
НАУЧНОЕ ОБОЗРЕНИЕ • БИОЛОГИЧЕСКИЕ НАУКИ

SCIENTIFIC REVIEW • BIOLOGICAL SCIENCES

№ 2 2026

*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 30.04.2026
Дата выхода номера 29.05.2026
Формат 60×90 1/8*

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

**Signed in print 30.04.2026
Release date 29.05.2026
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 2026/2*

© 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. Philipov)

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

<https://science-biology.ru>

2026 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. Кики 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. Околелова 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. Самигуллина 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

ВЛИЯНИЕ ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА ВОДЫ НА ВОДНЫХ ПОЛУЖЕСТКОКРЫЛЫХ (<i>HETEROPTERA</i>) <i>Беглиев С., Ганджаева Л.</i>	5
ФАУНА И БИОЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ РЫБ ДРЕНАЖНЫХ КАНАВ ФЕРГАНСКОЙ ДОЛИНЫ <i>Мамурова М.Х., Назаров М. Ш., Мирзахалилов М. М., Мукимов М. А.</i>	14
ОЦЕНКА ЭКОЛОГИЧЕСКОГО РИСКА ЗАГРЯЗНЕНИЯ ПОЧВ ТЯЖЕЛЫМИ МЕТАЛЛАМИ ВОКРУГ МУНИЦИПАЛЬНОГО ПОЛИГОНА ТВЕРДЫХ БЫТОВЫХ ОТХОДОВ <i>Атоева Г. Р., Алибоева М. А.</i>	20
ВЛИЯНИЕ ФЕРТИГАЦИИ МИНЕРАЛЬНЫМИ УДОБРЕНИЯМИ НА ПИТАТЕЛЬНЫЙ РЕЖИМ СЕРОЗЕМОВ, РОСТ, РАЗВИТИЕ И УРОЖАЙНОСТЬ ГРЕЦКОГО ОРЕХА В УСЛОВИЯХ ЗЕРАВШАНСКОЙ ДОЛИНЫ УЗБЕКИСТАНА <i>Ортиков Т. К., Усмонов Р. С.</i>	31
ТАКСОНОМИЧЕСКИЙ СОСТАВ И ЗНАЧЕНИЕ МАКРОЗООБЕНТОСА, ОБИТАЮЩЕГО В ЦЕНТРАЛЬНОЙ ФЕРГАНЕ (ЯЗЪЯВАНСКОМ ВОДОХРАНИЛИЩЕ) <i>Рахимов М. Ш., Хомидова З. М.</i>	38
ВЛИЯНИЕ НАСЕКОМЫХ-ОПЫЛИТЕЛЕЙ НА СЕМЕННУЮ ПРОДУКТИВНОСТЬ ВИДОВ <i>FERULA SAMARKANDICA</i> KOROVIN И <i>FERULA DSHIZAKENSIS</i> KOROVIN В ГОРНЫХ ЭКОСИСТЕМАХ <i>Усанов У. Н., Халимов Ф. З., Умиров Н. У.</i>	44
ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ ПАРАМЕТРЫ ОКСИДАТИВНОГО СТАТУСА И СОСТОЯНИЕ МИКРОБИОЦЕНОЗА ПРЯМОЙ КИШКИ ПРИ ИММОБИЛИЗАЦИОННОМ СТРЕССЕ У МОРСКИХ СВИНОК В ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ УСЛОВИЯХ <i>Хомидчоновна Ш. Х., Ганижонов П. Х.</i>	50

CONTENTS

Biological sciences

ARTICLES

THE EFFECT OF WATER CHEMICAL COMPOSITION ON AQUATIC TRUE BUGS (<i>HETEROPTERA</i>) <i>Begliov S., Gandjaeva L.</i> 5	5
FAUNA AND BIOECOLOGICAL CHARACTERISTICS OF FISH IN DRAINAGE CANALS OF THE FERGANA VALLEY <i>Mamurova M. Kh., Nazarov M. Sh., Mirzakhililov M. M., Mukimov M. A.</i> 14	14
ASSESSMENT OF THE ECOLOGICAL RISK OF SOIL CONTAMINATION BY HEAVY METALS IN THE VICINITY OF A MUNICIPAL SOLID WASTE LANDFILL <i>Atoeva G. R., Aliboeva M. A.</i> 20	20
INFLUENCE OF FERTIGATION WITH MINERAL FERTILIZERS ON THE NUTRITIONAL REGIME OF SERIOZEMS, GROWTH, DEVELOPMENT AND YIELD OF WALNUT IN THE CONDITIONS OF THE ZERAVSHAN VALLEY OF UZBEKISTAN <i>Ortikov T. K., Usmonov R. S.</i> 31	31
THE TAXONOMIC COMPOSITION AND SIGNIFICANCE OF MACROZOOBENTHOS FOUND IN THE CENTRAL FERGANA (YAZYAVON RESERVOIR) <i>Raximov M. Sh., Khomidova Z. M.</i> 38	38
INFLUENCE OF INSECT POLLINATORS ON SEED PRODUCTIVITY OF <i>FERULA SAMARKANDICA</i> KOROVIN AND <i>FERULA DSHIZAKENSIS</i> KOROVIN IN MOUNTAIN ECOSYSTEMS <i>Usanov U. N., Khalimov F. Z., Umirov N. U.</i> 44	44
FUNCTIONAL PARAMETERS OF OXIDATIVE STATUS AND MICROBIOCENOSIS OF THE RECTUM UNDER IMMOBILIZATION STRESS IN GUINEA PIGS IN EXPERIMENTAL CONDITIONS <i>Khomidchonova Sh. Kh., Ganizhonov P. Kh.</i> 50	50



ВЛИЯНИЕ ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА ВОДЫ НА ВОДНЫХ ПОЛУЖЕСТКОКРЫЛЫХ (*HETEROPTERA*)

¹Беглиев С., ²Ганджаева Л. ORCID ID 0000-0001-8072-3118

¹Хорезмская академия Мамуна, Хива, Узбекистан, e-mail: begliyev@mail.ru;

²Ташкентский международный университет Кимё, Ташкент, Узбекистан

Настоящая исследовательская работа была проведена с целью изучения таксономического состава, экологических особенностей и пространственного распределения водных клопов (*Heteroptera*) в различных типах водоёмов Хорезмской области. Исследования осуществлялись в течение 2023–2025 гг. на стоячих и проточных водных объектах, включая каналы, арыки и мелководные застойные участки. В результате анализа установлено, что фауна водных полужесткокрылых региона представлена тремя инфраотрядами: *Gerromorpha*, *Nepomorpha* и *Leptopodomorpha*. В их составе идентифицировано 9 крупных таксонов, включающих 11 семейств и 13 подсемейств, относящихся к 18 родам и 12 под родам. Всего зарегистрировано 35 видов и 9 подвидов водных клопов. Полученные данные свидетельствуют о значительном влиянии гидрохимических показателей воды, в частности минерализации и содержания растворённого кислорода, на структуру и динамику сообществ водных полужесткокрылых. Представители семейства *Notonectidae* проявляют высокую чувствительность к снижению кислородного режима и повышенной минерализации воды, тогда как виды семейства *Gerridae* характеризуются высокой экологической устойчивостью и способны доминировать в условиях повышенной температуры и сезонных колебаний уровня воды. В стоячих водоёмах преобладали виды *Notonecta glauca*, *Sigara lateralis* и *Hydrometra stagnorum*, тогда как в проточных водоёмах наиболее часто отмечались *Gerris lacustris* и *Corixa dentipes*. В застойных мелководных биотопах зарегистрированы *Nepa cinerea* и *Ranatra linearis*, что подчёркивает их адаптацию к специфическим условиям среды.

Ключевые слова: водные полужесткокрылые, *Hemiptera*, гидробионты, экология, качество воды, адаптации, биоразнообразие

THE EFFECT OF WATER CHEMICAL COMPOSITION ON AQUATIC TRUE BUGS (*HETEROPTERA*)

¹Begliyev S., ²Gandjaeva L. ORCID ID 0000-0001-8072-3118

¹Khorezm Mamun Academy, Khiva, Markaz Str., 1. Uzbekistan, e-mail: begliyev@mail.ru;

²Kimyo International University in Tashkent, Tashkent, Uzbekistan

The present research work was carried out in order to study taxonomic composition, ecological characteristics and spatial distribution of water bugs (*Heteroptera*) in various types of water bodies of the Khorezm region. The studies were carried out during 2023–2025 on standing and flowing water bodies, including canals, aryk and shallow stagnant areas. As a result of the analysis, it was found that the aquatic fauna of the semi-rigid-winged region is represented by three infra-groups: *Gerromorpha*, *Nepomorpha* and *Leptopodomorpha*. In their composition, 9 large taxa have been identified, comprising 11 families and 13 subfamilies belonging to 18 genera and 12 subgenera. In total, 35 species and 9 subspecies of water bugs have been registered. The data obtained show a significant influence of water hydro chemical parameters, in particular mineralization and dissolved oxygen content, on the structure and dynamics of aquatic semi-rigid-winged communities. Members of the family *Notonectidae* show a high sensitivity to reduced oxygen status and increased water mineralization, The species of the family *Gerridae* are characterized by high ecological stability and are able to dominate in conditions of elevated temperatures and seasonal fluctuations of water levels. In standing water bodies, the species *Notonecta glauca*, *Sigara lateralis* and *Hydrometra stagnorum* predominated, while in flowing waters, *Gerris lacustris* and *Corixa dentipes* were most frequently observed. *Nepa cinerea* and *Ranatra linearis* are registered in shallow-water biotopes, highlighting their adaptation to specific environmental conditions.

Keywords: aquatic hemipterans, *Hemiptera*, hydrobionts, ecology, water quality, adaptations, biodiversity

Введение

Водные клопы (отряд *Hemiptera*, подотряд *Heteroptera*) представляют собой ключевую группу насекомых, обитающих в пресноводных экосистемах. Они широко распространены в реках, озёрах, каналах, прудах, а также во временных водоёмах. Благодаря высокой численности и видовому разнообразию водные клопы играют важную роль в структуре и функционировании гидробиоценозов [1–3]. На международном уровне водомерки рассматриваются

не только с биологической и экологической точки зрения, но и как важные биоиндикаторы, позволяющие оценивать состояние водных ресурсов, мелиорацию земель и физико-химические параметры воды [4; 5]. Распространение водных клопов зависит от типа водоёма, климатических условий, растительного покрова и антропогенного воздействия. За последние десятилетия проведено множество исследований, посвящённых систематике, экологии и биогеографии водных клопов [6–8].

Таблица 1

Объекты исследования водяных клопов в разных районах Хорезмской области в 2023-2025 гг. (места отбора проб)

№	Наименование объекта	Территория	Координаты
1	Крупный канал Амударья	Ургенчский район	41.5540° с.ш., 60.6190° в.д.
2	Канал Палван	Шаватский район	41.4300° с.ш., 60.4300° в.д.
3	Озеро Дауткель	Гурленский район	41.2900° с.ш., 60.3800° в.д.
4	Оросительный канал	Янгибазарский район	41.5000° с.ш., 60.7500° в.д.
5	Пруд (центр Хорезма)	Хивинский район	41.3800° с.ш., 60.3600° в.д.
6	Прибрежная зона	Лалмикорская заболоченная территория	41.2100° с.ш., 60.8200° в.д.

Результаты показывают значительные изменения их ареалов, связанные с климатическими изменениями, истощением водных ресурсов, антропогенной нагрузкой и деградацией водных экосистем [9; 10].

В Центральной Азии, включая Узбекистан, исследования водных клопов начались в конце XIX века и получили активное развитие в XX веке [11]. Тем не менее имеющиеся публикации содержат лишь фрагментарные данные о распространении этих насекомых, при этом большинство видов зарегистрировано лишь в отдельных районах страны.

Цель данного исследования – изучение влияния химического состава воды на видовое разнообразие водных клопов в Хорезме. Результаты позволят выявить закономерности их распространения, экологические предпочтения и роль водомерок в локальных пресноводных экосистемах.

Материалы и методы исследования

Учеты проводились с марта до сентября. Изучение водных клопов нами проводилось в некоторых объектах в 2023-2025 гг. (табл. 1).

В рамках данного исследования применялись следующие основные методы: сбор водных клопов с помощью сачков и гидробиологических пробоотборников; определение видового состава по морфологическим признакам; количественный учёт, заключающийся в подсчёте особей на единицу площади или объёма; а также анализ сезонной динамики численности [12; 13].

Исследования проводились с учётом сезонных этапов развития водных клопов. Весной (март–апрель) насекомые пробуждаются от зимней диапаузы. В этот период отмечается появление первых имаго и личинок, начинается размножение. Весенний этап является важным для формирования годовой серии наблюдений. Физико-химические параметры воды (температура, pH, содержание кислорода) фиксировались с использованием портативных приборов [14-16].

Обзор научно-исследовательских публикаций и материалов о водных клопах, об изучении фаунистического и зоогеографического анализа в районах Хорезма позволяет сделать вывод о том, что водные полужесткокрылые в этих регионах изучены недостаточно [17; 18].

Несмотря на важное экономическое и экологическое значение водных клопов, их видовой состав, биоэкологические особенности по отдельным видам и их географическое распространение по регионам Узбекистана, а также роль клопов в природных водных экосистемах Республики до сих пор остаются малоизученными [19; 20].

Результаты исследования и их обсуждение

По результатам исследований фауна водомерок в Хорезмской области делится на три основных инфраотряда: *Gerromorpha*, *Nepomorpha* и *Leptopodomorpha*. В этих инфраотрядах идентифицировано в общей сложности 9 надсемейств, 11 семейств и 13 подсемейств. Водомерки относятся к 18 родам и 12 под родам, всего зарегистрировано 35 основных видов и 9 подвидов. Эти данные свидетельствуют о таксономическом разнообразии и биологическом богатстве фауны водомерок в Хорезмском оазисе.

1. GERROMORPHA Popov, 1971

• Gerridae Leach, 1815, семейство

- *Aquarius paludum paludum* (Fabricius, 1794)

- *Limnopus rufoscutellatus* (Latreille, 1807)

- *Gerris (Gerris) argentatus* (Schummel, 1832)

- *Gerris (Gerris) costae* (Herrich-Schaeffer, 1850) и 3 подвида

- *Gerris (Gerris) lacustris* (Linnaeus, 1758)

- *Gerris (Gerris) thoracicus* (Schummel, 1832)

- *Gerris (Gerris) odontogaster* (Zetterstedt, 1828)

- *Gerris (Gerriselloides) lateralis* (Schummel, 1832)
 - *Heterobates dohrandti* (Bianchi, 1896)
 - **Veliidae Brullé, 1836**, семейство
 - *Microvelia (Microvelia) buenoi* (Drake, 1920)
 - *Microvelia (Microvelia) reticulata* (Burmeister, 1835)
 - *Microvelia (Picaultia) pygmaea* (Dufour, 1833)
 - *Velia (Plesiovelia) affinis affinis* (Kolenati, 1857)
 - **Hebridae Amyot & Serville, 1843**, семейство
 - *Hebrus (Hebrus) kiritshenkoi* (Kanyukova, 1997)
 - *Hebrus (Hebrus) oxianus* (Kanyukova, 1997)
 - *Hebrus (Hebrus) pilipes* (Kanyukova, 1997)
 - *Hebrus (Hebrus) pusillus pusillus* (Fallén, 1807)
 - *Hebrus (Hebrusella) ruficeps* (Thomson, 1871)
 - **Hydrometridae Billberg, 1820**, семейство
 - *Hydrometra stagnorum* (Linnaeus, 1758)
 - *Hydrometra gracilentia* (Horváth, 1899)
 - **Mesoveliidae Douglas & Scott, 1867**, oilasi
 - *Mesovelia thermalis* (Horváth, 1915)
 - *Mesovelia furcata* (Mulsant & Rey, 1852)
2. НЕПОМОРФА Попов, 1968
- **Nepidae Latreille, 1802**, семейство
 - *Nepa cinerea* (Linnaeus, 1758)
 - *Ranatra (Ranatra) linearis* (Linnaeus, 1758)

- **Notonectidae Latreille, 1802**, семейство
 - *Notonecta (Notonecta) glauca glauca* (Linnaeus, 1758)
 - **Corixidae Leach, 1815**, семейство
 - *Corixa dentipes* (Thomson, 1869)
 - *Sigara (Sigara) assimilis* (Fieber, 1848)
 - *Sigara (Pseudovermicorixa) nigrolineata nigrolineata* (Fieber, 1848)
 - **Micronectidae Jaczewski, 1924**, семейство
 - *Micronecta (Micronecta) minutissima* (Linnaeus, 1758)
 - **Naucoridae Leach, 1815**, семейство
 - *Pyocoris cimicoides cimicoides* (Linnaeus, 1758)
3. ЛЕПТОПОДОМОРФА
- **Saldidae Amyot & Serville, 1843**, семейство
 - *Macrosaldula scotica* (Curtis, 1835)
 - *Saldula melanoscela* (Fieber, 1859)
 - *Saldula orthochila* (Fieber, 1859)

Полученные результаты подтверждают возможность использования водных полужесткокрылых (*Heteroptera*) в качестве биоиндикаторов состояния водной среды. Изучение видового состава и численности этих насекомых имеет важное практическое значение, поскольку позволяет эффективно планировать мероприятия по контролю за вредителями. В условиях усиления антропогенной нагрузки и изменения гидрологических режимов особое значение приобретает постоянный мониторинг водных клопов как элемента системы экологического контроля (рис. 1).

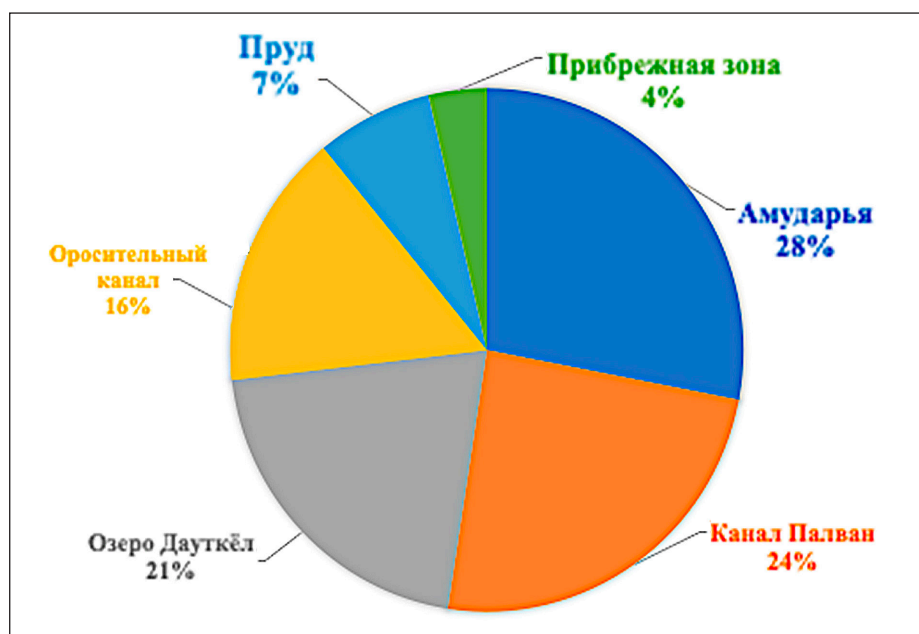


Рис. 1. Результаты мониторинга водных клопов на водоемах Хорезмской области (2023–2025 гг.)
 Источник: составлено авторами по результатам собственных исследований

Таблица 2

Гидрохимическая характеристика водоёмов Хорезмской области (2023–2025 гг.)

Водоём/ показатель	Темпера- тура, °С	Прозрач- ность, см	Минерали- зация, г/л	pH	Растворённый О ₂ , мг/л	Органические вещества, мг/л
Амударья	17–28	35–50	0.5–1.2	7.2–8.1	6.5–8.0	3.0–5.5
Пальван канал	18–29	30–45	0.6–1.0	7.3–8.0	5.8–7.5	2.5–4.8
Озеро Дауткёль	16–27	25–40	0.4–0.9	7.0–7.8	6.2–7.8	2.0–4.0
Орловский оросительный канал	18–30	20–35	0.7–1.3	7.4–8.2	5.5–7.2	3.2–5.0
Пруд	17–28	15–30	0.8–1.4	7.5–8.3	5.0–6.8	3.5–6.0
Береговая зона	16–26	10–25	0.3–0.8	7.1–7.9	6.0–7.0	1.5–3.5

Для изучения условий обитания гидробионтов и влияния водной среды на прибрежную энтомофауну в период полевых исследований (2023–2025 гг.) был проведен комплексный гидрохимический анализ ключевых водных объектов Хорезмской области. Анализ включал измерения в различных типах водоемов: магистральных каналах, озерах, оросительной сети и стоячих водах (табл. 2).

Гидрохимический анализ исследованных водоёмов Хорезмской области, по данным собственных наблюдений за 2023–2025 гг., показал следующие особенности:

1. Температура воды колебалась от 16 до 30 °С в зависимости от сезона и типа водоёма. Наибольшие значения отмечались в оросительных каналах и водохранилищах летом, а минимальные – в мелких стоячих водоёмах.

2. Прозрачность воды варьировала от 10 до 50 см. Наибольшая прозрачность характерна для больших рек, таких как Амударья, а минимальная – для мелких каналов и прибрежных зон.

