобактерии)		115 824	29,4					
1	<i>Anathece clathrata</i> (West & G.S. West) Komárek, Kastovsky & Jezberová	8333	2,1	b	п	i	i	β-o
2	<i>Chlorogloea microcystoides</i> Geitler	8333	2,1	k	б	i	i	—
3	<i>Komvophoron crassum</i> (Vozzhennikova) Anagnostidis & Komárek	21 665	5,5	k	пб	i	i	—
4	<i>Microcystis pulvereae</i> (H.C.Wood) Forti	52 495	13,3	k	пб	i	i	β
5	<i>Oscillatoria tenuis</i> C.Agardh ex Gomont	8333	2,1	k	пб	i	i	α
6	<i>Phormidesmis mollis</i> (Gomont) Turicchia, S. Ventura, Komárková & Komárek	7499	1,9	k	пб	i	i	β-α
7	<i>Phormidium foveolarum</i> Gomont	9166	2,3	k	пб	alf	i	α
Отдел Charophyta (Харовые водоросли)		13 332	3,4					
8	<i>Closterium parvulum</i> Nägel	833	0,2	k	пб	i	i	β
9	<i>Spirogyra</i> sp.	12 499	3,2	k	пб	i	i	x-α
Классы Bacillariophyceae и Mediophyceae отдела Heterokontophyta (Диатомовые водоросли)		264 144	67,2					
10	<i>Cocconeis placentula</i> Ehrenberg	31 664	8,1	k	пб	i	i	x-α
11	<i>Craticula cuspidata</i> (Kützing) D.G. Mann	24 998	6,4	k	б	alf	i	α-β
12	<i>Diatoma elongate</i> (Lyngbye) C. Agardh	2500	0,6	b	пб	i	gl	o-β
13	<i>Diatoma vulgare</i> Bory	4166	1,1	k	пб	i	i	o-β
14	<i>Epithemia sorex</i> Kützing	1667	0,4	b	б	alb	gl	β
15	<i>Lindavia bodanica</i> (Eulenstein ex Grunow) T. Nakov, Guillory, Julius, Theriot & Alverson	13 332	3,4	b	п	i	i	o
16	<i>Lindavia radiosa</i> (Grunow) De Toni & Forti	112 489	28,6	k	пб	alb	i	β
17	<i>Meridion circulare</i> (Greville) C. Agardh	4166	1,1	k	пб	acf	gf	x-o
18	<i>Navicula radiosa</i> Kützing	2500	0,6	k	б	i	i	o-x
19	<i>Navicula salinarum</i> Grunow	1667	0,4	k	б	alf	mg	β-o
20	<i>Nitzschia palea</i> (Kützing) W.Smith	1667	0,4	k	б	i	i	α
21	<i>Nitzschia paleacea</i> (Grunow) Grunow	39 163	10,0	k	б	i	i	α-β
22	<i>Rhopalodia gibba</i> (Ehrenberg) O. Müller	2500	0,6	b	б	alb	i	o
23	<i>Stephanocyclus meneghinianus</i> (Kützing) Kulikovskiy, Genkal & Kociolek	3333	0,8	k	пб	alf	gl	α-β
24	<i>Tabularia tabulata</i> (C.Agardh) Snoeijis	3333	0,8	k	б	alf	gl	β-α
25	<i>Ulnaria acus</i> (Kützing) Aboal	9999	2,5	k	п	alf	i	β
26	<i>Ulnaria ulna</i> (Nitzsch) Compère	5000	1,3	k	б	alf	i	x-α
Суммарная численность		393 300						

Примечание: составлена авторами по результатам данного исследования

Обозначения: k – космополит, b – бореальный, п – планктонный вид, пб – планктонно-бентосный вид, б – бентосный вид, i – индифферент, acf – ацидофил, alf – алкалофил, alb – алкалобионт, gf – галофоб, mg – мезогалофоб, gl – галофил, x – ксеносапроб, o – олигосапроб, β – бета-мезосапроб, α – альфа-мезосапроб, знак «—» – нет данных в экологическом и географическом отношении [8; 9, с. 61–146; 10, с. 123–132].

Видовой состав, численность и эколого-географическая характеристика фитопланктона оз. Б. Кесене представлены в таблице.