3. Минерализация составила 0.3–1.4 г/л. Наиболее пресной была вода в прибрежных зонах и озёрах, более солёной – в оросительных каналах и прудах, что связано с интенсивным испарением и поступлением минеральных солей.

4. pH воды колебался от 7.0 до 8.3, что соответствует слабощелочной реакции. В целом водоёмы характеризуются стабильным pH, благоприятным для большинства пресноводных организмов.

5. Содержание растворённого кислорода в воде находилось в диапазоне 5.0–8.0 мг/л. Более высокие показатели зафиксированы в проточных водоёмах, а в стоячих водоёмах и каналах кислородное насыщение было ниже, что связано с биохимическим потреблением кислорода.

6. Органическое вещество колебалось от 1.5 до 6.0 мг/л, что указывает на умеренное органическое загрязнение. Высшие значения отмечены в прудах и мелких каналах с низким течением.

В целом, гидрохимическая характеристика водоёмов Хорезмской области за 2023–2025 гг. свидетельствует об умеренно минерализованных водах с нейтрально-щелочной реакцией и достаточным кислородным насыщением, что создаёт благоприятные условия для водной флоры и фауны региона.

По данным определено, что представитель семейства *Notonectidae* чувствителен к снижению содержания растворённого кислорода и повышенной минерализации воды. Высокая численность *N. glauca* указывает на удовлетворительное качество воды с достаточным кислородным режимом и умеренной минерализацией. Снижение численности может свидетельствовать о загрязнении или деградации водоёма. Кроме того, выявлено, что некоторые виды могут служить индикаторами экологического состояния водоёмов: *Notonecta glauca* предпочитает чистые, слабо заросшие водоёмы; представители родов *Corixa* и *Sigara* устойчивы к умеренному уровню загрязнения; *Hydrometra* характерны для водоёмов с развитой прибрежной растительностью. Исследования также показали, что *Sigara assimilis* относительно устойчив к изменениям качества воды, но чувствителен к органическому загрязнению и эвтрофикации. Наблюдения показали, что присутствие *S. assimilis* в водоёме может указывать на умеренно загрязнённые или богатые органикой водоёмы. В таблице 3 выделены четыре вида из 35 зарегистрированных как биоиндикаторы. Ниже представлен их видовой состав и предпочитаемая среда обитания.

Таблица 3

Водные клопы – индикаторы состояния водной среды

Вид	Предпочитаемая среда	На что может указывать
<i>Notonecta glauca</i>	Чистые и умеренно загрязнённые воды	Хорошее кислородное состояние
<i>Sigara assimilis</i>	Каналы и сточные воды	Высокая органическая нагрузка
<i>Corixa dentipes</i>	Загрязнённые и стоячие водоёмы	Устойчивость к эвтрофикации
<i>Gerris lacustris</i>	Чистые поверхностные воды	Относительная стабильность экосистемы

Источник: по результатам собственных исследований.

Температурный режим водоёма является одним из ключевых факторов, определяющих жизнедеятельность водных полужесткокрылых (*Heteroptera*). Для представителей семейств *Notonectidae* (плавтусы, или спиноплавы) и *Gerridae* (водомерки) температура воды влияет на метаболизм, скорость развития, распределение и сезонную динамику численности. Температура, содержание кислорода и минерализация воды являются ключевыми факторами, влияющими на развитие водных полужесткокрылых в Хорезме. Для проведения сравнительного анализа влияния температуры воды на водных клопов было осуществлено исследование с участием представителей двух семейств –

Notonectidae и *Gerridae*. Проведённые исследования влияния температуры воды на водных клопов показали, что температурный фактор оказывает определяющее воздействие на их активность, численность и пространственное распределение (рис. 2).

При низких температурах воды (10–15 °С) отмечается общее снижение физиологической и трофической активности водных полужесткокрылых. Так, представители семейства *Notonectidae* становятся малоподвижными и значительно реже проявляют охотничье поведение. Аналогичная тенденция наблюдается у *Gerridae*, численность которых в холодных водоёмах существенно ограничена (рис. 2).

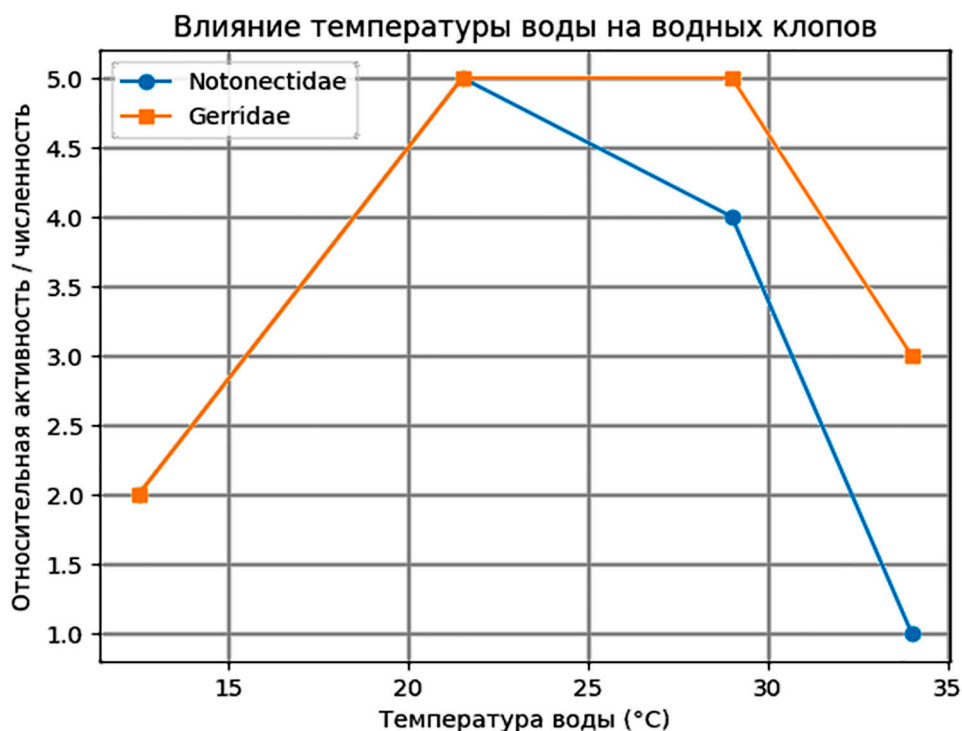


Рис. 2. Влияние температуры воды на два семейства – *Notonectidae* и *Gerridae*
 Источник: составлено авторами по результатам собственных исследований

Умеренный температурный диапазон (18–25°C) формирует оптимальные условия для развития большинства видов. В этих условиях у *Notonectidae* ускоряется развитие личиночных стадий, повышается интенсивность охоты и наблюдается рост численности популяций. Представители семейства *Gerridae* при данной температуре достигают максимальной численности, особенно в мелких, хорошо прогреваемых водоёмах и оросительных каналах (рис. 2).

При повышенной температуре воды (26–32 °C) *Notonectidae* сохраняют высокую активность, однако при длительном воздействии температур выше 30 °C отмечается снижение их численности, что связано с уменьшением содержания растворённого кислорода и усилением межвидовой конкуренции. В то же время *Gerridae* демонстрируют сравнительно высокую устойчивость к повышенным температурам, сохраняя значительную численность в тёплых, солнечных и слабопроточных водоёмах (рис. 2).

Критически высокие температуры воды (выше 33 °C), характерные для летнего периода, оказывают отрицательное влияние на численность водных клопов. У представителей *Notonectidae* наблюдается резкое сокращение популяций, особенно в пересыхающих и перегретых водоёмах. *Gerridae* способны выживать при таких условиях более продолжительное время, однако также снижают активность и смещаются в более глубокие или затенённые участки водоёмов (рис. 2). Сравнительный анализ численности этих семейств позволяет оценивать температурный режим и уровень устойчивости экосистемы (табл. 4).

Notonectidae могут быть индикаторами умеренно тёплых, хорошо прогретых, но не перегретых водоёмов. *Gerridae* показывают большую устойчивость и способны доминировать в условиях высокой температуры и сезонного колебания уровня воды. Например, при 25–28 °C ускоряется рост личинок *Notonectidae* и *Gerridae*, тогда как при температурах выше 30 °C увеличивается их смертность.

Таблица 4

Влияние температуры воды на численность *Notonectidae* и *Gerridae*

Температура (°C)	Численность <i>Notonectidae</i>	Численность <i>Gerridae</i>
15	40	30
20	70	50
25	120	90
28	150	110
30	100	80
32	60	40

Источник: по результатам собственных исследований.

Таблица 5

Основные параметры воды и их влияние на водных клопов

Показатель	Влияние на водных клопов	Чувствительные/устойчивые виды
Кислород (O ₂)	Недостаток кислорода снижает активность и выживаемость	<i>Notonecta glauca</i> чувствительны
pH	Оптимум 6.5–8.5; при отклонении – угнетение метаболизма	<i>Corixa</i> , <i>Sigara</i> устойчивы к слабощелочной среде
Минерализация (солёность)	Умеренная солёность допустима для некоторых видов	<i>Gerris</i> , <i>Hydrometra</i> переносят солоноватые воды
Нитраты, аммиак	Токсичны в высоких концентрациях, вызывают гибель личинок	<i>Nepa</i> , <i>Notonecta</i> чувствительны
Органическое загрязнение (БПК)	При высоком содержании органики – изменение структуры сообществ	<i>Sigara assimilis</i> и <i>Corixa dentipes</i> устойчивы
Температура	Повышение ускоряет развитие, но при перегреве – летальный исход	Все виды имеют температурные пределы активности

Источник: по результатам собственных исследований.

В рамках исследования проводился анализ влияния химических показателей воды на водных клопов, что позволило выявить их роль в распределении видов и оценить экологические условия водоёмов региона. *Nepidae*, обитающие в заиленных и застойных водоёмах, особенно чувствительны к уровню кислорода. Высокая минерализация воды снижает численность *Nepidae*. Ниже представлены данные об устойчивости водных клопов к различным условиям воды (табл. 5).

Влияние содержания растворённого кислорода в воде имеет выраженную специфику для различных семейств водных клопов. Полученные данные свидетельствуют о том, что высокое содержание кислорода (6–10 мг/л) является благоприятным фактором для представителей семейства *Naucoridae*, у которых отмечаются высокая двигательная и трофическая активность, увеличение численности популяций, а также успешная охота на личинок рыб и амфибий. Представители семейства *Nepidae* также встречаются при данных условиях, однако их численность в большей мере определяется степенью развития водной растительности и наличием подходящего субстрата, а не уровнем аэрации воды.

При среднем содержании растворённого кислорода (3–5 мг/л) *Naucoridae* сохраняют относительно стабильные популяции, хотя наблюдается некоторое снижение активности. В то же время *Nepidae* регистрируются чаще, поскольку обладают способностью выживать в условиях умеренной аэрации благодаря использованию атмосферного воздуха для дыхания.

Низкое содержание растворённого кислорода (менее 3 мг/л) оказывает негативное воздействие на представителей семейства

Naucoridae, численность которых резко сокращается вследствие снижения охотничьей активности и уменьшения выживаемости личиночных стадий. В отличие от них, *Nepidae* демонстрируют высокую устойчивость к гипоксическим условиям, поскольку их дыхание практически не зависит от концентрации кислорода в воде. Это позволяет им заселять заиленные и эвтрофированные водоёмы.

Минерализация воды является одним из ключевых гидрохимических факторов, определяющих условия существования гидробионтов. Для водных полужесткокрылых (*Heteroptera*), в частности представителей семейств *Gerridae* (водомерки) и *Nepidae* (водные скорпионы), уровень минерализации оказывает существенное влияние на их пространственное распределение, численности и эколого-физиологические особенности. Представители *Gerridae* обитают преимущественно на поверхности воды и отличаются высокой чувствительностью к изменениям поверхностного натяжения, солевого состава и pH среды. *Nepidae*, напротив, ведут преимущественно донный образ жизни, предпочитая стоячие или слаботекущие водоёмы с развитой водной растительностью, и используют дыхательный сифон для доступа к атмосферному воздуху (рис. 3).

При низкой минерализации воды (0,2–0,5 г/л) формируются оптимальные условия для большинства видов *Gerridae*. В таких водоёмах отмечается их высокая численность, особенно в пресных реках, каналах и озёрах. Представители семейства *Nepidae* при данных условиях встречаются реже, поскольку предпочитают биотопы с более высоким содержанием органического вещества.

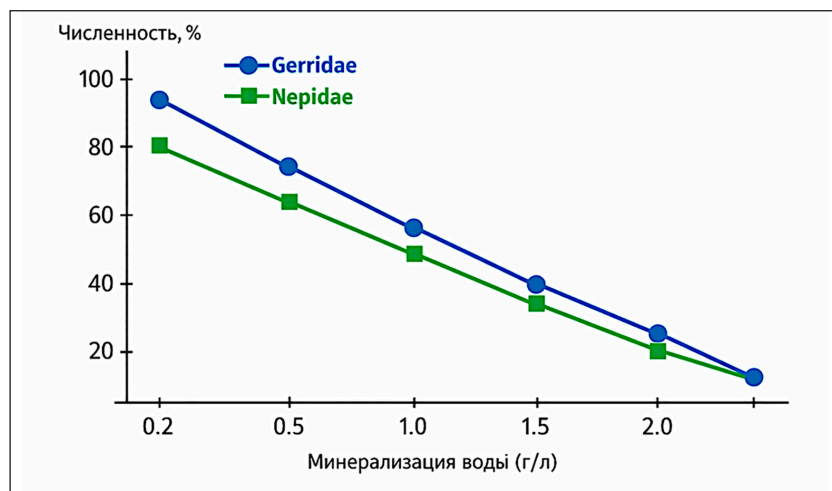


Рис. 3. Влияние температуры воды на два семейства – *Nepidae* и *Gerridae*
 Источник: составлено авторами по результатам собственных исследований

Средний уровень минерализации (1–3 г/л) характеризуется сохранением относительно устойчивых популяций *Gerridae*, однако их численность постепенно снижается. Для *Nepidae* такие условия являются благоприятными: они чаще заселяют водоёмы с умеренной минерализацией и повышенной трофностью, где обеспечены подходящие условия для укрытия и охоты.

Высокая минерализация воды (5–10 г/л и более) оказывает отрицательное воздействие на представителей *Gerridae*, которые при таких условиях практически исчезают. Это связано с нарушением поверхностного натяжения воды и осмотического баланса, что затрудняет их нормальную жизнедеятельность. *Nepidae* в водоёмах с высокой минерализацией встречаются единично, однако отдельные виды проявляют сравнительно высокую устойчивость благодаря донному образу жизни и способности дышать атмосферным воздухом.

На рисунке 3 отражена зависимость численности представителей семейств *Gerridae* и *Nepidae* от уровня минерализации воды. При низкой минерализации (0,2–0,5 г/л) отмечается высокая численность *Gerridae*, достигающая максимальных значений, что свидетельствует об оптимальных условиях для их обитания. С увеличением минерализации до 1,0–2,0 г/л наблюдается резкое снижение численности *Gerridae*, что связано с нарушением поверхностного натяжения воды и осмотического баланса. Численность *Nepidae* во всём диапазоне минерализации ниже по сравнению с *Gerridae*, однако снижение происходит более постепенно. Это указывает на относительную устойчивость представителей данного семейства к повышенной минерализации, обусловленную донным образом жизни и использованием атмосферного воздуха для дыхания. В целом результаты подтверждают, что *Gerridae* являются более чувствительными к изменениям минерализации воды и могут рассматриваться как индикаторы пресных водоёмов, тогда как *Nepidae* демонстрируют более широкую экологическую пластичность.

Густота водной растительности, глубина водоёма, температурный режим воды, а также степень её загрязнения напрямую влияют на численность и видовое разнообразие водных насекомых. Фауна водных полужесткокрылых Хорезмской области отличается высоким уровнем разнообразия и включает как широко распространённые, так и локально встречающиеся виды. По результатам учётов установлено, что в стоячих водоёмах преобладали *Notonecta glauca*, *Sigara lateralis* и *Hydrometra stagnorum*,

тогда как в проточных водоёмах (каналах и арыках) наиболее часто отмечались *Gerris lacustris* и *Corixa dentipes*. В застойных мелководных участках были зарегистрированы такие виды, как *Nepa cinerea* и *Ranatra linearis*.

Заключение

Изучение водных клопов имеет важное значение для гидробиологии, экологии и природоохранной деятельности. Эти насекомые могут использоваться как биоиндикаторы состояния водоёмов и одновременно как естественные регуляторы численности насекомых-вредителей. В условиях изменения климата и антропогенного давления становятся особенно актуальными исследования их биоразнообразия и экологии.

Вода является ключевым лимитирующим фактором для водных полужесткокрылых. Температура, содержание кислорода, минерализация и колебания уровня воды оказывают прямое влияние на их численность, распределение и жизненный цикл. Благодаря высокой чувствительности к изменениям качества воды водные полужесткокрылые могут использоваться как индикаторы состояния пресноводных экосистем. Полученные данные подтверждают необходимость комплексного изучения этой группы для мониторинга водных биоценозов.

Состав воды напрямую влияет на структуру и динамику сообществ водных полужесткокрылых. Воды с низким загрязнением и стабильным кислородным режимом обогащены разнообразием видов. В эвтрофных и сточных водоёмах доминируют устойчивые, малочувствительные формы. Таким образом, водные клопы могут выступать как биоиндикаторы качества воды и использоваться в экологическом мониторинге.

Список литературы

1. Jantachid N., Boonsoong B., Diloknorrant K., Vith-epradit A. Species assemblages of aquatic and semi-aquatic true bugs (*Hemiptera*, *Heteroptera*) of anthropogenic ponds of the green zone in Bangkok, Thailand // *Biodiversity Data Journal*. 2025. № 13. P. e154135. DOI: 10.3897/BDJ.13.e154135.
2. Cochard R., Maneepitak S., Kumar P. Aquatic faunal abundance and diversity in relation to synthetic and natural pesticide applications in rice fields of Central Thailand // *International Journal of Biodiversity Science, Ecosystem Services and Management*. 2014. № 10 (2). P. 157–173. DOI: 10.1080/21513732.2014.892029.
3. Cozma N. J., Vad C. F., Horváth Z., Kiss B., Müller Z., Viski V. B., Lengyel S. Extreme weather drives spatial and temporal variation in water bug (*Heteroptera*: *Gerromorpha*, *Nepomorpha*) assemblages in soda pans in Hungary // *Inland Waters*. 2020. № 10 (3). P. 397–408. DOI: 10.1080/20442041.2020.1765713.
4. Bakonyi G., Vásárhelyi T., Szabó B. Pollution impacts on water bugs (*Nepomorpha*, *Gerromorpha*): state of the art and their biomonitoring potential // *Environmental Monitoring and Assessment*. 2022. № 194. P. 301 DOI: 10.1007/s10661-022-09961-2.

5. Backhaus T., Brack W., Van den Brink P. J., Deutschmann B., Hollert H., Posthuma L., Segner H., Seiler T. B., Teodorovic I., Focks A. Assessing the ecological impact of chemical pollution on aquatic ecosystems requires the systematic exploration and evaluation of four lines of evidence // *Environmental Sciences Europe*. 2019. № 31 (1). P. 1–9. DOI: 10.1186/s12302-019-0276-z.
6. Desjonquères C., Rybak F., Ulloa J. S., Kempf A., Bar Hen A., Sueur J. Monitoring the acoustic activity of an aquatic insect population in relation to temperature, vegetation and noise // *Freshwater Biology*. 2018. № 65 (1). P. 107–116. DOI: 10.1111/fwb.13171.
7. Dugan H. A., Bartlett S. L., Burke S. M., Doubek J. P., Krivak-Tetley F. E., Skaff N. K., Summers J. C. Farrell K. J., McCullough M. I., Morales-Williams M. A., Roberts C. D., Ouyang Z., Scordo F., Hansona C. P., Weathers C. K. Salting our freshwater lakes // *Proceedings of the National Academy of Sciences*. 2017. № 114 (17). P. 4453–4458. DOI: 10.1073/pnas.1620211114.
8. Polhemus J. T., Polhemus D. A. Global diversity of true bugs (*Heteroptera*; *Insecta*) in freshwater // *Hydrobiologia*. 2008. № 595. P. 379–391. DOI: 10.1007/s10750-007-9033-1.
9. Giehl N., Brasil L., Dias-Silva K., Nogueira D., Cabette H. Environmental thresholds of *Nepomorpha* in Cerrado Streams, Brazilian Savannah. // *Neotropical Entomology*. 2018. № 48 (2). P. 186–196. DOI: 10.1007/s13744-018-0632-5.
10. Hashimoto K., Eguchi Y., Oishi H., Tazunoki Y., Tokuda M., Sánchez-Bayo F., Goka K., Hayasaka D. Effects of a herbicide on paddy predatory insects depend on their microhabitat use and an insecticide application // *Ecological Applications*. 2019. № 29 (6). P. e01945. DOI: 10.1002/eap.1945.
11. Кулумбетова Т. Т. Насекомые Южного Приаралья // *Вестник ККО АН РУз*. 1998. № 7-3. С. 37–43.
12. Кириченко А. Н. Методы сбора настоящих полужесткокрылых и изучения местных фаун. АН СССР, Зоол. ин-т. Москва, Ленинград: Изд-во АН СССР, 1957. 123 с.
13. Канокова Е. В. Водные и полуводные полужесткокрылые насекомые (*Heteroptera: Nepomorpha, Gerromorpha*) Дальнего Востока России. Владивосток: Дальнаука. 2006. 296 с.
14. Kunc H. P., McLaughlin K. E., Schmidt R. Aquatic noise pollution: Implications for individuals, populations, and ecosystems // *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*. 2016. № 283 (1836). P. 20160839. DOI: 10.1098/rspb.2016.0839.
15. Lock K., Adriaens T., Van De Meutter F., Goethals P. Effect of water quality on waterbugs (Hemiptera: Gerromorpha & Nepomorpha) in Flanders (Belgium): Results from a large-scale field survey // *Annales De Limnologie-International Journal of Limnology*. 2013. № 49. P. 121–128. DOI: 10.1051/limn/2013047.
16. Havemann N., Gossner M. M., Hendrich L., Moriniere J., Niedringhaus R., Schäfer P., Raupach M. J. From water striders to water bugs: The molecular diversity of aquatic *Heteroptera* (*Gerromorpha, Nepomorpha*) of Germany based on DNA barcodes // *PeerJ*. 2018. № 6. P. e4577. DOI: 10.7717/peerj.4577.
17. Lebedeva N. I., Kanyukova E. V., Musaev D. M., Mirzayeva G. S., Valieva M. N., Kholmatov B. R. The semi-aquatic bugs (*Heteroptera: Gerromorpha*) of Uzbekistan. // *Acta Biologica Sibirica* 2024. № 10. P. 471–488. DOI: 10.5281/zenodo.11219323.
18. Лебедева Н. И., Мирзаева Г. С., Холматов Б. Р., Мусаев Д. М., Ахмедов А. Г., Валиева М. Н. Фауна и таксономия водных клопов (*Heteroptera: Nepomorpha, Gerromorpha*) Узбекистана // *Узбекский биологический журнал* 2022. № 3. P. 23–27.
19. Лебедева Н. И., Мусаев Д. М., Мирзаева Г. С., Валиева М. Н. Первые находки клопа *Microvelia (M.) reticulata* (Burmeister, 1835) в водохранилищах Узбекистана // *Вестник Хорезмской академии Мамуна*. 2023. Хива. С. 84–87.
20. Лебедева Н. И., Валиева М. Н., Мирзаева Г. С. Мониторинг водных клопов (*Nepomorpha: Gerromorpha*) в Ташкентском ботаническом саду имени Ф. Н. Русанова // *Материалы V Республиканской научно-практической конференции «Зоологическая наука Узбекистана: современные проблемы и перспективы развития»*, посвященной 85-летию со дня основания Академии наук. 16 ноября 2023 г. Ташкент. С. 60–62.

Конфликт интересов: Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

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

Финансирование: Авторы заявляют об отсутствии внешнего финансирования.

Financing: The research was performed without external funding.



ФАУНА И БИОЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ РЫБ ДРЕНАЖНЫХ КАНАВ ФЕРГАНСКОЙ ДОЛИНЫ

Мамурова М.Х.,

Назаров М. Ш. ORCID ID 0009-0005-6066-7338,

Мирзахалилов М. М. ORCID ID 0000-0002-4038-9191,

Мукимов М. А. ORCID ID 0000-0001-7605-8880

*Ферганский государственный университет, Фергана, Республика Узбекистан,
e-mail: muqimovmuhammadkarim7@gmail.com*

По экологическим свойствам дренажные каналы, как искусственные водоемы, имеют специфическую особенность – вода в них является солоноватой. Целью данной работы является определение видового состава, изучение репродуктивных показателей и взаимозависимости массы и длины тела рыб в дренажных каналах Ферганской долины. Материал для исследования был собран в 2024–2025 гг. в дренажных системах Наманганской, Ферганской и Андижанской областей. Проведена таксономическая идентификация видов на основе современных каталогов и изучены ключевые биоэкологические параметры. Таксономический состав икhtiофауны дренажных канав включает 18 видов рыб, относящихся к 5 отрядам и 10 семействам. Выявлено, что более половины фауны (61 %) составляют интродуцированные виды. Проанализирована динамика развития некоторых репродуктивных показателей самок и самцов *Carassius gibelio* по месяцам. Так, у самок в мае зафиксирована самая высокая масса гонад и, соответственно, максимальные показатели абсолютной и относительной плодовитости. С июля масса гонад и плодовитость резко уменьшились, что свидетельствует об окончании нереста. Согласно анализу гонадо-соматического индекса (ГСИ), периоды созревания половых продуктов у обоих полов *Carassius gibelio* совпадают. Показатель ГСИ начал повышаться в ноябре-декабре, достигая максимума в мае. Анализ связи роста и массы тела показал, что у популяций *Carassius gibelio* и *Hemiculter leucisculus* наблюдается изометрический рост, что указывает на наличие прямой пропорции между линейными и весовыми показателями.

Ключевые слова: икhtiофауна, дренажные каналы, абсолютная плодовитость, относительная плодовитость, гонадо-соматический индекс, изометрический рост

FAUNA AND BIOECOLOGICAL CHARACTERISTICS OF FISH IN DRAINAGE CANALS OF THE FERGANA VALLEY

Mamurova M. Kh.,

Nazarov M. Sh. ORCID ID: 0009-0005-6066-7338,

Mirzakhililov M. M. ORCID ID: 0000-0002-4038-9191,

Mukimov M. A. ORCID ID: 0000-0001-7605-8880

*Fergana State University, Fergana, Republic of Uzbekistan,
e-mail: muqimovmuhammadkarim7@gmail.com*

Due to their ecological properties as artificial water bodies, drainage canals possess a specific feature: their water is brackish. The objective of this study is to determine the species composition, investigate reproductive indicators, and analyze the length-weight relationship of fish in the drainage canals of the Fergana Valley. Research material was collected during 2024–2025 from drainage systems in the Namangan, Fergana, and Andijan regions. Taxonomic identification of species was conducted based on modern catalogs, and key bioecological parameters were examined. The taxonomic composition of the ichthyofauna in the drainage canals includes 18 fish species belonging to 5 orders and 10 families. It was revealed that more than half of the fauna (61 %) consists of introduced species. The monthly developmental dynamics of certain reproductive parameters in female and male *Carassius gibelio* were analyzed. In females, the highest gonad mass and, consequently, maximum absolute and relative fecundity were recorded in May. From July onwards, gonad mass and fecundity decreased sharply, indicating the end of the spawning period. According to the analysis of the gonadosomatic index (GSI), the maturation periods of germ cells in both sexes of *Carassius gibelio* coincide. The GSI began to increase in November-December, reaching its peak in May. The analysis of the relationship between body growth and weight showed that *Carassius gibelio* and *Hemiculter leucisculus* populations exhibit isometric growth, indicating a direct proportion between linear and weight measurements.

Keywords: ichthyofauna, drainage canals, absolute fecundity, relative fecundity, gonadosomatic index, isometric growth

Введение

В настоящее время все засоленные земли в республике обеспечены дренажными канавами, общая протяженность которых составляет 120 тыс. км. Значение дренажных систем заключается в регулировании

водно-солевого режима подземных минерализованных вод на сельскохозяйственных угодьях. Эффективность промывки почв от солей на таких участках резко возрастает, что способствует очищению земли от вредных соединений. Дренажные ка-

навы делятся на два типа: естественные и искусственные. Естественные возникают в результате пересыхания русел рек и озер или вследствие геологических процессов. Искусственные создаются человеком и делятся на пять категорий: 1) открытые горизонтальные; 2) закрытые горизонтальные; 3) вертикальные; 4) смешанные; 5) вакуумные. Глубина залегания канавы напрямую зависит от уровня грунтовых вод: для достижения максимальной эффективности она должна располагаться ниже этого уровня [1; 2]. В течение вегетационного периода при орошении соли из глубоких слоев почвы поднимаются на поверхность, что повышает засоленность земель и снижает урожайность. Для предотвращения этого проводится промывка полей пресной водой, которая затем стекает в дренажные канавы. В отличие от ирригационных каналов, в дренажных системах в течение года сохраняется относительно стабильный режим течения, что создает особые условия для местной экосистемы [3]. Уровень минерализации воды в дренажных канавах Узбекистана колеблется в пределах 3–8 ‰ (промилле). Такая специфическая среда определяет условия обитания рыб. До настоящего времени ихтиологи преимущественно изучали видовое разнообразие рек и водохранилищ, в то время как исследования ихтиофауны дренажных канав Ферганской долины практически не проводились [4]. В связи с этим **целью исследования** стало изучение фауны и биоэкологических особенностей рыб в дренажных системах региона.

Материалы и методы исследования

Материалы для исследования собраны в дренажных канавах вертикального типа Ферганской долины в период с 2024 по 2025 г. Образцы отбирались с интервалом в 10–15 дней с мая по декабрь. Сбор материала осуществлялся с помощью ставных сетей (ячей 10×10 мм; 20×20 мм; 30×30 мм), рыболовных сачков и крючковой снасти. После анестезии рыб фиксировали в 10 %-ном растворе формальдегида, потом через 10 дней их переводили в 70 %-ный этанол. Дальнейшее обработка материала проводилась по общепринятым методикам ихтиологии [5, с. 314–320]. Для определения биологических показателей (Правдин, 1966) проводили следующие измерения: длины тела рыбы без хвостового плавника (L); общая масса тела (Q); масса тела без внутренностей (q); а также определяли пол, стадии зрелости, возраст рыб, абсолютную и относительную плодовитость. Для определения возраста бралась чешуя. Определение возраста рыб производили

по методике Правдина (1966) и Чугуновой (1959). Под индивидуальной абсолютной плодовитостью (ИАП) понимается число яиц, выметываемое самкой в данном нерестовом сезоне. Число ооцитов, отделившееся от общего фонда половой железы и вступившее на путь трофоплазматического роста, следует считать потенциальной сезонной плодовитостью. Для определения абсолютной плодовитости самок рыб из гонады отбиралась навеска массой 1 г, в которой производился полный подсчет количества икринок. Затем полученное число умножалось на общий вес гонады. Индивидуальная относительная плодовитость (ИОП) рассчитывалась как отношение абсолютной плодовитости к весу тела рыбы без учета внутренних органов.

Коэффициент зрелости (Кзр.) рыб определили по формуле

$$\text{Кзр.} = R * 100 / Q,$$

где R – масса гонад, Q – общая масса тела рыб.

Гонадо-соматический индекс (ГСИ) определили по формуле

$$\text{ГСИ} = R \times 100 / q,$$

где q – масса тела рыб без внутренностей [5, с. 107].

Таксономическая идентификация рыб проводилась с использованием определителей М. Kottelat, J. Freyhof. «Handbook of European freshwater fishes» [6], «Разнообразие рыб Узбекистана» И. М. Мирабдуллаева, А. Р. Кузметова, А. Р. Курбанова [7, с. 116] и «Рыбы Узбекистана» И. М. Мирабдуллаева [8, 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: $\log(W) = \log(a) + b * \log(L)$ [9, с. 140]. Все статистические вычисления произведены программой MS Excel 2019.

Результаты исследования и их обсуждение

Воспроизводительная способность рыб включает ключевые компоненты: половую зрелость, репродуктивный период и плодовитость, которые являются жизненно важными характеристиками для понимания жизненного цикла вида [10, с. 3–34].

Гонадо-соматический индекс (ГСИ) использовался в качестве индикатора репродуктивной активности [11, с. 88–89]. При отсутствии данных об икре и личинках ГСИ позволяет определить пиковые периоды нереста. Знание динамики развития гонад необходимо для управления популяциями [4]. Кроме того, внутри одного вида плодовитость может варьироваться в зависимости от адаптации к среде обитания [3; 12].

Установлено, что ихтиофауна дренажных канав Ферганской долины представлена 18 видами рыб относящимися к 5 отрядам и 10 семействам (табл. 1). Среди местных видов не зафиксированы рыбы, занесенные в Красную книгу Узбекистана. Пять видов имеют местное промысловое значение. Из выявленных видов 7 являются аборигенными, а 11 –интродуцированными. Основ-

ную часть фауны канав составляют мелкие виды, не имеющие промыслового значения.

Проанализирована динамика репродуктивных показателей серебряного караса (*Carassius gibelio*) с мая по декабрь (табл. 2). Данный вид размножается в весенне-летний период и относится к порционно нерестующимся рыбам [13]. Согласно табл. 2, именно в мае у самок наблюдается максимальная масса гонад и наиболее высокие показатели абсолютной и относительной плодовитости. В июне, несмотря на сохранение массы гонад на уровне мая, плодовитость снижается, что объясняется порционным выметом икры. С июля масса гонад и плодовитость резко падают, сигнализируя об окончании нерестового сезона. Начиная с ноября показатели потенциальной плодовитости начинают постепенно увеличиваться.

Таблица 1

Таксономический состав ихтиофауны дренажных канав Ферганской долины

Отряд	Семейства	Род	Вид
Cypriniformes Bleeker, 1859	Nemacheilidae Regan, 1911	Triplophysa Rendahl, 1933	<i>Triplophysa strauchii</i> (Kessler, 1874)
	Cyprinidae Rafinesque, 1815	Carassius Jarocki, 1822	<i>Carassius gibelio</i> (Bloch, 1782)
		Cyprinus Linnaeus, 1758	<i>Cyprinus carpio</i> Linnaeus, 1758
		Schizothorax Heckel, 1838	<i>Schizothorax eurystomus</i> Kessler, 1872
	Xenocyprididae Günther, 1868	<i>Ctenopharyngodon</i> Steindachner, 1866	<i>Ctenopharyngodon idella</i> (Valenciennes, 1844)
		<i>Hemiculter</i> Bleeker, 1860	<i>Hemiculter leucisculus</i> (Basilewsky, 1855)
		<i>Hypophthalmichthys</i> Bleeker, 1860	<i>Hypophthalmichthys molitrix</i> (Valenciennes, 1844)
	Acheilognathidae Bleeker, 1863	Rhodeus Agassiz, 1832	<i>Rhodeus ocellatus</i> (Kner, 1866)
	Gobionidae Bleeker, 1861	Abbottina Jordan & Fowler, 1903	<i>Abbottina rivularis</i> (Basilewsky, 1855)
		Gobio Cuvier, 1816	<i>Gobio lepidolaemus</i> Kessler, 1872
		Pseudorasbora Bleeker, 1859	<i>Pseudorasbora parva</i> (Temminck & Schlegel, 1846)
	Leuciscidae Howes, 1991	Alburnus Rafinesque, 1820	<i>Alburnus taeniatus</i> Kessler, 1874
		Leuciscus Cuvier, 1816	<i>Leuciscus squaliusculus</i> (Kessler, 1872)
<i>Rutilus</i> Rafinesque, 1820		<i>Rutilus lacustris</i> (Pallas, 1814)	
Siluriformes Cuvier, 1817	Siluridae Cuvier, 1816	Silurus Linnaeus, 1758	<i>Silurus glanis</i> Linnaeus, 1758
Gobiiformes Günther, 1880	Gobiidae Cuvier, 1816	Rhinogobius Gill, 1859	<i>Rhinogobius cf. lindbergi</i> Berg, 1933
Anabantiformes Britz, 1995	Channidae Scopoli, 1777	Channa Scopoli, 1777	<i>Channa argus</i> (Cantor, 1842)
Cyprinodontiformes Berg, 1940	Poeciliidae Bonaparte, 1831	Gambusia Poey, 1854	<i>Gambusia holbrooki</i> Girard, 1859

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

Таблица 2

Особенности изменения репродуктивной способности у серебряного карася (*Carassius gibelio*) по месяцам в дренажных канавах

Пол	Месяц	n	l, мм	Q, г	q, г	Масса гонад, г	ИАП, шт.	ИОП, шт.	Кзр.	ГСИ
Самка	май	12	149,2 ± 5,1	113,6 ± 8,2	78,9 ± 4,5	22,4 ± 2,1	26615	337	19,8	28,4
Самец	май	10	149,5 ± 4,8	106,4 ± 7,5	87,7 ± 5,1	1,5 ± 0,2	–	–	1,4	1,7
Самка	июнь	8	141,6 ± 6,2	108,7 ± 9,1	77,5 ± 3,8	18,1 ± 1,5	18610	240	16,6	23,5
Самец	июнь	11	139,2 ± 3,9	79,2 ± 6,4	65,5 ± 4,2	0,6 ± 0,1	–	–	0,75	0,9
Самка	июль	15	121,5 ± 4,4	62,3 ± 5,7	49,4 ± 3,1	3,8 ± 0,4	5827	118	6,1	7,7
Самец	июль	9	120,9 ± 5,3	59,8 ± 4,9	48,5 ± 2,8	0,5 ± 0,1	–	–	0,8	1,0
Самка	август	7	190,9 ± 10,2	102,9 ± 8,5	82,4 ± 6,4	6,7 ± 0,8	6110	74	6,5	8,1
Самец	август	6	131,7 ± 7,1	66,0 ± 5,2	55,2 ± 3,9	1,1 ± 0,2	–	–	1,6	2,0
Самка	сентябрь	10	121,1 ± 4,2	64,8 ± 5,1	53,1 ± 3,5	2,2 ± 0,3	3756	71	3,4	4,1
Самка	октябрь	14	112,3 ± 3,8	43,5 ± 4,2	38,9 ± 2,9	1,0 ± 0,1	3131	80	2,3	2,5
Самец	октябрь	12	110,9 ± 3,5	44,7 ± 3,8	40,6 ± 3,1	0,5 ± 0,1	–	–	1,0	1,1
Самка	ноябрь	9	115,0 ± 4,7	48,7 ± 4,5	42,0 ± 3,4	2,3 ± 0,4	6987	166	4,7	5,5
Самец	ноябрь	10	123,7 ± 5,2	59,3 ± 5,6	52,1 ± 4,0	1,1 ± 0,2	–	–	1,8	2,0
Самка	декабрь	8	105,9 ± 3,9	39,3 ± 3,1	31,8 ± 2,5	1,9 ± 0,3	6680	210	4,8	5,9

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

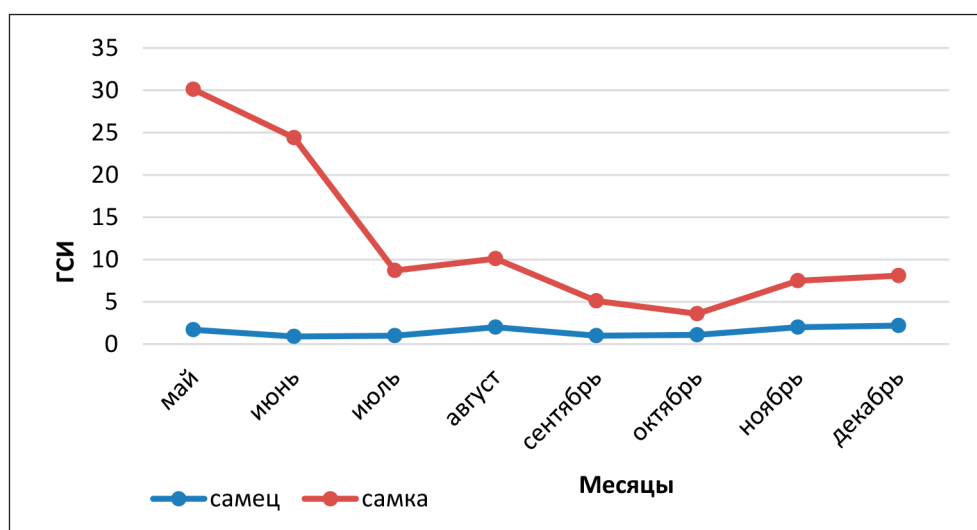


Рис. 1. Динамика развития гонадо-соматического индекса (ГСИ) по месяцам у самок и самцов *Carassius gibelio*
Примечание: составлен авторами

Значения коэффициента *b*, близкие к 3,0, полученные для *Carassius gibelio* и *Hemiculter leucisculus*, указывают на изометрический характер роста, при котором масса тела увеличивается пропорционально длине. Следует подчеркнуть, что изометрия сама по себе не является прямым индикатором «благоприятных условий», однако в сочетании с гидрохимическими характе-

ристиками среды она может отражать отсутствие выраженного физиологического стресса у рыб в данных водоемах.

Анализ гонадо-соматического индекса показал, что периоды созревания яйцеклеток и сперматозоидов у самок и самцов совпадают. У особей обоих полов значения индекса начинают расти в ноябре-декабре, достигая максимума в мае (рис. 1).