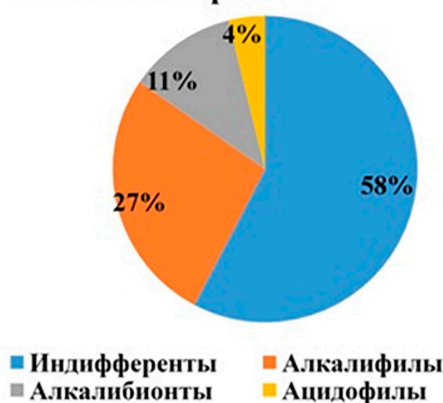
В оз. Б. Кесене обнаружено 26 видов водорослей, относящихся к 3 отделам (Cyanobacteriophyta – 7 видов, Charophyta – 2 вида и Heterokontophyta – 17 видов), 4 классам, 15 порядкам, 16 семействам и 21 роду. На долю диатомовых водорослей приходилось 67,2% общего видового состава. Видовой состав цианобактерий был представлен 1 классом (Cyanophyceae), 6 порядками и семействами по 1 виду каждого рода: пор. Synechococcales сем. Prochlorococcaceae – 1 род, пор. Chroococcales сем. Microcystaceae – 1 род, пор. Chroococcidopsidales сем. Gloeocapsaceae – 1 род, пор. Oscillatoriales сем. Oscillatoriaceae – 2 рода, пор. Leptolyngbyales сем. Leptolyngbyaceae – 1 род, пор. Gomontiellales сем. Gomontiellaceae – 1 род. Харовые водоросли были представлены 1 классом (Zygnematomphyceae), 2 порядками и семействами по 1 роду в каждом: пор. Desmidiaceae сем. Closteriace-

ae, пор. Spirogyrales сем. Spirogyraceae. Видовой состав диатомовых водорослей был представлен 2 классами Bacillariophyceae и Mediophyceae [11, с. 39–44]. Класс Mediophyceae порядок Stephanodiscales семейство Stephanodiscaceae 2 рода по 1 виду и класс Bacillariophyceae 6 порядков и 7 семейств по 1–2 вида в роде: порядок Achnanthes семейство Cocconeidaceae – 1 род, порядок Rhabdonematales семейство Tabellariaceae – род Diatoma 2 вида и род Meridion 1 вид, порядок Rhopalodiales семейство Rhopalodiaceae – 2 рода Epithemia и Rhopalodia по 1 виду, порядок Naviculales семейство Stauroneidaceae – 1 род и семейство Naviculaceae – род Navicula 2 вида, порядок Bacillariales семейство Bacillariaceae – род Nitzschia 2 вида, порядок Licmophorales семейство Ulnariaceae – род Ulnaria 2 вида и род Tabularia 1 вид [12]. Таким образом, фитопланктонное сообщество оз. Б. Кесене характеризовалось большим числом одно-видовых семейств (56,25% от общего числа семейств) и родов (76,19%).

Приуроченность к местообитанию



Отношение к pH



Географическая приуроченность



Галобность

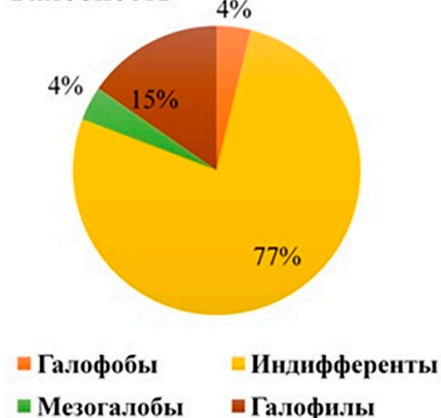


Рис. 2. Эколого-географическая характеристика фитопланктона оз. Б. Кесене
Примечание: составлен авторами по результатам данного исследования

Численность фитопланктона оз. Б. Кесене в сентябре 2025 г. составляла 393 300 кл./дм³. Доминирующим отделом в альгоценозе являлись диатомовые водоросли, доля которых соответствовала 67,2%, а доминирующим видом – *Lindavia radiosa* (численность – 112 489 кл./дм³, 28,6%). Вторым по численности был вид, относящийся к цианобактериям, *Microcystis pulverea* – 52 495 кл./дм³ и 13,3% соответственно. Преобладание диатомовых водорослей обусловлено как действием сезонного температурного фактора, так и повышенной минерализацией воды.

Для определения эколого-географической характеристики водорослей оз. Б. Кесене использовались такие характеристики, как их географическая приуроченность, приуроченность к местообитанию, к pH, галофобия и сапробный индекс. Результаты распределения видов по эколого-географическим группам представлены на рис. 2.

По приуроченности к местообитанию половина (50%) из определенных видов относилась к группе планктонно-бентосных, 38,5% – к бентосным и 11,5% – к планктонным. Для фитопланктона исследуемой пробы воды было характерно низкое видовое разнообразие: всего 26 видов из 3 отделов, из которых большинство являются бентосом или могут существовать не только как планктон, но и в качестве бентоса или перифитона. По численности также наблюдалось преобладание бентосных и планктонно-бентосных форм. Планктонно-бентосные виды обычно находятся в прикрепленном состоянии, но по тем или иным причинам переходят в планктонную форму (ветровое перемешивание, тепловая конвекция и т.д.). На мелководье ветровое и термическое перемешивание затрагивает всю толщу воды вплоть до дна, что облегчает попадание бентосных форм в планктон [13; 14].