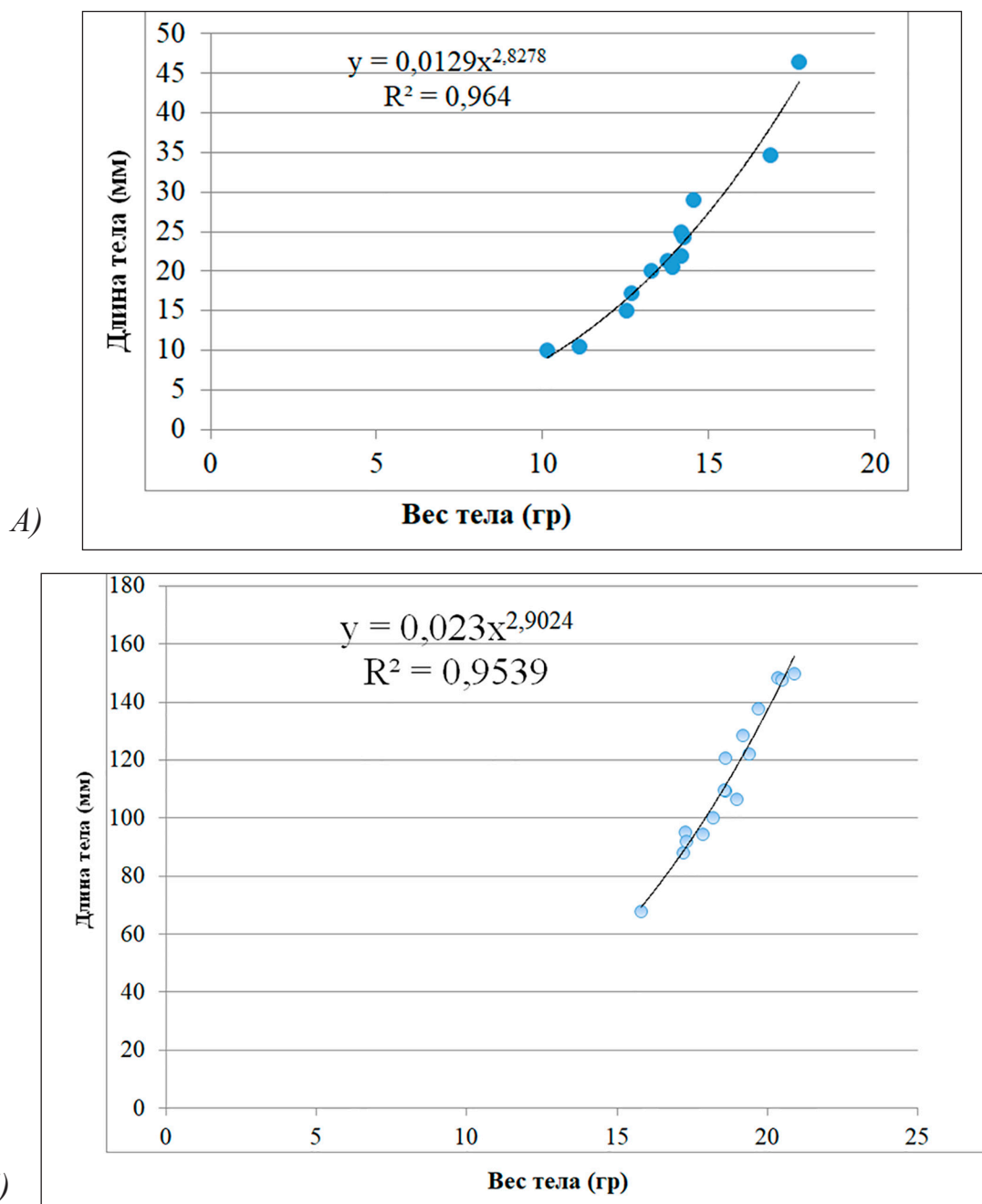


Рис. 2. Линейно-логарифмическое выражение связи длины и массы тела у *Hemiculter leucisculus* (А) и *Carassius gibelio* (Б)
Примечание: составлен авторами

Взаимосвязь между линейным ростом и массой тела имеет важное диагностическое значение. Уравнение зависимости «длина – масса» (LWR) отражает экологическое состояние популяции в конкретном водоеме. Коэффициент b в норме находится в диапазоне 2,5–3,5. У *Carassius gibelio* и *Hemiculter leucisculus*, обитающих в дренажных канавах, этот показатель составил около 3,0, что характеризует изометриче-

ский рост (рис. 2). Полученные значения коэффициента b ($\approx 3,0$) для *Carassius gibelio* и *Hemiculter leucisculus* свидетельствуют об изометрическом росте, при котором масса тела увеличивается пропорционально длине. Это отражает стабильность формы тела рыб в условиях дренажных канав. Однако изометрический рост сам по себе не является доказательством благоприятных условий среды и должен ин-

терпретироваться только в сочетании с гидрохимическими и физиологическими показателями [14; 15].

Заключение

Исследование показало, что ихтиофауна дренажных каналов Ферганской долины включает 18 видов (из 5 отрядов и 10 семейств), при этом значительную долю (61 %) составляют виды-интродуценты. Изучение репродуктивных особенностей *Carassius gibelio* подтвердило порционный характер икрометания с пиком активности в мае. Резкое снижение репродуктивных показателей, наблюдаемое с июля, указывает на завершение нерестового периода. Начало роста потенциальной плодовитости и ГСИ в ноябре свидетельствует о запуске очередного цикла гонадогенеза.

Выявленный изометрический рост ($b \approx 3,0$) у *Hemiculter leucisculus* и *Carassius gibelio* свидетельствует о сбалансированном соотношении линейного роста и набора массы тела. В условиях специфической экосистемы дренажных канав это указывает на эффективную адаптацию данных популяций к гидрологическому режиму и текущей кормовой базе, что обеспечивает стабильное воспроизводство видов.

Список литературы

1. ШНК 3.02.01-19. Земляные сооружения, основания и фундаменты: градостроительные нормы и правила. Ташкент: Министерство строительства Республики Узбекистан, 2019. 161 с. URL: https://mc.uz/uploads/mcuz_8223227347559.pdf (дата обращения: 20.03.2026).
2. Pander J., Casas-Mulet R., Geist J. Contribution of a groundwater-influenced hinterland drainage system to the restoration of salmonid spawning grounds at the upper river Danube // *Frontiers in Environmental Science*. 2023. Т. 11. С. 1124797. DOI: 10.3389/fenvs.2023.1124797.

3. Jia Z. et al. Salinity dynamics of wetland ditches receiving drainage from irrigated agricultural land in arid and semi-arid regions // *Agricultural water management*. 2011. Т. 100. № 1. С. 9–17. DOI: 10.1016/j.agwat.2011.08.026.

4. Hasan T., Hossain M. F., Mamun M., Alam M. J., Salam M. A., Rafiquzzaman S. M. Reproductive biology of *Puntius sophore* in Bangladesh // *Fishes*. 2018. Vol. 3. Is. 2. Art. 22. DOI: 10.3390/fishes3020022.

5. Правдин И. Ф. Руководство по изучению рыб. М.: Пищевая промышленность, 1966. 376 с.

6. Kottelat M., Freyhof J. Handbook of European freshwater fishes / Cornol: Kottelat, 2007. 646 p. DOI: 10.1007/s10228-007-0012-3. ISBN 978-2-8399-0298-4.

7. Мирабдуллаев И. М., Кузметов А. Р., Курбонов А. Р. O‘zbekiston baliqlari xilma-xilligi Toshkent: Classic, 2020. 116 b.

8. Мирабдуллаев И. М. Рыбы Узбекистана. Saarbrücken: Lambert Academic Publishing, 2022. 120 с.

9. 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.

10. Ильмаст Н. В. Жизненный цикл рыб. Петрозаводск: Изд-во ПетрГУ, 2015. 35 с.

11. Bagenal T. B., Braum E. Eggs and early life history // *Methods for assessment of fish production in freshwaters*. 3rd ed. Oxford: Blackwell Scientific, 1978. 365 с. ISBN 0632001259, 978063200125.

12. Cai S., Li Y., Xu R., He C., Chen J., Hu W., Jiang M. Transcriptome analysis provides new insights into ovarian follicle growth in common carp (*Cyprinus carpio*) // *Aquaculture Reports*. 2023. Vol. 33. Art. 101864. DOI: 10.1016/j.aqrep.2023.101864.

13. Kamilov B., Yuldashov M., Soatov U., Nazarov M. Variability of growth, maturation and fecundity of gibel carp (*Carassius gibelio*) in different environments of Uzbekistan // *E3S Web of Conferences*. 2021. Vol. 258. Art. 04034. P. 1–8. DOI: 10.1051/e3sconf/202125804034.

14. Seraliev 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.

15. Seraliev 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. Vol. 52. P. 239–243. DOI: 10.3897/aiep.52.89279.

Конфликт интересов: Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

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

Финансирование: Авторы заявляют об отсутствии внешнего финансирования.

Financing: The research was performed without external funding.



ОЦЕНКА ЭКОЛОГИЧЕСКОГО РИСКА ЗАГРЯЗНЕНИЯ ПОЧВ ТЯЖЕЛЫМИ МЕТАЛЛАМИ ВОКРУГ МУНИЦИПАЛЬНОГО ПОЛИГОНА ТВЕРДЫХ БЫТОВЫХ ОТХОДОВ

Атоева Г. Р., Алибоева М. А.

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

Исследование посвящено оценке содержания тяжелых металлов (Zn, Cu, Pb, Cd, Ni, Cr, As, Tl и др.) в почвах, расположенных в зоне влияния полигона твердых бытовых отходов, а также анализу их экологической опасности. Подчеркивается, что аккумуляция данных элементов в системе «почва – растение» вследствие их токсичности и стойкости может представлять серьезную угрозу для окружающей среды и здоровья населения. Для комплексной оценки использованы индексы загрязнения (RI), интегральный индекс загрязнения (IRI) и показатель потенциального экологического риска (RI). Установлено, что наибольшие значения IRI и RI характерны для западных и центральных участков полигона (MCHG²-1, MCHG²-3, MCHShi-9), тогда как минимальные значения отмечены на участке MCHShi-3. Наибольший вклад в формирование экологического риска вносит кадмий, на долю которого приходится 80–90 % суммарного показателя E_r; уровни остальных металлов соответствуют природному фону. Значения RI варьируют в пределах 57,9–146,8, что позволяет отнести исследуемые территории к категориям низкого и умеренного экологического риска. Полученные результаты могут быть использованы при планировании экологического мониторинга и разработке мероприятий по реабилитации нарушенных земель.

Ключевые слова: почва, загрязнение, деградация, тяжелые металлы, элемент, индекс экологического риска (RI), индекс загрязнения (IRI)

Благодарности: Авторы выражают признательность сотрудникам Национального университета Узбекистана имени Мирзо Улугбека за научно-методическую поддержку, содействие в организации полевых и лабораторных исследований, а также за консультации при обработке и интерпретации полученных данных.

ASSESSMENT OF THE ECOLOGICAL RISK OF SOIL CONTAMINATION BY HEAVY METALS IN THE VICINITY OF A MUNICIPAL SOLID WASTE LANDFILL

Atoeva G. R., Aliboeva M. A.

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

The study is devoted to the assessment of heavy metal contents (Zn, Cu, Pb, Cd, Ni, Cr, As, Tl, etc.) in soils located within the zone of influence of a municipal solid waste landfill, as well as to the analysis of their ecological hazard. It is emphasized that the accumulation of these elements in the soil-plant system, due to their toxicity and persistence, may pose a serious threat to the environment and human health. For a comprehensive assessment of soil contamination, the pollution index (RI), integrated pollution index (IRI), and potential ecological risk index (RI) were applied. The results indicate that the highest IRI and RI values are characteristic of the western and central sections of the landfill (MCHG²-1, MCHG²-3, MCHShi-9), whereas the lowest values were recorded at site MCHShi-3. Cadmium was identified as the major contributor to ecological risk, accounting for 80–90% of the total individual ecological risk factor (E_r), while the concentrations of other metals corresponded to background (natural) levels. The RI values range from 57.9 to 146.8, which allows the studied areas to be classified as zones of low to moderate ecological risk. The obtained results can be used for environmental monitoring planning and for the development of rehabilitation and remediation measures for contaminated lands.

Keywords: soil, pollution, degradation, bioaccumulation coefficient, heavy metals, risk index (RI), pollution index (IRI)

Acknowledgements: The authors express their gratitude to the staff of the Mirzo Ulugbek National University of Uzbekistan for their scientific and methodological support, assistance in organizing field and laboratory research, as well as for consultations in processing and interpreting the obtained data.

Введение

В настоящее время рост численности населения, увеличение потребности человека в различных видах продукции, а также поступление в почву отходов бытового назначения, производственных остатков и пищевых отходов неизбежно оказывают

влияние на ее состав и плодородие. Эти негативные процессы приводят к снижению плодородия почвы, изменению ее различных свойств, включая химические и биологические характеристики, нарушению активности ферментов и ухудшению почвенной структуры. В связи с этим опре-

деление уровня химического загрязнения почв, формирующегося вокруг различных источников загрязнения, изучение изменения свойств почв под воздействием техногенных факторов и разработка эффективных подходов к их охране приобретают особую актуальность. Загрязнение почв вблизи полигонов твердых бытовых отходов (ТБО) является серьезной экологической проблемой, приводящей к снижению биологического разнообразия, угнетению роста растений и изменению физико-химических свойств почв.

Основными источниками загрязнения являются органические и неорганические отходы, включая пластмассу, металлы, стекло и другие виды трудноразлагаемых материалов. Эти компоненты длительно сохраняются в почвенной среде, нарушая ее структуру, биологическую активность и функционирование экосистем. Повышенные концентрации пластиковых частиц и тяжелых металлов в почвах, прилегающих к полигонам, неоднократно отмечались различными учеными, причем их влияние распространяется как на микробиоту почвы, так и на рост растений [1].

Исследования почв на территории полигона Тегерана показали, что уровни тяжелых металлов следуют ряду: $Al > Fe > Mn > Zn > Cr > Cu > Pb > Ni > Co > As > Cd$. Экологические индексы подтвердили высокий уровень загрязнения, а концентрации Pb, Cu, Zn, Cr и Ni свидетельствуют о выраженном антропогенном воздействии [2]. Аналогичные исследования в Таиланде выявили существенное превышение мировых средних концентраций Bi, Cd, Co, Cr, Cu, Li, Ni, Pb и Zn в 90 % проб. Наиболее опасным оказалось загрязнение висмутом и кадмием, тогда как оценка канцерогенных и неканцерогенных рисков показала превышение безопасных уровней как для детей, так и для взрослых [3].

Самоочищение почвы происходит очень медленно, вследствие чего вредные вещества постепенно накапливаются и со временем начинают представлять опасность для человека, животных и растений. Длительное накопление, сжигание и захоронение бытовых отходов в почве приводит к ухудшению ее свойств и увеличению содержания загрязняющих органических соединений. Эти летучие органические соединения в результате почвенных процессов проникают в нижние горизонты, смешиваются с грунтовыми водами и загрязняют их [4]. На юго-западе Нигерии рост населения и индустриализация привели к значительному увеличению объемов отходов, что способствует загрязнению почв по-

тенциально токсичными элементами (PTE) и повышает риски для здоровья населения. Специальные исследования вблизи крупных полигонов подтвердили превышение допустимых концентраций ряда металлов и наличие потенциальных угроз для здоровья человека [5].

Анализ почв в районе санитарного полигона Луцюнган (Шаннан, Тибет) показал, что средние значения pH соответствуют сильнощелочной среде ($pH = 9,37$). Hg и Ni выявлены выше фоновых значений, тогда как остальные элементы (Cu, Pb, Zn, Cr, As, Cd) не превышали фон. Однако пространственное распределение продемонстрировало, что на западной стороне полигона концентрации Cu, Cr, Cd, Hg и Ni выше, а содержание As, Zn и Pb – несколько выше в северном, восточном и южном направлениях. Градиент снижения концентраций при удалении от полигона подтверждает его роль как основного источника загрязнения. По индексу геоаккумуляции (I_{geo}) наибольшее загрязнение связано с Hg [6].

В исследованиях 2022 г. уровень загрязнения почв вокруг полигонов и степень экологического риска оценивались с использованием комплексных индексов. Результаты показали, что Zn, Pb, Cu и Hg являются основными источниками экологического риска, а несанкционированные свалки представляют серьезную угрозу для окружающей среды и здоровья человека [7].

В Иране (Керманшох) при выборе территорий для размещения медицинских отходов применялась интегрированная многокритериальная оценка с использованием ГИС и дистанционного зондирования. Такой подход позволил учитывать экологические, социальные и экономические факторы и обеспечил комплексность принятия решений [8]. В работе Wang и соавт. (2022) был проведен анализ данных более чем 50 полигонов, в рамках которого оценивались распределение тяжелых металлов (Cr, Hg, Pb, As, Zn, Cd и др.) и факторы, влияющие на их содержание (возраст полигона, климат, географическое положение). Авторы подчеркнули, что уровень загрязнения существенно варьирует в зависимости от указанных факторов и требует комплексного мониторинга [9].

В Марокко исследования показали значительное обогащение почв Zn, Cd, Fe, Cu, Ni, Pb и Cr вокруг открытых полигонов. Индекс $PLI = 1,84$ указывает на умеренно высокие уровни загрязнения, а анализ фракционного состава металлов подтвердил их высокую подвижность. Дети наиболее уязвимы к воздействию Pb и Cd [10]. Аналогичные данные получены в Нигерии

(Абака-лики), где ведущими загрязнителями являются Fe, Zn, Cu, Pb и Cd. Индексы CF, RI, EF, I_{geo} и MRI показали значительное загрязнение и высокие экологические риски, что обосновывает необходимость применения фиторемедиации, биоремедиации и улучшения систем мониторинга [11]. В исследовании Du и соавт. (2023) выявлены высокие концентрации As, Pb, Cd и Zn в почвах, находящихся под влиянием полигонов, а также проведена оценка рисков для здоровья населения. Отмечено, что тяжелые металлы способны сохраняться в почве длительное время даже после прекращения эксплуатации полигона [12].

Кроме того, в исследовании Adu J.T. и соавт. (2025) изучались уровни накопления тяжелых металлов (Cd, Pb, Cr, Zn и др.) в почвах под воздействием полигонов и их распределение в окружающей среде. Результаты показали, что почва является основным аккумулятором тяжелых металлов, при этом Cd и Pb представляют наибольшую экологическую опасность. Также установлено, что под воздействием фильтрата происходит миграция тяжелых металлов из почвы в водную среду и их биоаккумуляция в биоте [13]. В исследованиях 2024 г. показано усиление процессов биодоступности и миграции металлов в почвах под влиянием полигонов. Особенно отмечается высокая подвижность кадмия (Cd), который характеризуется как один из наиболее опасных загрязнителей [14].

Наиболее современные исследования (2025–2026 гг.) подтверждают накопление Cd, Pb, Cu и Zn в почвах полигонов, при этом кадмий характеризуется наибольшим коэффициентом загрязнения. Также установлено, что миграция и биогеохимический круговорот тяжелых металлов активно протекают с участием растений и микроорганизмов [15].

Загрязнение тяжелыми металлами является негативным последствием свалок твердых бытовых отходов. Множественные пути переноса загрязняющих веществ (включая сточные воды, канализационные стоки и выхлопные газы), а также сложные и сосуществующие потенциальные источники загрязнения (например, сельскохозяйственная деятельность) вокруг свалок требуют сочетания различных методов оценки загрязнения и инструментов идентификации источников для определения распространения загрязнения и устранения потенциальных рисков. Экологическая оценка риска показала, что в настоящее время экологического риска нет. Однако (на основе оценки риска для здоровья) высокие концентрации Cr и As в почве пред-

ставляют собой неканцерогенный и канцерогенный риск для человека в исследуемой области соответственно. Кроме того, геоаккумуляционные индексы для Cr, Cu, Ni, Zn, As и Hg подтвердили антропогенные источники этих металлов в почве [16]. В связи с высокой токсичностью тяжелых металлов необходимо реализовать комплекс мероприятий, направленных на снижение поступления загрязняющих веществ из почв в поверхностные и подземные воды. К таким мерам относятся разработка и внедрение систематической программы экологического мониторинга, ориентированной на контроль, управление и безопасную утилизацию несанкционированных свалок и твердых бытовых отходов. Кроме того, следует ограничить использование материалов и удобрений, получаемых с подбных свалок, в сельскохозяйственных целях, поскольку тяжелые металлы способны интенсивно поглощаться растениями, в том числе овощными культурами, что представляет потенциальную угрозу для здоровья человека [17].

Цель исследования – провести комплексную оценку содержания тяжелых металлов в почвах, прилегающих к Ташкентскому городскому полигону твердых бытовых отходов, установить пространственные особенности их распределения и определить уровень потенциального экологического риска на основе расчета индексов загрязнения и интегральных показателей риска.

Материалы и методы исследования

Исследование проводилось на территории Ташкентского городского полигона твердых бытовых отходов (ТБО), расположенного в Охангаронском районе Ташкентской области. Полигон функционирует с 1966 г. и занимает площадь 59 га, из которых около 40 га используются для размещения отходов. Ежедневный объем поступающих отходов достигает 2500 т.

Почвенные образцы отбирались в четырех направлениях (север, юг, восток, запад) на расстоянии различной удаленности от полигона с глубины 0–30 см. Точки отбора были зафиксированы с использованием GPS-координат. Выбор схемы отбора проб был направлен на оценку пространственного распределения загрязняющих веществ.

Следует отметить, что в рамках данного исследования фоновые (контрольные) участки за пределами зоны влияния полигона не рассматривались, что ограничивает возможность установления строгих причинно-следственных связей.

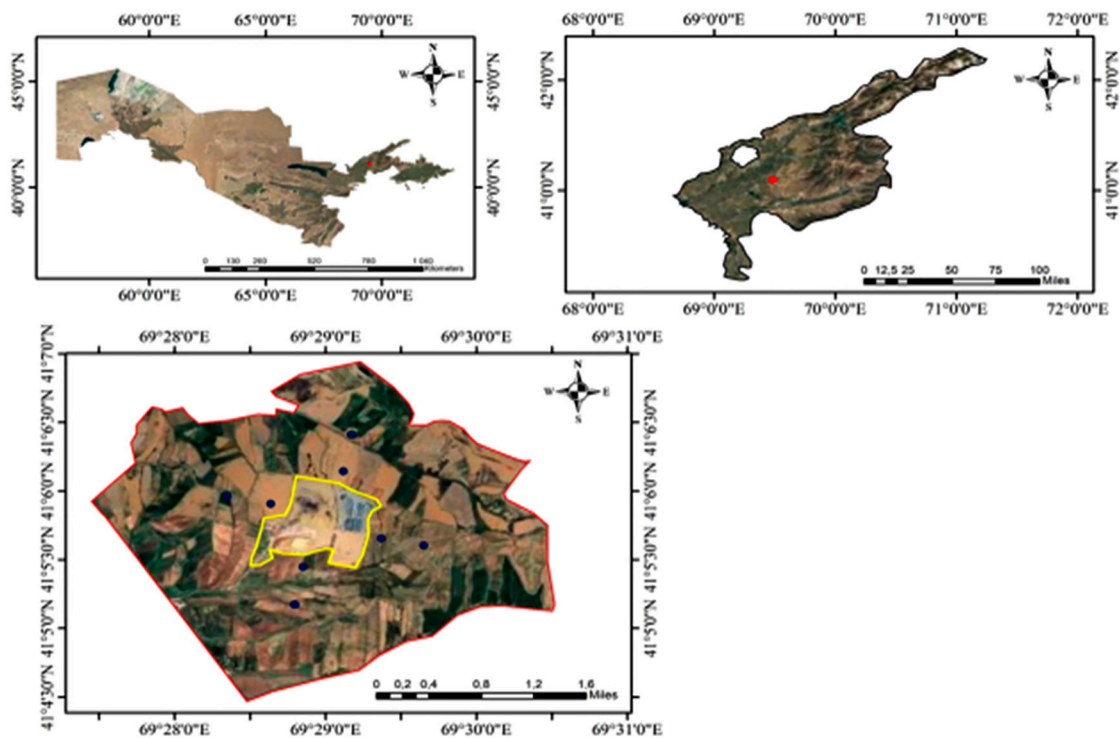


Рис. 1. Картографическая модель объекта исследований
Примечание: составлен авторами по результатам данного исследования

Почвенные образцы отбирались в четырех направлениях – южном, восточном, северном и западном секторах полигона – с глубины 0–30 см. Пробы были собраны в следующих географических координатах:

- Е 069°28'42.236", N 41°05'22.348";
- Е 069°28'40.585", N 41°05'21.915";
- Е 069°28'59.35", N 41°05'06.68";
- Е 069°28'83.986", N 41°05'13.108";
- Е 069°29'21.393", N 41°05'47.208";
- Е 069°29'37.197", N 41°05'65.794";
- Е 69°27'36.5", N 41°05'30.7";
- Е 69°28'24.1", N 41°05'20.6" (рис. 1).

На карте показано территориальное расположение Ташкентского городского полигона твердых бытовых отходов, находящегося на территории Охангаронского района Ташкентской области. Исследуемая территория определена относительно города и выделена в качестве опытного участка. На карте отображены границы исследуемого участка, роза ветров, а также точки отбора почвенных проб, которые в рамках данного исследования обозначены как пробные точки. Точки отбора проб выбраны с целью оценки пространственного распределения загрязняющих веществ в почвенном покрове. Роза ветров отражает преобладающие направления ветра на исследуемой территории и позволяет оценить потенциальные направления переноса загрязняющих ве-

ществ, обусловленные функционированием полигона. Представленная карта наглядно иллюстрирует географическое положение объекта исследования, пространственную организацию опытного участка и обоснованность схемы отбора проб, используемой для экологической оценки состояния почв.

Подготовка образцов включала высушивание при комнатной температуре, удаление посторонних включений и просеивание. Определение содержания тяжелых металлов проводилось методом индуктивно связанной плазменно-эмиссионной спектроскопии (ICP-OES). Аналитические измерения сопровождалась процедурами контроля качества: использовались стандартные образцы, проводились повторные измерения (не менее трех раз), относительная погрешность не превышала 5%, коэффициент восстановления составлял 90–105%.

Содержание тяжелых металлов в почвах и растительных образцах определялось методом индуктивно связанной плазменно-эмиссионной спектроскопии (ICP-OES). Геохимические кларковые значения (K_k) использовались для сравнительной оценки накопления элементов. Индекс загрязнения почв $RI_i = C_i/C_{clarke} = K_k$ и интегральный индекс загрязнения: $IR = \text{экологический риск}$, $IRI = \sqrt[n]{RI_1 * RI_2 * \dots * RI_n}$ (индивидуальные индексы загрязнения

для каждого из n элементов), фактор индивидуальных экологических факторов ($RI = \sum E_i^i$), потенциальный экологический риск IRI ($E_i^r = T_i \times C_i^i / C_{ib}^i$) определены с помощью формул.

Таким образом, в работе четко разграничены понятия:

- коэффициент загрязнения (Cf),
- интегральный индекс загрязнения (IRI),
- индивидуальный экологический риск (E_i^r),
- суммарный экологический риск (RI).

Полученные показатели используются для оценки экологического состояния почв. При этом они характеризуют именно экологический риск и не включают оценку риска для здоровья человека.

Результаты исследования и их обсуждение

Почвенный покров вокруг полигона твердых бытовых отходов (ТБО) считается геоэкологической средой, подверженной техногенному воздействию. Накопление тяжелых металлов (Zn, Cu, Pb, Cd, Ni, Cr, As, Tl) в этих районах связано с разложением отходов, образованием фильтрата (лихата) и их миграцией в почвенную среду. Накопление тяжелых металлов в почве может привести к их участию в биогеохимическом круговороте, распространению по биологической цепи и негативному воздействию на здоровье человека.

Уровень загрязнения почвы тяжелыми металлами оценивался с использованием коэффициента загрязнения (C^f):

$$C^f = C_b / C_{men}^i,$$

где C_b – концентрация обнаруженного в почве металла, C_i – геохимический фоновый (Кларк) уровень элемента.

По результатам расчетов значения C^f для большинства элементов близки к 1 или ниже, что указывает на то, что они не сильно отличаются от естественного фонового уровня. Однако в некоторых точках концентрация кадмия (Cd) достигает высоких значений, что указывает на его связь с техногенным источником. В то же время тот факт, что для всех образцов в предыдущих расчетах зафиксированы одинаковые значения C^f ($C^f = 0,588$), требует методологической переоценки, поскольку существует разница между реальными концентрациями.

Для оценки общего уровня загрязнения почвы был рассчитан интегральный индекс загрязнения (IRI):

$$IRI = \sum Cf.$$

Согласно результатам, наименьшее значение IRI (0,71) наблюдалось в точке

MCHShi-3, где уровень загрязнения близок к естественному фону. Наибольшее значение (1,15) было зафиксировано в точке MCHG¹-1, что указывает на умеренный уровень загрязнения. Накопление тяжелых металлов высокое в центральных и западных регионах (MCHShi-9, MCHG¹-1, MCHG¹-3), и эти районы выделяются как активные зоны загрязнения.

Анализ этих данных (рис. 2) показывает, что территории MCHShi-9, MCHG¹-1 и MCHG¹-3 относятся к зоне умеренного экологического риска, а остальные разрезы находятся на уровне низкого риска или естественного фона.

Индекс потенциального экологического (экономического) риска (ЭР) представляет собой комплексный интегральный показатель, предназначенный для оценки степени загрязнения почв высокотоксичными и умеренно токсичными металлоидами, прежде всего мышьяком (As), а также токсичными тяжелыми металлами, (Tl, Cd, Cu, Zn, Co, Ni и Cr). Данный индекс основан на совместном учете концентрации соответствующих элементов в почвенном покрове и их токсикологических характеристик и позволяет оценить потенциальную экологическую опасность загрязнения, а также возможный экономический ущерб, обусловленный деградацией почв и снижением их природно-ресурсного потенциала.

В результате проведенных исследований был определен потенциальный экологический индекс опасности элементов (As, Tl, Cd, Cu, Zn, Co, Ni, Cr), используя формулу

$$((RI = \sum E_{men}^r = \sum (T_r \times C_{ib}^i / C_{men}^i)),$$

$$E_{men}^r = T_r \times C_{ib}^i / C_{men}^i).$$

В табл. 1 представлены результаты расчетов потенциального экологического индекса концентраций по значениям Кларка (C_i), состава почв (C_b^i) и индекса токсичности (T_r) металлоида As (табл. 1).

Анализ коэффициента загрязнения (Cf = C_b / C_i) показал, что во всех исследованных образцах значения варьируют в пределах 1,69–1,70, что соответствует умеренному уровню загрязнения почв. Это свидетельствует о незначительном превышении фоновых значений содержания элементов.

Оценка индивидуального экологического риска (E_i^r) показала, что его значения изменяются в диапазоне от 1,7 до 50,7. Наибольшее значение зафиксировано в точке MCHSha-1 ($E_i^r = 50,7$), что соответствует умеренному уровню экологического риска по классификации Хокансона. В остальных точках значения E_i^r характеризуются как низкие.

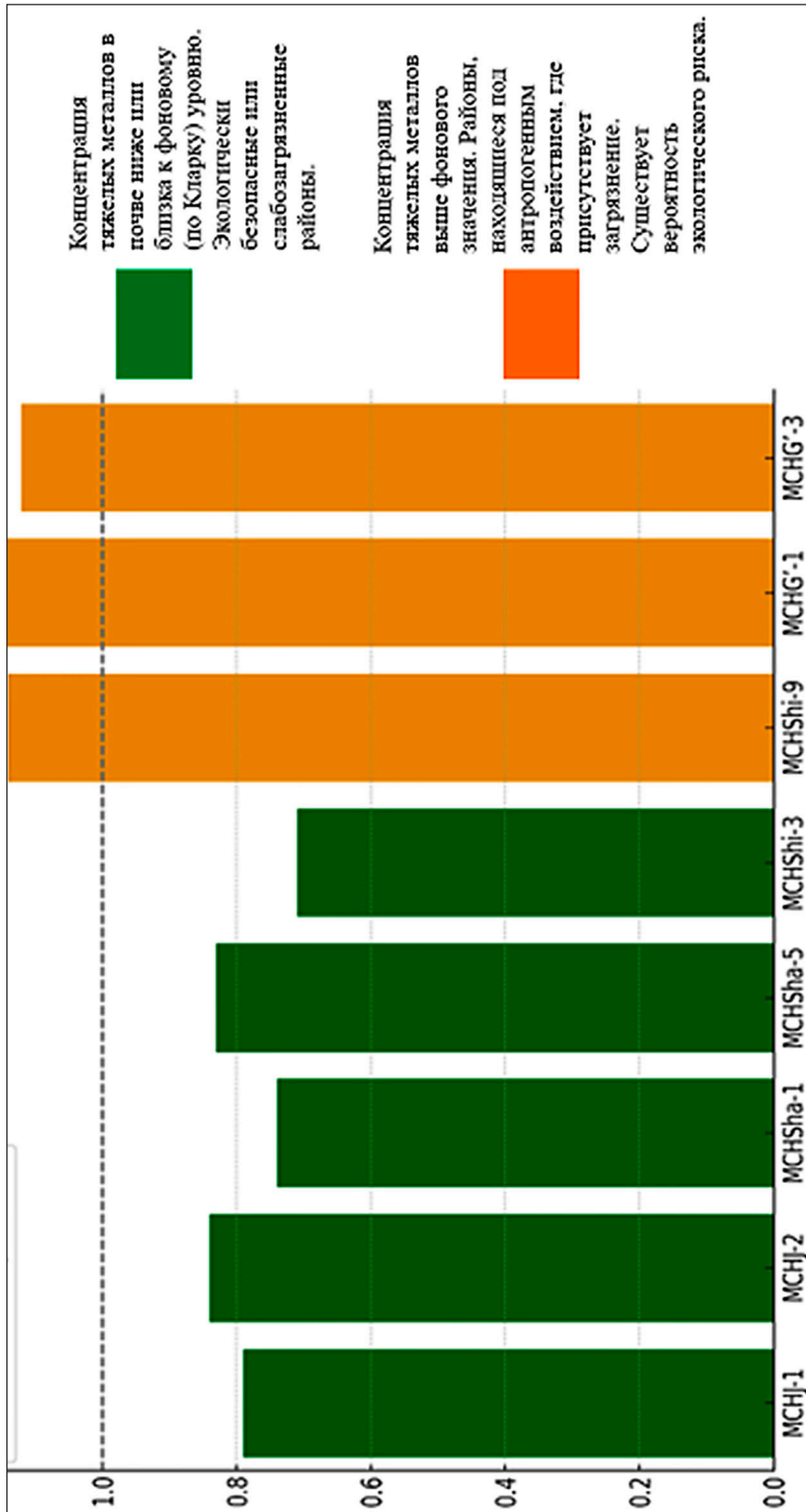


Рис. 2. Интегральный индекс экологического загрязнения (IRI) по почвенным образцам
Примечание: составлен авторами по результатам данного исследования

Таблица 1

Результаты расчетов индекса потенциального экологического риска (IRI) для элементов As (по Lars Håkanson, 1980)

№	Образец почвы	Количество элементов в почве, C_b	Концентрация Кларка, C_i	Коэффициент токсичности T_r	Экологическая опасность $RI = C_b/C_i$	Потенциальная экологическая опасность $E_i^r = RI \times T_r$
1	МСНJ-1	176,2	103,6	10	1,70	17
2	МСНJ-2	144,7	85,11	10	1,70	17
3	МСНSha-1	169,7	99,84	30	1,69	50,7
4	МСНSha-5	167,8	98,71	5	1,69	8,5
5	МСНShi-3	168,8	99,29	1	1,70	1,7
6	МСНShi-9	213,0	125,3	5	1,69	8,5
7	МСНG'-1	208,1	122,4	5	1,70	8,5
8	МСНG'-3	211,9	124,6	2	1,70	3,4

Установлено, что величина экологического риска определяется не только концентрацией элемента, но и коэффициентом его токсичности (T_r). Так, при одинаковых значениях коэффициента загрязнения более высокие значения T_r приводят к увеличению E_i^r .

Пространственное распределение показателей указывает на локальный характер загрязнения, при котором отдельные участки характеризуются повышенными значениями экологического риска.

Следует отметить, что в табл. 1 показатель RI используется как отношение C_b/C_i , что соответствует коэффициенту загрязнения (C_f). В соответствии с методикой Хокансона суммарный экологический риск (RI) должен определяться как сумма значений E_i^r , поэтому в дальнейшем расчеты требуют унификации обозначений.

Пространственное распределение значений показателей демонстрирует увеличение концентраций в отдельных участках, расположенных вблизи полигона твердых бытовых отходов. Это может свидетельствовать о возможном влиянии полигона как источника загрязнения. Однако отсутствие фоновых участков и дополнительных методов анализа (геостатистических или изотопных) не позволяет однозначно установить причинно-следственную связь, и данный вывод следует рассматривать как вероятностный.

Анализ пространственного распределения показателей таллия (Tl) показал значительную вариабельность значений в исследуемых точках. Значения показателя варьируют в широком диапазоне – от 0,5 до 17,5, что свидетельствует о выраженной пространственной неоднородности. На-

большее значение зафиксировано в точке МСНSha-1, что может указывать на локальную зону повышенного экологического воздействия. В большинстве остальных точек значения находятся в диапазоне низкого и умеренного уровня, что наглядно представлено на рисунке 3.

Минимальные значения отмечены в точках МСНShi-3 и МСНG'-3, что соответствует фоновому или близкому к нему уровню содержания элемента. В целом распределение показателей носит локальный характер и не является равномерным. Это может свидетельствовать о влиянии отдельных источников загрязнения, включая полигон ТБО. Однако отсутствие фоновых участков не позволяет однозначно подтвердить данную зависимость. Таким образом, таллий в исследуемых почвах в большинстве случаев не достигает критических уровней, однако наличие локальных аномалий требует дальнейшего мониторинга.

Анализ коэффициентов загрязнения (C_f) показал, что значения для большинства исследованных элементов варьируют в пределах 0,38–1,98. Это свидетельствует о преимущественно фоновом или умеренном уровне загрязнения почв. Наиболее высокие значения C_f зафиксированы для Zn и Cu в точках МСНShi-9 и МСНG'-1, что указывает на локальные зоны повышенного техногенного воздействия (табл. 2). В то же время для элементов Co и Ni значения C_f остаются ниже 1, что соответствует природному уровню.

Для кадмия (Cd), несмотря на относительно невысокие значения C_f (до 1,07), данный элемент может представлять экологическую опасность вследствие высокой токсичности.

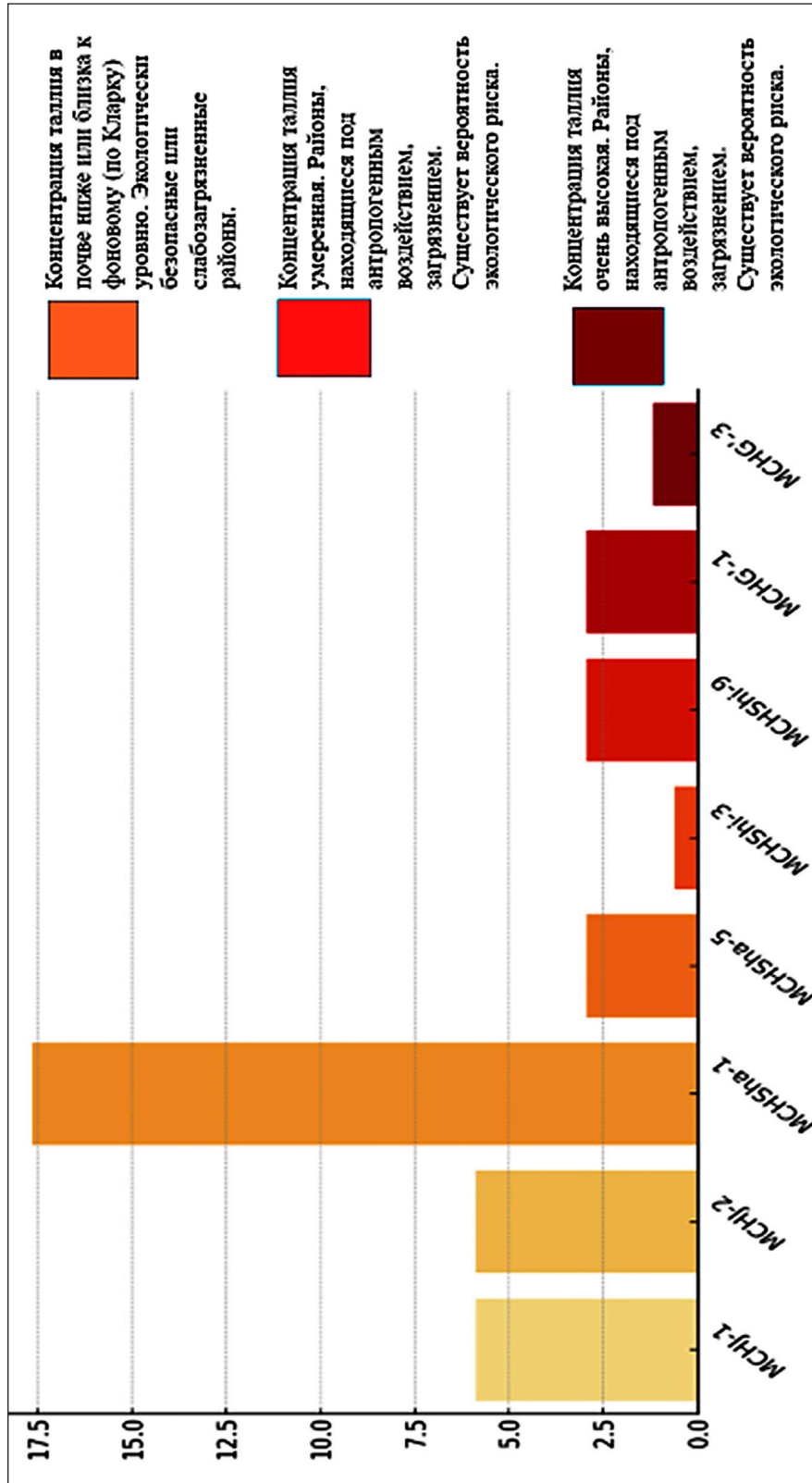


Рис. 3. Индекс экологического риска элемента TI по каждому образцу (E_i)
Примечание: составлен авторами по результатам данного исследования

Таблица 2

Индексы экологического риска особо опасных и опасных элементов

Образец	Cd (K = 0,13)		Cu (K = 47)		Zn (K = 83)		Co (K = 18)		Ni (K = 58)		Cr (K = 83)	
	Сп	Kk	Сп	Kk	Сп	Kk	Сп	Kk	Сп	Kk	Сп	Kk
MCHJ-1	0,11	0,84	33,43	0,71	77,5	0,93	11,9	0,66	35,26	0,6	68,28	0,82
MCHJ-2	0,14	1,07	37,33	0,79	72,59	0,87	11,62	0,6	40,45	0,69	78,08	0,94
MCHSha-1	0,07	0,53	39,11	0,83	87,04	1,04	10,97	0,6	38,03	0,65	67,47	0,81
MCHSha-5	0,07	0,53	61,67	1,31	80,39	0,96	12,58	0,69	46,73	0,8	76,17	0,92
MCHShi-3	0,05	0,38	46,75	0,99	77,57	0,93	13,38	0,74	45,85	0,79	85,58	1,03
MCHShi-9	0,07	0,53	81,88	1,74	160,6	1,93	18,97	1,05	57,64	0,99	112,71	1,36
MCHG'-1	0,06	0,46	60,39	1,28	164,9	1,98	19,19	1,06	57	0,98	121,74	1,47
MCHG'-3	0,06	0,46	59,43	1,26	143,4	1,72	19,49	1,08	57,88	0,99	118,97	1,43

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

Таблица 3

Комплексная таблица индекса экологического риска элементов

Образец	Cd	Cu	Zn	Co	Ni	Cr	Индекс экологического риска RI ($\sum E_i r_i$)
MCHJ-1	109,5	1,8	0,47	1,75	1,86	0,84	116,2
MCHJ-2	139,5	2,05	0,44	1,70	2,10	0,96	146,8
MCHSha-1	69,3	2,15	0,53	1,60	1,98	0,82	76,4
MCHSha-5	69,3	3,35	0,49	1,85	2,46	0,92	78,4
MCHShi-3	49,5	2,55	0,47	1,95	2,40	1,04	57,9
MCHShi-9	69,3	4,45	0,98	2,80	3,06	1,50	82,1
MCHG'-1	60,0	3,30	1,00	2,80	3,00	1,54	71,6
MCHG'-3	60,0	3,25	0,87	2,85	3,06	1,50	71,5

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

Пространственное распределение коэффициентов загрязнения носит неравномерный характер, что свидетельствует о локальном типе загрязнения. Наиболее загрязненные участки приурочены к центральным и западным зонам полигона.