Эколого-географический анализ альгофлоры озера показал, что преобладающая часть фитопланктона космополиты (80,8%), остальные 19,2% представлены бореальными видами. Наиболее часто встречающимися космополитами в озере были представители цианобактерий (*Microcystis pulverea*) и диатомовых водорослей (*Lindavia radiosa* и *Nitzschia paleacea*), которые являются эвритерными организмами [8].

По отношению к pH 58% составляли индифферентные виды, 27% – алкалофилы, 11% – алкалибионты и 4% – ацидофилы. Несмотря на повышенную соленость воды озера (3,22 г/дм³) больше половины представителей альгофлоры (77%) являются индифферентами, 15% – галофилами, 4% – мезогалолами и 4% – галофобами. Все об-

наруженные виды, за исключением *Meridion circulare*, могут существовать как в пресной, так и в соленой воде, имея довольно широкую экологическую валентность по такому фактору, как соленость воды. Развитие *Meridion circulare* – единственного реофила и галофоба в исследуемом водоеме [8], возможно объясняется тем, что данный вид был занесен водоплавающими мигрирующими птицами из альгоценоза другого водоема или водотока и смог развиваться за счет повышения солевых выносов и возможного пресноводного питания озера. Больше половины видов относятся к отделу Heterokontophyta, что также может быть связано с соленостью воды, так как, чем выше соленость воды, тем больше в альгоценозе встречается диатомовых водорослей [4]. Преобладание в соленой воде диатомовых водорослей над представителями других отделов объясняется их высокой адаптивностью к условиям среды, например, за счет наличия крепких панцирей, вакуолей для хранения питательных веществ и накопления липидов, способствующих восстановлению панциря в неблагоприятной среде [15; 16].

Индикаторы органического загрязнения составляют 92,3% от всего таксономического состава пробы воды исследуемого озера, из которых преобладали α - β -, β - α -, β -, β - α -, α - β - и α -мезосапробы – 65,38%. Для представителя рода *Spirogyra*, не идентифицированного до вида, взяты зоны сапробности, характерные для рода α - α . Представители данного рода в зависимости от вида могут быть как толерантными, так и чувствительными к загрязнению, но им необходим свет для прорастания из зигоспор со дна [17]. Из общего числа индикаторных видов по численности выделялись β -мезосапробные формы, обитатели умеренно загрязненных водоемов. К широко распространенным в озере β -мезосапробным формам относились: *Microcystis pulverea* и *Lindavia radiosa*. Оценка сапробности оз. Б. Кесене с использованием индекса сапробности по Пантле – Букку в модификации Сладечека и в модификации Зелинки – Марвена показала схожие результаты: значения индексов составили 1,95 и 1,99 соответственно. Условия в оз. Б. Кесене характеризуются как β -мезосапробные, что соответствует умеренно загрязненным водам.

Заключение

В данной работе впервые исследован состав фитопланктонного сообщества солоноватого оз. Б. Кесене, расположенного в степной зоне Челябинской области. Выявлено 26 видов, которые от-

носятся к *Cyanobacteriophyta*, *Charophyta*, *Bacillariophyceae*. Альгофлора водоема характеризуется видовым и численным доминированием диатомовых водорослей. Фитопланктон в основном представлен планктонно-бентосными формами, индифферентными к уровню солености и pH, являющимися космополитами.