В целом полученные данные указывают на отсутствие критического загрязнения почв тяжелыми металлами, однако наличие локальных аномалий требует дальнейшего мониторинга. Следует отметить, что оценка основана на коэффициентах загрязнения (C_f) и не включает прямую оценку экологического риска, что требует дополнительного анализа с использованием показателей $E_{i,r}$ и RI.

Следует отметить, что пространственное распределение показателей указывает на повышение концентраций загрязняющих веществ вблизи полигона ТБО. Это может свидетельствовать о возможном влиянии

полигона как источника загрязнения. Однако отсутствие фоновых участков и дополнительных методов анализа (геостатистических, изотопных или сопоставления с розой ветров) не позволяет однозначно установить причинно-следственную связь, поэтому данный вывод носит вероятностный характер. Важно подчеркнуть, что в рамках данного исследования оценка риска для здоровья человека не проводилась. Полученные результаты относятся исключительно к экологическому риску почвенной среды. Аналитические определения содержания тяжелых металлов выполнены методом ICP-OES с соблюдением процедур контроля качества, включая использование стандартных образцов, повторные измерения и оценку погрешности анализа.

Анализ суммарного экологического риска ($RI = \sum E_{i,r}$) показал, что его значения

варьируют в пределах 57,9–146,8, что соответствует низкому уровню экологического риска по классификации Хокансона. Наибольшее значение зафиксировано в точке МСНЖ-2, тогда как минимальное – в точке МСНШИ-3 (табл. 3).

Установлено, что основной вклад в формирование экологического риска вносит кадмий (Cd), значения E_{ir} которого достигают 139,5. Доля Cd составляет 80–90% от суммарного RI, что свидетельствует о его доминирующей роли. Значения E_{ir} для других элементов (Cu, Zn, Co, Ni, Cr) остаются низкими и не оказывают существенного влияния на общий уровень риска.

Пространственное распределение показателей указывает на неравномерный характер загрязнения, при котором отдельные участки характеризуются повышенными значениями экологического риска. В целом полученные результаты свидетельствуют о низком уровне экологической опасности исследуемых почв. Однако наличие локальных зон повышенного содержания кадмия требует проведения дополнительно мониторинга.

Следует отметить, что выявленные закономерности могут быть связаны с влиянием полигона ТБО, однако отсутствие фоновых участков не позволяет однозначно установить причинно-следственную зависимость.

Заключение

Проведенная оценка содержания тяжелых металлов в почвах, прилегающих к полигону твердых бытовых отходов (ТБО), выявила выраженную пространственную неоднородность загрязнения. Максимальные концентрации Cd, Zn, Cu и Cr зафиксированы в центральных и западных участках территории, тогда как северный сектор характеризуется значениями, близкими к фоновым.

Оценка степени загрязнения, выполненная с использованием коэффициента загрязнения (Cf) и интегрального индекса загрязнения (IRI), показала, что большинство участков относится к зонам низкого и умеренного уровня загрязнения ($IRI = 0,71–1,15$). Суммарный экологический риск, рассчитанный по методике Хокансона ($RI = \sum E_{ir}$), варьирует в пределах 57,9–146,8, что соответствует низкому и умеренному уровням экологического риска. Установлено, что основной вклад в формирование экологического риска вносит кадмий (Cd), доля которого составляет 80–90 % от суммарного значения RI. Это обусловлено его высокой токсичностью и подвижностью в почвенной среде. Остальные элементы (Cu, Zn, Co, Ni, Cr) характеризуются низкими значения-

ми индивидуального экологического риска (E_{ir}) и, как правило, соответствуют фоновому уровню.

Следует отметить, что примененные показатели (Cf, E_{ir} , RI и IRI) позволяют оценить уровень загрязнения и потенциальный экологический риск почв. При этом данные показатели не включают оценку риска для здоровья человека, что требует проведения дополнительных исследований. Пространственное распределение тяжелых металлов может указывать на влияние полигона ТБО как одного из источников загрязнения. Однако отсутствие фоновых площадок и дополнительных методов анализа не позволяет однозначно установить причинно-следственную связь, поэтому данный вывод носит вероятностный характер.

Полученные результаты свидетельствуют о необходимости регулярного мониторинга почв, особенно в участках с повышенными значениями экологического риска (МСНЖ-2, МСНША-1, МСНШИ-9), с акцентом на контроль миграции кадмия.

В целях снижения экологической нагрузки рекомендуется применение почвоулучшающих мероприятий (сорбенты, органоминеральные материалы, стабилизаторы), направленных на уменьшение биодоступности тяжелых металлов, а также использование методов фиторемедиации и биорекультивации. Дополнительно целесообразно совершенствование системы управления полигоном, включая контроль фильтрата, повышение эффективности изоляции отходов, создание защитных зеленых зон и инженерных барьеров для ограничения миграции загрязняющих веществ. Проведение информационно-разъяснительной работы с населением о возможных экологических рисках также является важной частью комплексных природоохранных мероприятий.

Список литературы

1. Chuan D., Zhanping L. Contamination and health risks of heavy metals in the soil of a historical landfill in northern China // *Chemosphere*. 2023. Vol. 313. P. 137349. DOI: 10.1016/j.chemosphere.2022.137349.
2. Karimian S., Shekoohiyan S., Moussavi G. Health and ecological risk assessment and simulation of heavy metal-contaminated soil of Tehran landfill // *RSC Advances*. 2021. Vol. 11. Is. 14. P. 8080–8095. DOI: 10.1039/D0RA08833A.
3. Thongyuan S., Khantamoon T., Aendob P. Ecological and health risk assessment, carcinogenic and non-carcinogenic effects of heavy metals contamination in the soil from municipal solid waste landfill in Central Thailand // *Human and Ecological Risk Assessment*. 2021. Vol. 27. Is. 2. P. 1–22. DOI: 10.1080/10807039.2020.1786666.
4. Abdrakhmanov T., Jabbarov Z., Atoyeva G., Sayitov S., Cabelkova I., Smutka, L. Changes in the number of volatile components in the soil under the influence of household

waste // *Acta Montanistica Slovaca*. 2023. № 28 (3). P. 535–542. DOI: 10.46544/AMS.v28i3.

5. Tesleem O., Oluwafisayo I., Habib I., Isibor R. A. Contamination, ecological and health risk assessments of potentially toxic elements in soil around a municipal solid waste disposal facility in Southwestern Nigeria // *Journal of Trace Elements and Minerals*. 2023. Vol. 5. P. 100083. DOI: 10.1016/j.jtemin.2023.100083.

6. Wenwu Z., Zeng D., Dean M., Peng Z., Keke C., Qionгда Z., Jing W., Fei X., Guanyi C. Distribution characteristics and potential ecological risk assessment of heavy metals in soils around Shannan landfill site, Tibet // *Environmental Geochemistry and Health*. 2023. Vol. 45. Is. 2. P. 393–407. DOI: 10.1007/s10653-022-01349-y.

7. Bienvenu K. Mavakala, Periyasamy Sivalingam, Amandine Laffite, Crispin K. Mulaji, Gregory Giuliani, Pius T. Mpi-ana, John Poté. Evaluation of heavy metal content and potential ecological risks in soil samples from wild solid waste dumpsites in developing country under tropical conditions // *Environmental Challenges*. Vol. 7. April 2022, 100461. DOI: 10.1016/j.envc.2022.100461.

8. Franklin O., Anthony A., Anthony Y., Karikari K., et al. Assessment of heavy metal contamination in soils at the Kpone landfill site, Ghana: implication for ecological and health risk assessment // *Chemosphere*. 2021. Vol. 282. P. 131007.

9. Shuangchao Wang, Zhiyong Han, Jin Wang, Xiaosong He, Zhiqiang Zhou, Xinran Hu. Environmental risk assessment and factors influencing heavy metal concentrations in the soil of municipal solid waste landfills // *Waste Management*. 15 February 2022. Vol. 139. P. 330–340. DOI: 10.1016/j.wasman.2021.11.036.

10. Daniel A., Chukwuebuka C., Nte J., Chima N. Environmental risk assessment in selected dumpsites in Abakaliki metropolis, Ebonyi State, Southeastern Nigeria // *Environmental Challenges*. 2021. Vol. 4. P. 100143. DOI: 10.1016/j.envc.2021.100143.

11. Hakanson L. An ecological risk index for aquatic pollution control: a sedimentological approach // *Water Research*. 1980. Vol. 14. P. 975–1001.

12. Maryam Faraji, Ismaeil Alizadeh, Gea Oliveri Conti, Amir Mohammadi. Investigation of health and ecological risk attributed to the soil heavy metals in Iran: Systematic review and meta-analysis // *Science of The Total Environment*. 2023. Vol. 857. Part 1. 158925. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2022.158925.

13. Joy Tuoyo Adu, Frank Ikechukwu Aneke. Evaluation of heavy metal contamination in landfills from e-waste disposal and its potential as a pollution source for surface water bodies // *Results in Engineering*. 2025. Vol. 25. 104431. DOI: 10.1016/j.rineng.2025.104431.

14. Shenwen Cai, Shaoqi Zhou, Qinghe Wang, Junwei Cheng, Boping Zeng. Assessment of metal pollution and effects of physicochemical factors on soil microbial communities around a landfill. *Ecotoxicology and Environmental Safety*. 2024. Vol. 271. 115968. DOI: 10.1016/j.ecoenv.2024.115968.

15. Montreemuk J., Rongsayamanont W., Ussawarujikulchai A., Pansak W., Prapagdee B. Evaluation of heavy metal contamination in landfills and role of multi-heavy metal-resistant rhizobacteria in heavy metal mobilization // *International Journal of Environmental Science and Technology*. 2025. Vol. 22. P. 5893–15908. DOI: 10.1007/s13762-025-06695-9.

16. Honghua Liu, Yuan Wang, Jie Dong, Lixue Cao, Lili Yu, Jia Xin. Distribution Characteristics, Pollution Assessment, and Source Identification of Heavy Metals in Soils Around a Landfill-Farmland Multisource Hybrid District // *Arch Environ Contam Toxicol*. 2021. Vol. 81 (1). P. 77–90. DOI: 10.1007/s00244-021-00857-9.

17. Bienvenu K. Mavakala, Periyasamy Sivalingam., Amandine Laffite., Crispin K., Gregory Giuliani, Pius T. Mpi-ana, Jon Poté. Evaluation of heavy metal content and potential ecological risks in soil samples from wild solid waste dumpsites in developing country under tropical conditions // *Environmental Challenges*. 2022. Vol. 7. 100461. DOI: 10.1016/j.envc.2022.100461.

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 Агентства инновационного развития Республики Узбекистан в рамках научно-исследовательского проекта AL-8624042553 «Определение границ санитарно-защитной и фоновой зон вокруг объектов размещения твердых бытовых отходов и разработка экологических показателей состояния почв»

Financing: The research was carried out with the financial support of the Agency for Innovative Development of the Republic of Uzbekistan within the framework of the research project AL-8624042553 “Determining the boundaries of sanitary protection zones and background zones around solid household waste disposal sites and developing ecological indicators of soil condition”.



ВЛИЯНИЕ ФЕРТИГАЦИИ МИНЕРАЛЬНЫМИ УДОБРЕНИЯМИ НА ПИТАТЕЛЬНЫЙ РЕЖИМ СЕРОЗЕМОВ, РОСТ, РАЗВИТИЕ И УРОЖАЙНОСТЬ ГРЕЦКОГО ОРЕХА В УСЛОВИЯХ ЗЕРАВШАНСКОЙ ДОЛИНЫ УЗБЕКИСТАНА

Ортиков Т. К. ORCID ID 0009-0003-1370-3469,

Усмонов Р. С. ORCID ID 0009-0007-1146-3720

Институт агробиотехнологий и продовольственной безопасности Самаркандского государственного университета, Самарканд, Республика Узбекистан, e-mail: ortikovt@mail.ru

В статье представлены результаты комплексного полевого исследования, направленного на оценку влияния минеральных удобрений, применяемых методом фертигации, на питательный режим сероземных почв, рост, развитие и урожайность грецкого ореха (*Juglans regia* L.) в условиях интенсивного садоводства Зеравшанской долины Узбекистана. Актуальность работы обусловлена необходимостью научно обоснованного применения удобрений при капельном орошении, что позволяет повысить эффективность использования воды и элементов питания, а также снизить экологические риски, связанные с их избыточным внесением. Экспериментальные исследования проводились в интенсивном ореховом саду сорта Chandler на сероземных почвах Самаркандской области. В опыте изучались различные нормы полного минерального удобрения (NPK) в диапазоне от N75P57K38 до N250P185K125 на фоне капельного орошения, а также контроль без удобрений. Установлено, что фертигация водорастворимыми формами азотных, фосфорных и калийных удобрений способствует значительному увеличению содержания подвижных форм элементов питания во всех исследованных почвенных горизонтах (0–30, 30–60 и 60–90 см). Наиболее выраженный эффект отмечен при норме N150P115K75, дальнейшее повышение доз не обеспечивало пропорционального роста показателей. Улучшение питательного режима почвы положительно отразилось на биометрических показателях деревьев и урожайности культуры. Средняя урожайность за 3 года возросла с 17,38 ц/га на контроле до 86,84–89,38 ц/га при фертигации. Норма N150P115K75 признана наиболее агрономически и экономически обоснованной.

Ключевые слова: минеральные удобрения, фертигация, почва, питательный режим, урожайность, грецкий орех

INFLUENCE OF FERTIGATION WITH MINERAL FERTILIZERS ON THE NUTRITIONAL REGIME OF SERIOZEMS, GROWTH, DEVELOPMENT AND YIELD OF WALNUT IN THE CONDITIONS OF THE ZERAVSHAN VALLEY OF UZBEKISTAN

Ortikov T. K. ORCID ID 0009-0003-1370-3469,

Usmonov R. S. ORCID ID 0009-0007-1146-3720

Institute of Agro-Biotechnology and Food Security, Samarkand State University, Samarkand, Republic of Uzbekistan, e-mail: ortikovt@mail.ru

This article presents the results of a comprehensive field study aimed at assessing the effects of mineral fertilizers applied through fertigation on the nutrient regime of sierozem soils, as well as on the growth, development, and yield of walnut (*Juglans regia* L.) under intensive orchard conditions in the Zeravshan Valley of Uzbekistan. The relevance of the research is determined by the need for scientifically substantiated fertilizer management under drip irrigation, which allows improving water and nutrient use efficiency while reducing negative environmental impacts associated with excessive fertilizer application. Experimental studies were conducted in an intensive walnut orchard of the Chandler cultivar established on sierozem soils of the Samarkand region. The experiment evaluated different rates of complete mineral fertilizers (NPK) ranging from N75P57K38 to N250P185K125 under drip irrigation, along with an unfertilized control. The results showed that fertigation with water-soluble nitrogen, phosphorus, and potassium fertilizers significantly increased the content of available nutrient forms (ammonium and nitrate nitrogen, available phosphorus, and exchangeable potassium) in all studied soil layers (0–30, 30–60, and 60–90 cm). The most pronounced effect was observed at fertilizer rates up to N150P115K75, while further increases did not result in a proportional rise in nutrient content. Improved soil nutrient status positively affected tree biometric parameters, fruit number, individual nut weight, and overall yield. Over three years, average walnut yield increased from 17.38 c ha⁻¹ in the control to 86.84–89.38 c ha⁻¹ under fertigation. The N150P115K75 rate was identified as the most agronomically and economically optimal.

Keywords: mineral fertilizers, fertigation, soil, nutrient regime, yield, walnut

Введение

Питание растений оказывает большое влияние на рост, развитие плодовых культур и увеличение и сохранение урожая. На качество плодов грецкого ореха большое влияние оказывает содержание подвижных

форм азота, фосфора и калия [1], железа, меди и цинка [1; 2], так как при повышении содержания подвижных форм питательных веществ в почве увеличивается содержание этих веществ в листьях растений [2; 3], где происходит образование сложных ме-

таболитов в зависимости от их концентрации [4]. Это положительно влияет на рост, развитие, урожайность плодовых культур, в том числе грецкого ореха [5–7]. Поэтому повышение содержания подвижных питательных веществ в почве имеет большое значение в питании растений, в формировании и качестве урожая сельскохозяйственных культур. Для увеличения содержания подвижных питательных веществ в почве обычно применяются минеральные и органические удобрения [8–10]. Но применение минеральных удобрений в высоких дозах и не обоснованными научно методами приводит к нежелательным последствиям [11–13], таким как увеличение их потери, снижение коэффициента использования питательных веществ из удобрений и снижение качества продукции, а также загрязнение атмосферного воздуха окислами азота, водоемов нитратами, почвы – тяжелыми металлами и т. д. В последнее время в интенсивных садах, где выращиваются карликовые и полукарликовые плодовые культуры, в том числе и грецкого ореха, широко применяется капельное орошение и фертигация, что способствует эффективному использованию воды и удобрений [14–16]. Эффективное использование удобрений при фертигации в интенсивном садоводстве приводит к усилению питания, роста и развития растений и впоследствии к получению высокого урожая [17–19]. Но при этом большое значение имеет правильное установление нормы, дозы, сроков внесения минеральных удобрений [20]. Поэтому изучение этих вопросов при возделывании грецкого ореха в интенсивном садоводстве в условиях сероземов Зеравшанской долины Узбекистана является актуальным.

Цель исследования – установление влияния применения минеральных удобрений в условиях капельного орошения, то есть фертигации, на питательный режим сероземов, а также рост, развитие и урожайность грецкого ореха в условиях Зеравшанской долины Узбекистана.

Материалы и методы исследования

Полевые опыты проводились (табл. 1) на сероземах в интенсивных садах ООО «САГ

АГРО» Джамбайского района Самаркандской области. До посадки грецкого ореха эти земли были условно орошаемые. Рельеф холмистый. Сорт грецкого ореха – Chandler, схема посадки – 7х6 м. Густота стояния – 238 деревьев на 1 га. Содержание гумуса в слое 0–30 см было 0,94 %, валовых форм азота, фосфора и калия – 0,11; 0,18; 2,54 % соответственно, аммонийного азота – 12,4 мг/кг, нитратного азота – 13,1 мг/кг, подвижного фосфора – 12,5 мг/кг, обменного калия – 170 мг/кг. Реакция почвенной среды (рН) – 7,4, слабощелочная. Почва незасоленная.

В опыте изучалась норма азотных, фосфорных и калийных удобрений. Норма этих минеральных удобрений дана в действующих веществах, в пересчете на элемент азота, оксида фосфора V, оксида калия. Азот вносился при фертигации в форме карбамида, фосфор – моноаммония фосфата (МАП), калий – сульфата калия.

Опыт: вариантов 6, повторение – 4, количество делянок – 24 шт. Каждая делянка: рядов деревьев – 6, в одном ряду имеются 7 деревьев, из них внутренние 4 ряда являются учетными, крайние ряды были защитными. Ширина делянок 42 м, длина делянок – 42 м, общая площадь делянки 1764 м², из них 882 м² учетная.

В учетных рядах были выделены модельные деревья для проведения биометрических измерений и фенологических наблюдений. Урожайность грецкого ореха определялась сбором всех спелых орехов с учетной площади делянки. Потом урожай грецкого ореха пересчитывали на 1 га.

Образцы брали с трех слоев почвы: 0–30 см (пахотный слой), 30–60 и 60–90 см, с учетом развития корневой системы грецкого ореха. Содержание гумуса определяли по методу Тюрина, валовых форм азота, фосфора и калия – по Мальцевой – Гриценко, аммонийного азота – с помощью реактива Несслера на спектрофотометре, нитратного азота – по Грандвальд – Ляжу на спектрофотометре, минерального азота – путем сложения количества аммонийного и нитратного азота, подвижных форм фосфора и калия в одной навеске по Мачигину – Протасову, рН – потенциометрически на рН-метре [21; 22].

Таблица 1

Схема опыта

п/н	Варианты опыта	п/н	Варианты опыта
1	Без внесения удобрений (контроль)	4	N150P115K75
2	N75P57K38	5	N200P150K100
3	N100P75K50	6	N250P185K125

Полученные данные были статистически обработаны путем дисперсионного анализа, приведенного в книге Б. А. Доспехова «Методика полевого опыта» (1985) [23]. При этом как основные показатели статистической обработки определены наименьшая существенная разница (НСР, при 95 % достоверности) между показателями вариантов опыта, а также точность опыта (S_x %, %).

Результаты исследования и их обсуждение

Внесение азотных удобрений при фертигации способствовало увеличению аммонийного и нитратного азота не только в верхнем слое, но и в нижележащих слоях, то есть в 30–60 и 60–90 см слоях почвы по сравнению с контролем. Такая тенденция наблюдалась по всем годам исследования. Увеличение нормы азота удобрений до 150 кг/га существенно увеличивало содержание и нитратного, и аммонийного азота. Но при увеличении нормы азота с 150 мг/кг до 200 кг/га, особенно до 250 кг/га при фертигации содержание аммонийного и нитратного азота повышалось незна-

чительно. Следовательно, азотные удобрения при внесении вместе с капельным орошением под ореховый сад на сероземах существенно увеличивает содержание минерального азота в нормах 75–150 кг/га в д. в., дальнейшее увеличение нормы минеральных удобрений существенно не повышает этот показатель почвы. Так, например, если на контроле без внесения удобрений содержание минерального азота в 0–30 см слое 1 мая было 29,3 мг/кг, 1 июня 31,8 мг/кг, то на вариантах N75P57K38, N100P75K50, N150P115K75 1 мая составило 38,1; 41,3; 47,3 мг/кг, 1 июня – 40,7; 44,4; 52,2 мг/кг соответственно. А в вариантах N200P150K100 и N250P185K125 – 1 мая 49,2 и 50,9 мг/кг, 1 июня – 53,6 и 55,0 мг/кг (табл. 2).

Полученные данные показывают, что в варианте без внесения удобрений (контроль) содержание подвижных питательных веществ в почве на очень низком уровне. Такая тенденция наблюдается в течение всей вегетации грецкого ореха, что отрицательно действует на рост, развитие, формирование плодов и накопление урожая грецкого ореха.

Таблица 2

Влияние удобрений при капельном орошении на содержание минерального азота ($N-NH_4 + N-NO_3$) в почве, мг/кг, 2022 г.

п/н	Варианты опыта	Горизонты почвы, см	Даты анализа почв					
			1.04	1.05	1.06	1.07	1.08	1.09
1	Контроль (без удобрений)	0–30	28,3	29,3	31,8	32,3	31,4	30,5
		30–60	19,1	20,5	23,6	24,1	23,3	22,0
		60–90	13,9	15,2	16,1	16,5	16,1	14,2
2	N75P57K38	0–30	28,7	38,1	40,7	41,4	38,7	35,8
		30–60	19,5	28,2	29,6	30,8	29,3	26,1
		60–90	14,7	18,2	19,1	20,2	18,7	16,5
3	N100P75K50	0–30	29,0	41,3	44,4	45,4	42,8	39,5
		30–60	19,0	32,0	34,2	35,7	33,8	28,4
		60–90	15,0	19,7	20,5	21,5	20,9	17,9
4	N150P115K75	0–30	27,7	47,3	52,2	53,1	48,2	43,8
		30–60	18,5	35,6	38,8	39,7	36,9	31,1
		60–90	14,5	21,6	22,7	23,4	21,9	19,9
5	N200P150K100	0–30	28,4	49,2	53,6	54,3	49,2	44,5
		30–60	18,6	36,9	39,6	40,4	38,0	31,6
		60–90	15,1	22,4	23,4	24,0	22,3	20,3
6	N250P185K125	0–30	29,5	50,9	55,0	55,5	50,8	45,5
		30–60	19,1	38,2	40,6	41,4	38,6	32,3
		60–90	14,6	23,2	24,1	24,5	23,0	20,9

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

Но в начале весны со временем количество подвижных питательных веществ, в том числе аммонийного и нитратного азота, увеличивалось, что связано с активизацией процессов аммонификации и нитрификации. Кроме того, ризосфера плодовых культур, в том числе грецкого ореха, положительно действует на численность микроорганизмов и микробиологические процессы почвы, что связано с корневыми выделениями деревьев. С применением минеральных удобрений существенно увеличивается содержание аммонийного и нитратного азота по сравнению с контролем. Увеличение содержания минерального азота при внесении минеральных удобрений при фертигации наблюдалось во всех исследованных горизонтах почвы. При этом эффект более значимый, чем при обычном внесении азотных удобрений. Так как при фертигации почти не наблюдается инфильтрационный ток воды и вымывание азота орошаемой водой.

При внесении азотных удобрений вместе с капельным орошением было отмечено высокое содержание аммонийного азота в почве по сравнению с содержанием нитратного азота. Это, по-видимому, связано с высоким содержанием влаги, особенно в верхнем слое почвы, и удержанием влаги в почве более длительно по сравнению с традиционным способом полива, то есть бороздовым поливом. При таких условиях снижается скорость и активность нитрификации в почве, что препятствует в определенной степени переходу аммония удобрений и почвы в нитраты, уменьшает потери азота почвы и удобрений и повышает коэффициент использования азота из почвы и удобрений. Особенно большое значение это имеет в сероземах на лессовых отложениях, где гранулометрический состав более тяжелый, что легко создает условия для денитрификации нитратов при капельном орошении. Нахождение азота в форме аммония не дает возможности этим процессам. Тем более что при слабощелочных реакциях почвы аммонийный азот используется растениями лучше, чем нитратный, что положительно действует на азотное питание растений. Повышение нормы азотных, фосфорных и калийных удобрений способствовало возрастанию количества минерального азота. Но с последующим повышением нормы азота удобрений увеличение содержания подвижного азота было меньше, чем в предыдущем случае.

Внесение минеральных удобрений, в том числе фосфорных, значительно увеличивает содержание подвижного фосфора в сероземах Зеравшанской долины при возделывании грецкого ореха. Так, например, если в контроле содержание

подвижного фосфора 1 мая 2022 г. было 13,4 мг/кг, 1 июня – 14,6 мг/кг, а при внесении N75P57K38 – 17,6 и 18,2 мг/кг, в варианте N150P115K75 – 21,7 и 22,5 мг/кг, в варианте N200P150K100 – 22,2 и 23,1 мг/кг, в варианте N250P185K125 – 23,1 и 23,6 мг/кг (табл. 3). Следовательно, с увеличением нормы фосфора удобрения на фоне повышения дозы азотных и калийных удобрений возрастает содержание подвижного фосфора во всех горизонтах почвы, особенно в верхнем слое эта тенденция наблюдалась более заметно. С увеличением нормы фосфора с 115 кг/га до 150 и 185 кг/га на возрастающем фоне азотных и калийных удобрений содержание подвижного фосфора увеличивалось несущественно. Увеличение содержания подвижного фосфора в сероземных почвах при выращивании грецкого ореха наблюдается во всех исследованных горизонтах – 0–30; 30–60; 60–90 см. То есть наблюдается продвижение растворенного фосфора в почвенном слое в нижележащие горизонты при капельном орошении. Таким образом, применение водорастворимых форм фосфорсодержащих удобрений при капельном орошении грецкого ореха, то есть при фертигации существенно увеличивает содержание подвижного фосфора в почве и тем самым улучшает ее фосфатный режим и фосфорное питание деревьев грецкого ореха.

Применение полного состава минеральных удобрений, включающих и калийные, способствовало повышению содержания подвижного калия, включающих как водорастворимый, так и обменный калий, по сравнению с контрольным вариантом. Повышение нормы калийных удобрений с 38 кг/га в д. в. до 75 кг/га в составе полных минеральных удобрений существенно увеличивало содержание подвижного калия в почве. При увеличении нормы калийных удобрений на фоне увеличения дозы минеральных удобрений с 75 кг/га до 100 и 125 кг/га не привело к существенному увеличению количества подвижного калия.

Так, например, если содержание подвижного калия в контроле 1 мая 2022 г. в 0–30 см слое почвы было 200 мг/кг, 1 июня – 220 мг/кг, то в варианте N75P57K38 – 260 и 270 мг/кг соответственно, в варианте N100P75K50 – 280 и 290 мг/кг, в варианте N150P115K75 – 300 и 320 мг/кг, N200P150K100 – 310 и 320 мг/кг, в варианте N250P185K125 – 320 и 330 мг/кг соответственно. Следовательно, калийные удобрения в составе полных минеральных удобрений при фертигации при выращивании грецкого ореха существенно увеличивают содержание подвижного калия, и при этом оптимальной нормой калийного удобрения было 75 кг/га.

Таблица 3

Влияние удобрений при капельном орошении на содержание подвижного фосфора (P_2O_5) в почве, мг/кг, 2022 г.

п/н	Варианты опыта	Горизонты почвы, см	Даты анализа почв					
			1.04	1.05	1.06	1.07	1.08	1.09
1	Контроль (без удобрений)	0–30	12,8	13,4	14,6	15,2	13,6	13,1
		30–60	9,6	10,2	10,5	10,8	10,0	9,6
		60–90	7,5	7,8	8,1	8,4	8,1	7,8
2	N75P57K38	0–30	12,5	17,6	18,2	19,0	18,1	17,5
		30–60	9,4	11,6	11,9	12,6	11,8	11,2
		60–90	7,3	9,5	9,7	10,1	9,6	9,1
3	N100P75K50	0–30	12,3	19,5	20,1	21,0	20,3	18,6
		30–60	9,6	12,7	13,0	13,8	13,0	12,2
		60–90	7,0	10,1	10,4	10,6	10,2	9,8
4	N150P115K75	0–30	12,7	21,7	22,5	23,2	22,5	20,2
		30–60	9,4	14,2	15,8	16,5	15,3	13,4
		60–90	7,5	10,6	11,1	11,7	11,2	10,8
5	N200P150K100	0–30	13,0	22,2	23,1	24,1	23,1	21,1
		30–60	9,4	14,9	15,8	16,9	15,9	13,6
		60–90	7,2	11,0	11,4	11,9	11,5	11,0
6	N250P185K125	0–30	12,5	23,1	23,6	24,7	23,6	21,6
		30–60	9,0	15,6	16,0	17,1	16,3	14,0
		60–90	7,3	11,3	11,5	12,2	11,7	11,2

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

Таким образом, как показывают результаты наших опытов, применение водорастворимых форм минеральных удобрений в полном составе существенно увеличивает содержание подвижных форм питательных веществ – аммония, нитратов, подвижного фосфора и калия, что улучшает питательный режим почвы и питание растений грецкого ореха. Это положительно действует на рост, развитие и урожайность грецкого ореха, возделываемого в рамках интенсивного садоводства. При внесении удобрений путем фертигации в саду грецкого ореха на сероземах увеличивалось количество плодов на одном дереве грецкого ореха. Применение минеральных удобрений путем фертигации положительно действовало не только на количество плодов, но и на массу одного плода грецкого ореха. На контроле без внесения минеральных удобрений, где деревья грецкого ореха питаются только за счет естественных питательных веществ почвы, очень медленно образовались и формировались плоды грецкого ореха. Поэтому в контроле, без удобрений, количество плодов и масса одного плода грецкого ореха были наименьшими, что приводит к низкой урожайности грецкого ореха. Это говорит о том, что полноценное

питание деревьев грецкого ореха основными макроэлементами имеет большое значение в накоплении урожая грецкого ореха в условиях сероземов Самаркандской области. Тем более что при внесении минеральных удобрений путем фертигации питательные вещества в почве постоянно находятся в растворенном виде, то есть в очень доступной форме для растений в течение длительного времени, что лучше действует на питание, рост, развитие, накопление урожая грецкого ореха, чем обычное внесение, где удобрение в основном находится в условиях нехватки влаги в почве, так как во время вегетации грецкого ореха часто проводится орошение с меньшими нормами воды, поддерживая определенную влажность не во всех горизонтах почвы. Поэтому с внесением минеральных удобрений путем фертигации на сероземах существенно увеличивается урожай грецкого ореха. В контрольном варианте без внесения удобрений из-за малого количества подвижных питательных веществ и неполноценного питания растений образовывалось небольшое количество плодов с меньшей массой. Поэтому в этом варианте урожайность грецкого ореха была самой низкой на опыте.

Влияние минеральных удобрений при фертигации на урожайность грецкого ореха, ц/га

п/н	Варианты опыта	Годы исследования			Всего, ц	Среднее, ц/га	Прибавка	
		2022	2023	2024			ц/га	%
1	Контроль без удобрений	16,50	18,23	17,40	52,13	17,38	–	100
2	N75P57K38	57,95	54,00	57,00	168,95	56,32	38,94	324,05
3	N100P75K50	67,85	65,18	67,67	200,70	66,90	49,52	384,93
4	N150P115K75	87,30	84,53	88,70	260,53	86,84	69,46	499,65
5	N200P150K100	88,75	86,60	89,97	265,32	88,44	71,06	508,86
6	N250P185K125	89,80	87,58	90,77	268,15	89,38	72,00	514,27
	Sx %, %	1,82	3,20	3,53				
	HCP ₀₅ , ц/га	3,73	6,28	7,28				

Примечание: составлена авторами на основе полученных данных в ходе исследования

Следовательно, нехватка подвижных питательных веществ в почве не дает возможности формирования и получения высоких урожаев плодов грецкого ореха. С увеличением нормы минеральных удобрений при фертигации улучшается питательный режим почвы и питание растений, что обеспечивает повышение урожайности грецкого ореха. Однако увеличение нормы минеральных удобрений с N150P115K75 до N200P150K100 и N250P185K125 существенно не повышает урожай грецкого ореха в условиях интенсивного садоводства. Так, например, на контроле без удобрения средний урожай за три года был 17,38 ц/га, тогда как на варианте N75P57K38 – 56,32 ц/га, N100P75K50 – 66,90 ц/га, N150P115K75 – 86,84 ц/га, N200P150K100 – 88,44 ц/га, N250P185K125 – 89,38 ц/га. При этом дополнительный урожай при внесении удобрений составил 38,94; 49,52; 69,46; 71,06; 72,00 ц/га соответственно. Прибавка урожая по сравнению с контролем без удобрений была 224,05–414,27 % (табл. 4). Следовательно, самый высокий существенный урожай грецкого ореха получается при внесении минеральных удобрений в норме N150P115K75 путем фертигации, так как при таких условиях создается оптимальный питательный режим почвы для питания растений грецкого ореха.

Заключение

Таким образом, внесение минеральных удобрений путем фертигации при интенсивном способе возделывания грецкого ореха на сероземах улучшает питательный режим почвы, питание, рост, развитие растений и повышение урожая грецкого ореха. Причиной высокой эффективности мине-

ральных удобрений при фертигации помимо улучшения усвоения питательных веществ растениями в этих условиях является очень низкое содержание подвижных питательных веществ в сероземах. И оптимальной системой удобрений для грецкого ореха, возделываемого интенсивным способом при фертигации, является N150P115K75. При дальнейшем повышении нормы минеральных удобрений урожайность грецкого ореха существенно не повышается, то есть прибавка урожая будет находиться в пределах ошибки.

Список литературы

1. Cui M., Li Q., Ni Z., Han Y., Zheng Y., Mo R., Shen D., Liu Y. The Nutritional Qualities of Walnuts and Their Planted Soils from China – Level and Relationship // *Forests*. 2023. Vol. 14. P. 1369. DOI: 10.3390/f14071369.
2. Yan R., Xiang F., Li Y., Li X., Zhang Y., Li J. Study on Soil Fertility Characteristics of Walnut Orchards with Different Parent Materials and Soil Types in Gyaca County, Tibet // *Agronomy*. 2024. Vol. 14. P. 1496. DOI: 10.3390/agronomy14071496.
3. Bhattarai B. P., Tomar C. S. Effect of Integrated Nutrient Management on Leaf Nutrient Status of Walnut (*Juglans regia* L.) // *Nepal Journal of Science and Technology*. 2009. Vol. 10. P. 63–67. DOI: 10.3126/njst.v10i0.2825.
4. Tariq A., Zeng F., Graciano C., Ullah A., Sadia S., Ahmed Z., Murtaza G., Ismoilov K., Zhang Z. Regulation of Metabolites by Nutrients in Plants. In *Plant Ionomics* (eds V. P. Singh and M. H. Siddiqui). 2023. DOI: 10.1002/9781119803041.ch1.
5. Khalil A. et al. Mineral Nutrition. In: Mir M. M., Rehman M. U., Iqbal U., Mir S. A. (eds) *Temperate Nuts*. Springer, Singapore. 2023. P. 171–186. DOI: 10.1007/978-981-19-9497-5_7_5.
6. Zhang R., Zhang Y., Song L., Song X., Hanninen H., Wu J. Biochar enhances nut quality of *Torreya grandis* and soil fertility under simulated nitrogen deposition // *Forest Ecology and Management*. 2017. Vol. 391. P. 321–329. DOI: 10.1016/j.foreco.2017.02.036.
7. Goode J. E., Higgs K. H., Hyrycz K. J. Nitrogen and Water Effects on the Nutrition, Growth, Crop Yield and Fruit Quality of Orchard-Grown Cox's Orange Pippin Apple Trees // *Journal of Horticultural Science*. 1978. Vol. 53 (4). P. 295–306. DOI: 10.1080/00221589.1978.11514832.

8. Srivastava A. K., Malhotra S. K. Nutrient use efficiency in perennial fruit crops – A review // *Journal of Plant Nutrition*. 2017. Vol. 40 (13). P. 1928–1953. DOI: 10.1080/01904167.2016.1249798.
9. Zhang Qian, Zhai Meizhi, Du Tianyu, Wen Hong, He Haiyun, Ji Ya'nan, Pang Junqian. Effects of Different Fertilization Treatments on Walnut Yield, Quality and Soil Fertility [J] // *Journal of Southwest Forestry University*. 2022. Vol. 42 (1). P. 39–46. DOI: 10.11929/j.swfu.202107015.
10. Imtiyaz A. Wani, Sheikh Mehraj, Mohammed Tauseef Ali, Asma Hassan, Sartaj A. Wani, Sharbat Hussain and I. A. Bisati Effect of Inorganic and Organic Fertilisers on Yield and Soil Nutrient Status of Walnut Orchard // *International Journal of Plant & Soil Science*. 2017. Vol. 16 (2). P. 1–13. DOI: 10.9734/IJPSS/2017/32310.
11. Bai Y.-C., Chang Y.-Y., Hussain M., Lu B., Zhang J.-P., Song X.-B., Lei X.-S., Pei D. Soil Chemical and Microbiological Properties Are Changed by Long-Term Chemical Fertilizers That Limit Ecosystem Functioning // *Microorganisms*. 2020. Vol. 8. P. 694. DOI: 10.3390/microorganisms8050694.
12. Amiri M. E., Fallahi E., Golchin A. Influence of Foliar and Ground Fertilization on Yield, Fruit Quality, and Soil, Leaf, and Fruit Mineral Nutrients in Apple // *Journal of Plant Nutrition*, 2008. Vol. 31 (3). P. 515–525. DOI: 10.1080/01904160801895035.
13. Baldi E., Toselli M. Organic Fertilization of Fruit Trees as an Alternative to Mineral Fertilizers: Effect on Plant Growth, Yield and Fruit Quality. In: Gupta D. K., Palma J. M. (eds) *Plant Growth and Stress Physiology // Plant in Challenging Environments*. 2021. Vol. 3. Springer, Cham. DOI: 10.1007/978-3-030-78420-1_6.
14. Çetin Öner, Akalp Erhan. Efficient use of water and fertilizers in irrigated agriculture: drip irrigation and fertigation // *Acta Horticulturae et Regiotecturae*, 2019. Vol. 22. Is. 2. P. 97–102. DOI: 10.2478/ahr-2019-0019.
15. Fan J., Lu X., Gu Sh., Guo X. Improving nutrient and water use efficiencies using water-drip irrigation and fertilization technology in Northeast China // *Agricultural Water Management*. 2020. Vol. 241. Is. 1. 106352. DOI: 10.1016/j.agwat.2020.106352.
16. Li H., Mei X., Wang J., Huang F., Hao W., Li B. Drip fertigation significantly increased crop yield, water productivity and nitrogen use efficiency with respect to traditional irrigation and fertilization practices: A meta-analysis in China // *Agricultural Water Management*. 2021. Vol. 244. 106534. DOI: 10.1016/j.agwat.2020.106534.
17. Kumar D., Ahmed N., Response of Nitrogen and Potassium Fertigation to “Waris” Almond (*Prunus dulcis*) under Northwestern Himalayan Region of India // *The Scientific World Journal Volume* 2014. Article ID 141328, 6 p. DOI: 10.1155/2014/141328.
18. El-Habbasha S. F., Okasha E. M., Abdelraouf R. E., Mohammed A. S. H. Effect of Pressured Irrigation Systems, Deficit Irrigation and Fertigation Rates on Yield, Quality and Water use Efficiency of Groundnut // *International Journal of Chem Tech Research CODEN (USA): IJCRGG ISSN 0974-4290* Vol. 7. Is. 4. P. 1751–1764. URL: [https://sphinxnsai.com/2015/ch_vol7_no4/2/\(1751-1764\)%20V7N4.pdf](https://sphinxnsai.com/2015/ch_vol7_no4/2/(1751-1764)%20V7N4.pdf) (дата обращения: 23.04.2026).
19. Southwick S. M., Rupert M. E., Yeager J. T., Lampinen B. D., Dejong T. M., Weis K. G. Effects of nitrogen fertigation on fruit yield and quality of young ‘French’ prune trees // *The Journal of Horticultural Science and Biotechnology*. 1999. Vol. 74 (2). P. 187–195. DOI: 10.1080/14620316.1999.11511093.
20. Nekha Tanari, Suma Ramegowda, Anusree Thottan and Manjunatha Girigowda Effect of fertigation of primary nutrients on pomegranate (*Punica granatum* L.) fruit productivity and quality // *Tropical Plant Research. The Journal of the Society for Tropical Plant Research*. 2019. Vol. 6 (3). P. 424–432. DOI: 10.22271/tp.2019.v6.i3.052.
21. Агрохимические методы исследования почв. Ответственный редактор А. В. Соколов. М.: Наука, 1975. 656 с. [Электронный ресурс]. URL: https://www.avito.ru/perm/knigi_i_zhurnaly/agrohimicheskie_metody_issledovaniya_pochv._1975_7894710331 (дата обращения: 25.04.2026).
22. Аринушкина Е. В. Руководство по химическому анализу почв. М.: Издательство МГУ, 1970. 488 с. [Электронный ресурс]. URL: https://www.studmed.ru/arinushkina-ev-rukovodstvo-po-himicheskomu-analizu-pochv_73ec497f401.html (дата обращения: 25.04.2026).
23. Доспехов Б. А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). М.: Агропромиздат, 1985. 351 с. URL: https://mf.bmstu.ru/assets/files/soil_books/uchebnik9.pdf (дата обращения: 27.04.2026).