Список литературы

- Афони́на Е.Ю., Ташлы́кова Н.А. Влияние факторов среды на структуру планктонных сообществ минеральных озер в разные фазы водности // Вестник Московского университета. Серия 16. Биология. 2019. № 1. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/vliyaniye-faktorov-sredy-na-strukturu-planktonnyh-soobshchestv-mineralnyh-ozerv-v-raznye-fazy-vodnosti> (дата обращения: 19.10.2025).
- Williams W.D. Environmental threats to salt lakes and the likely status of inland saline ecosystems in 2025 // *Environmental Conservation*. 2025. Vol. 29 (2). P. 154–167. URL: <https://www.cambridge.org/core/journals/environmental-conservation/article/environmental-threats-to-salt-lakes-and-the-likely-status-of-inland-saline-ecosystems-in-2025/7AA4739A8B7B80B0DE876C14918404A6> (дата обращения: 22.10.2025). DOI: 10.1017/S0376892902000103.
- Гашек В.А. Гнездование савки *Oxyura leucocephala* в Варненском районе Челябинской области // Русский орнитологический журнал. 2017. Т. 26. № 1516. С. 4458–4459. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/gnezdovanie-savki-oxyura-leucocephala-v-varnenskom-rayone-chelyabinskoy-oblasti> (дата обращения: 29.10.2025). EDN: ZNEIOZ.
- Кострюкова А.М., Машкова И.В. Эколого-географическая характеристика фитопланктона соленых озер Челябинской области // Вестник ЮУрГУ. Серия: Химия. 2023. № 2. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/ekologo-geograficheskaya-harakteristika-fitoplanktona-solenykh-ozerv-chelyabinskoy-oblasti> (дата обращения: 28.10.2025).
- Голлербах М.М., Красавина Л.К. Определитель пресноводных водорослей СССР. В 14 т. Т. 14. Харовые водоросли. Л.: Наука, 1983. 190 с.
- Голлербах М.М., Косинская Е.К., Полянский В.И. Определитель пресноводных водорослей СССР. В 14 т. Т. 2. Синезеленые водоросли. М.: Советская наука, 1953. 651 с.
- Забелина М.М., Киселев И.А., Прошкина-Лавренко А.И., Шешукова В.С. Определитель пресноводных водорослей СССР. В 14 т. Т. 4. Диатомовые водоросли. М.: Советская наука, 1951. 618 с.
- Барина С.С., Медведева Л.А., Анисимова О.В. Водоросли-индикаторы в оценке качества окружающей среды. М.: ВНИИ природы. 2000. 150 с. URL: https://www.researchgate.net/publication/281545365_Bioraznoobraziye_vodorosley-indikatorov-okruzhayushchey-sredy (дата обращения: 05.10.2025). ISBN 5-9297-0004-4.
- Лишаев Д.Ю. Диатомовые водоросли эпилитона каменистых грунтов залива Донгузлав и Инкерманской бухты крымского побережья Черного моря: специальность 1.5.16 «Гидробиология»: дис. ... канд. биол. наук. Севастополь: Институт биологии южных морей имени А.О. Ковалевского РАН, 2025. 150 с.
- Унифицированные методы исследования качества вод. В 3 ч. Ч. III. Методы биологического анализа вод. Приложение 2. Атлас сапробных организмов. М.: Секретариат СЭВ, 1997. 372 с.
- Генкал С.И., Куликовский М.С., Кузнецова И.В. Современные пресноводные центрические диатомовые водоросли России. Ярославль: Филигрань, 2020. 430 с. URL: <https://ibi.ru/index.php?p=publ&id=489> (дата обращения: 22.10.2025). ISBN 978-5-6045263-3-0.
- AlgaeBase: World-wide electronic publication: National University of Ireland. 2023. [Электронный ресурс]. URL: <http://www.algaebase.org> (дата обращения: 30.10.2025).
- Воденеева Е.Л., Охалкин А.Г., Генкал С.И. Состав, структура и распределение фитопланктона высокоминерализованного карстового озера // Биология внутренних вод. 2020. № 6. С. 573–582. DOI: 10.31857/S0320965220050150.
- Дудакова Д.С., Родионова Н.В., Протопопова Е.В., Капустина Л.Л., Бардинский Д.С. Состав и динамика гидробионтов литорали бухты Петрокрепость Ладожского озера // Труды КарНЦ РАН. 2015. № 2. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/sostav-i-dinamika-gidrobiontov-litorali-buhty-petrokrepost-ladozhskogo-ozera> (дата обращения: 28.10.2025).
- Cvjetinovic J., Bedoshvili Y.D., Davidovich N.A., Maksimov E. Exploring salinity induced adaptations in marine diatoms using advanced photonic techniques // *Scientific Reports*. 2024. Vol. 14 (1). URL: https://www.researchgate.net/publication/387538173_Exploring_salinity_induced_adaptations_in_marine_diatoms_using_advanced_photonic_techniques (дата обращения: 11.10.2025). DOI: 10.1038/s41598-024-83640-9.
- Pierella Karlusich J.J., Cosnier K., Zinger L., Henry N., Nef C., Bernard G., Scalco E., Dvorak E. Patterns and drivers of diatom diversity and abundance in the global ocean // *Nature Communications*. 2025. Vol. 16 (1). P. 3452. URL: <https://www.nature.com/articles/s41467-025-58027-7?fromPaywallRec=false> (дата обращения: 22.10.2025). DOI: 10.1038/s41467-025-58027-7.
- Гладышев М.И., Губелит Ю.И. «Зеленые приливы»: новые последствия эвтрофирования природных озер // Сибирский экологический журнал. 2019. № 2. С. 135–156. URL: <https://www.sibran.ru/upload/iblock/e79/e7954a7a3fbc82310bed57987da17303.pdf> (дата обращения: 28.10.2025).

Конфликт интересов: Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest: The authors declare that there is no conflict of interest.

Финансирование: Исследование выполнено при финансовой поддержке гранта Президентского фонда природы, проект ЭКО-25-2-003433 «Школа зооволонтеров. ЭкоПрактикум».

Financing: The study was carried out with the financial support of a grant from the Presidential Foundation for Nature, the ECO project-25-2-003433 “The school of animal volunteers. EcoPracticum”.