Конфликт интересов: Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

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

Финансирование: Авторы заявляют об отсутствии внешнего финансирования.

Financing: The research was performed without external funding.



ТАКСОНОМИЧЕСКИЙ СОСТАВ И ЗНАЧЕНИЕ МАКРОЗООБЕНТОСА, ОБИТАЮЩЕГО В ЦЕНТРАЛЬНОЙ ФЕРГАНЕ (ЯЗЬЯВАНСКОМ ВОДОХРАНИЛИЩЕ)

Рахимов М. Ш., Хомидова З. М.

Национальный университет Узбекистана имени Мирзо Улугбека, Ташкент, Республика Узбекистан, e-mail: xomidovazulhumor91@gmail.com

В настоящем исследовании представлен комплексный анализ фауны зообентических беспозвоночных Язьяванского водохранилища и прилегающих водоемов, расположенных в Центральной Фергане. Гидробиологические исследования проводились в 2024–2025 гг. с использованием стандартных методов отбора и обработки проб. В результате выявлено 11 видов макрозообентосных организмов, относящихся к 9 семействам, 5 классам и 3 типам. Макрозообентос исследуемого водоема представлен тремя типами беспозвоночных: Mollusca – 45,5 %, Arthropoda – 36,3 % и Annelida – 18,2 %. Наибольшую долю в видовом составе составляют представители типа Mollusca, что свидетельствует о благоприятных условиях для развития донных фильтраторов. Выявленные виды играют важную роль в функционировании водной экосистемы, участвуя в процессах минерализации органического вещества, формировании трофических цепей и поддержании биологического равновесия. Отмечено присутствие представителей амфипод, включая род *Gammarus*, что свидетельствует о благоприятных экологических условиях и удовлетворительном кислородном режиме водоема. Данные организмы могут использоваться в качестве биоиндикаторов состояния водной среды. Полученные результаты позволяют дать научно обоснованную характеристику современного состояния макрозообентоса исследуемого водоема и могут служить основой для дальнейшего гидроэкологического мониторинга, оценки биоразнообразия и разработки мероприятий по рациональному использованию и охране водных ресурсов региона.

Ключевые слова: Фергана, Язьяванское водохранилище, макрозообентос, личинки насекомых, пиявки, моллюски, ракообразные

Благодарности: Авторы выражают благодарность коллегам, оказавшим содействие в сборе, обработке и анализе материала.

THE TAXONOMIC COMPOSITION AND SIGNIFICANCE OF MACROZOOBENTHOS FOUND IN THE CENTRAL FERGANA (YAZYAVON RESERVOIR)

Raximov M. Sh., Khomidova Z. M.

National University of Uzbekistan named after Mirzo Ulugbek, Tashkent, Republic of Uzbekistan, e-mail: xomidovazulhumor91@gmail.com

This study presents a comprehensive analysis of the zoobenthic invertebrate fauna of the Yazyavon Reservoir and adjacent aquatic ecosystems located in Central Fergana. Hydrobiological investigations were conducted during 2024–2025 using standard sampling and laboratory identification methods. A total of 11 species of macrozoobenthic organisms belonging to 9 families, 5 classes, and 3 phyla were identified. The macrozoobenthos fauna of the studied water body is represented by three phyla of invertebrates: Mollusca – 45.5 %, Arthropoda – 36.3 %, and Annelida – 18.2 %. The highest proportion in the species composition is formed by representatives of the phylum Mollusca, which indicates favorable conditions for the development of benthic filter feeders. The identified species play a crucial role in ecosystem functioning by contributing to organic matter decomposition, nutrient cycling, and trophic interactions. The presence of amphipods, including representatives of the genus *Gammarus*, suggests favorable ecological conditions and adequate oxygen levels in the reservoir. These organisms can serve as reliable bioindicators of water quality. The findings provide a scientifically grounded assessment of the current state of macrozoobenthos and can be used as a basis for long-term hydroecological monitoring, biodiversity assessment, and sustainable management of aquatic resources in the region.

Keywords: macrozoobenthos, taxonomy, bioindicators, freshwater ecosystem, Central Fergana, Reservoir Yazyavon

Acknowledgements: The authors express their gratitude to colleagues who assisted in collecting, processing and analyzing the material.

Введение

Центрально-Ферганское (Язьяванское) водохранилище расположено в Язьяванском районе Ферганской области, в пределах Ферганской долины – одного из крупнейших гидрографических регионов Центральной Азии, и введено в эксплуатацию

в 2013 г. Площадь водохранилища составляет 4,2 га, а общий объем – 350 млн м³. Водоем питается водами р. Сырдарьи через Южно-Ферганский магистральный канал и используется преимущественно для орошения сельскохозяйственных угодий центральной части Ферганской долины, а также для нужд рыбоводства.

Создание водохранилища обусловило значительные изменения гидроэкологических условий и привело к формированию новых биотопов и биоценозов, в структуре которых макрозообентос занимает важное место как один из ключевых компонентов донных сообществ.

В настоящее время особое внимание уделяется изучению водных организмов, чувствительных к абиотическим и антропогенным факторам, в связи с необходимостью оценки экологического состояния водных экосистем и рационального использования биологических ресурсов. В этом направлении важны исследования макрозообентоса, включающие учет видового состава, анализ экологических групп и выявление факторов, определяющих их распределение. В связи с этим особое внимание уделяется инвентаризации бентических организмов континентальных водоемов, выявлению абиотических факторов, определяющих их пространственное распределение, а также изучению видов, имеющих практическое значение в рыбоводстве, пищевой и санитарной практике [1]. В целом гидробионты, изучаемые в водных экосистемах, представляют собой разнообразное сообщество водных животных. Личинки водных насекомых, пиявки, моллюски и другие беспозвоночные являются важным звеном трофических цепей, служа кормовой базой для рыб, водоплавающих птиц, земноводных, рептилий и человека. Кроме того, отдельные группы организмов, такие как *Tubifex*, хирономиды и моллюски, участвуют в процессах самоочищения водоемов, способствуя фильтрации воды и улучшению ее биологических показателей [2].

Макрозообентос выполняет важные функции в водных экосистемах, участвуя в круговороте веществ, трансформации донных отложений и передаче энергии в трофических цепях [3]. Благодаря высокой чувствительности к изменениям окружающей среды, макрозообентосные организмы широко используются в качестве биоиндикаторов состояния водных экосистем [4]. В частности, хирономиды, отличающиеся высокой численностью и экологической пластичностью, являются важным элементом при оценке экологического состояния водоемов [5].

Несмотря на важное экологическое значение, гидробиологические исследования Центрально-Ферганского (Язьяванского) водохранилища ранее практически не проводились. В связи с этим видовой состав макрозообентоса, его количественные показатели, экологическая структура и особен-

ности пространственного распределения остаются недостаточно изученными.

В этой связи целью настоящего исследования является определение видовой разнообразия, количественных показателей (численности и биомассы), а также экологических характеристик макрозообентоса данного водоема.

Цель исследования – определить видовой и таксономический состав подводных организмов, обитающих в Центрально-Ферганском (Язьяванском) водохранилище, оценить их современное состояние, изучить влияние факторов окружающей среды и проанализировать их хозяйственное значение.

Материалы и методы исследования

Данное научное исследование проводилось в Язьяванском водохранилище Ферганской области (40°37'02.6"N 71°33'22.5"E) (рис. 1). Исследования проводились в 2024–2025 гг. на территории Центрально-Ферганского (Язьяванского) водохранилища. Пробы отбирались с использованием стандартных гидробиологических методов. Пробы отбирались с помощью квадратной донной сети (размер ячеей 0,5 мм). Материалы были собраны из трех местообитаний, подводных камней, водных растений и дна водохранилища. Всего было отобрано девять проб. Живых беспозвоночных немедленно собирали из проб, сначала хранили в 50 % этаноле, а затем переводили в 70–96 % этанол. Собранные организмы сортировали и идентифицировали в основном под стереомикроскопом типа С.З.М, что позволило детально изучить их морфологические признаки. Идентификацию собранного материала проводили до минимально возможного таксономического уровня с использованием специализированных определителей, каталогов и современных таксономических публикаций. Определение видов пиявок (*Hirudinea*) осуществлялось с использованием классических определителей и таксономических работ [6, 7], а также современных систематических исследований [8].

При идентификации учитывались основные морфологические признаки, включая строение тела, наличие или отсутствие хоботка, особенности ротового аппарата и количество глаз.

Определение видов моллюсков (*Mollusca*) проводилось на основе определителей [9, 10] и каталога [11].

При идентификации использовались диагностические морфологические признаки, такие как форма раковины, тип спирали, направление завитка и строение устья.

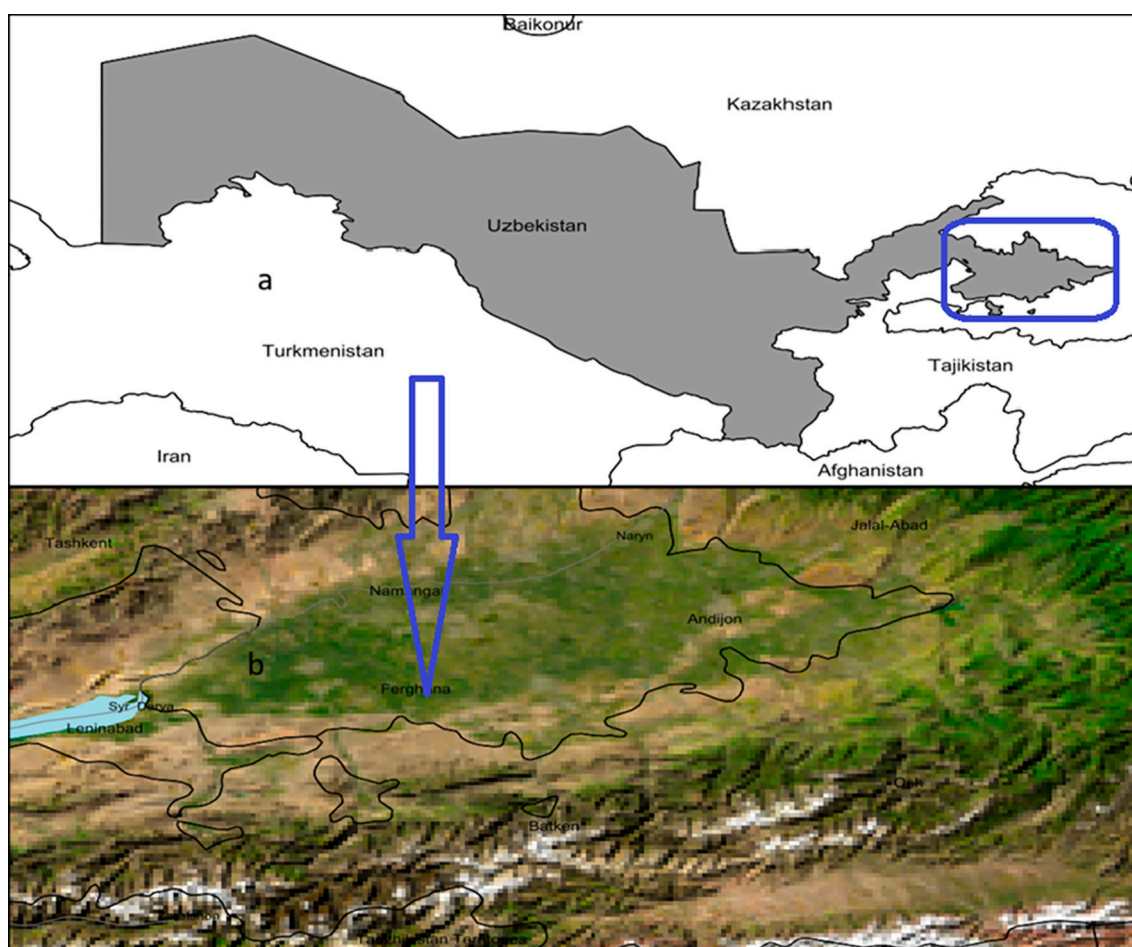


Рис. 1. Географическое положение района исследований:
 а) расположение Республики Узбекистан в Центральной Азии;
 б) Ферганская область (район Язъяванского водохранилища)
 Примечание: составлен авторами по результатам данного исследования

Результаты исследования и их обсуждение

В исследованиях выявлено 11 видов макрозообентосных беспозвоночных, относящихся к 9 семействам (таблица).

По результатам исследований и анализа литературы было определено, что в Язъяванском водохранилище обитают 2 вида пиявок, относящихся к 1 подотряду, 2 семействам и 2 родам.

Присутствие видов *Erpobdella octaculata* (8 экз.) и *Haemopis sanguisuga* (6 экз.) свидетельствует о накоплении детрита и органических остатков в донных отложениях, что также подтверждается данными других авторов [12], отмечающих связь между численностью пиявок и уровнем органической нагрузки.

***Erpobdella octaculata* (Linnaeus, 1758).** Данный вид относится к семейству Erpobdellidae и широко распространен в

пресных водоемах. Тело дорсовентрально уплощенное, сегментированное, длиной обычно 2–5 см. В передней части тела расположены четыре пары (всего 8) простых глаз, выполняющих функцию светочувствительных органов. Ротовой аппарат развит, однако данный вид не является кровососущим; он относится к хищникам и питается мелкими беспозвоночными организмами, включая олигохет, личинок насекомых и других представителей макрозообентоса. Дыхание осуществляется через поверхность тела. Передвижение происходит с помощью передней и задней присосок, что характерно для представителей класса Hirudinea. Обитает преимущественно в заиленных и богатых органическими веществами донных отложениях. Вид обладает высокой экологической пластичностью и может служить индикатором умеренного органического загрязнения водоемов (рис. 2).

Видовой состав и распространение беспозвоночных макрозообентоса в Язьяванском водохранилище Ферганской области

№	Видовой состав
1	Беспозвоночные – Invertebrata Тип Кольчатых червей – Annelida Класс Clitellata Подкласс Пиявок – Hirudinea Семейство Erpobdellidae <i>Erpobdella octaculata</i> (L., 1758)
2	Семейство Haemopidae <i>Haemopsis sanguisuga</i> (L., 1758)
3	Тип Моллюски – Mollusca Класс двустворчатых – Bivalvia Отряд Unioniformes Семейство Unionidae <i>Sinanodonta gibba</i> (Benson, 1895)
4	Отряд Heterodonta Надсемейство Corbiculidea Семейство Corbiculidae
5	<i>Corbiculina tibetensis</i> (Prashad, 1929) <i>Corbiculina ferghanensis</i> (Kursalova et Starobogatov, 1971)
6	Класс брюхоногих – Gastropoda Подкласс легочных – Pulmonata Неформальная группа – Basommatophora Семейство Physidae <i>Physella (Costatella) acuta</i> (Draparnad, 1805)
7	Семейство Planorbidae <i>Planorbis tangitarenensis</i> Germain, 1918
8	Тип членистоногих – Arthropoda Класс – Malakostraka Отряд – Amfipoda Семейство Gammaridae <i>Gammarus subaequalis</i> martynov 1935
9	Водные насекомые Класс насекомых – Insecta Отряд стрекозы -Odanata Семейство Calopterygidae <i>Calopteryx splendens</i> Harris, 1780
10	Семейство Gomphidae Rambur, 1842 <i>Ophiogomphus cecilia</i> Fourcroy, 1785
11	Семейство Nepidae <i>Nepa cinerea</i> L., 1758

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



Рис. 2. *Erpobdella octaculata* (Linnaeus, 1758) – общий вид, морфологические особенности тела

Примечание: составлен авторами по результатам данного исследования

***Haemopsis sanguisuga* (L., 1758).** Представитель семейства Haemopidae, характеризующийся крупными размерами (до 10–15 см). Тело удлинненное, цилиндрическое, с хорошо развитой мускулатурой, окраска варьирует от бурой до темно-коричневой. В отличие от медицинских пиявок, данный вид не является паразитом и не питается кровью, а ведет хищный образ жизни. Основу питания составляют различные донные беспозвоночные, включая червей и личинок насекомых. Обитает в стоячих или слабопроточных водоемах, предпочитает заиленные участки дна с развитой водной растительностью. В экологическом отношении данный вид связан с водоемами, содержащими повышенное количество органического вещества, и может использоваться как индикатор эвтрофных условий.

Среди представителей типа Mollusca были выявлены виды *Corbiculina ferghanensis* (6 экз.) и *Corbiculina tibetensis* (4 экз.), которые характеризуются высокой адаптивностью к различным условиям донных отложений и минерализации воды. Низкая численность вида *Sinanodonta gibba* (1 экз.) указывает на ограниченность благоприятных условий, что согласуется с наблюдениями о чувствительности двустворчатых моллюсков к изменению гидрохимических параметров среды.

***Corbiculina tibetensis* (Prashad, 1929).** Представитель семейства Corbiculidae, характеризующийся небольшими размерами (1–3 см). Раковина плотная, округлая или слегка треугольная, с выраженными концентрическими линиями роста. Питается путем фильтрации воды, извлекая из нее органические частицы и микроорганизмы. Обитает преимущественно в песчаных и песчано-илистых субстратах. Отличается высокой адаптивностью к различным условиям среды. В некоторых случаях может проявлять свойства инвазивного вида за счет высокой скорости размножения.

***Sinanodonta gibba* (Benson, 1895).** Крупный двустворчатый моллюск из семейства Unionidae. Раковина массивная, овальной формы, длиной до 20 см, окраска варьирует от желтовато-зеленой до бурой. Вид является типичным фильтратором, питается взвешенными органическими частицами, фитопланктоном и бактериями, тем самым участвуя в процессах самоочищения воды. Обитает в илистых и илисто-песчаных грунтах водоемов с медленным течением или стоячей водой. Экологическое значение вида заключается в его роли как биофильтра, а также индикатора относительно стабильных условий среды.

Обнаружение видов *Physella acuta* (7 экз.) и *Planorbis tangitarenis* (3 экз.) свидетельствует о наличии органических веществ в водоеме и подтверждает их известную экологическую пластичность. По данным международных исследований, данные виды широко распространены в условиях эвтрофированных водоемов и часто используются как индикаторы органического загрязнения [13].

Среди выявленных видов количественное доминирование принадлежит виду *Gammarus subaequalis* (12 экз.), что согласуется с результатами ряда исследований, указывающих на высокую устойчивость амфипод к умеренному органическому загрязнению и их важную роль в процессах разложения органического вещества [14].

***Gammarus subaequalis* Martynov, 1935.** Представитель класса ракообразных (Amphipoda). Тело сжатое с боков, сегментированное, длиной до 1–2 см. Окраска варьирует от светло-серой до желтоватой. Ведет донный образ жизни, питается детритом, разлагающимся органическим веществом и микроорганизмами. Играет важную роль в процессах разложения органики и круговороте веществ в водных экосистемах. Чувствителен к загрязнению воды, поэтому широко используется как биоиндикатор качества среды [15].

Среди представителей Arthropoda присутствуют виды *Calopteryx splendens* (4 экз.) и *Ophiogomphus cecilia* (2 экз.) указывает на относительно благоприятный кислородный режим в отдельных участках водохранилища, поскольку личинки стрекоз чувствительны к дефициту кислорода [16].

***Calopteryx splendens* Harris, 1780 (личинки).** Личиночная стадия стрекозы из семейства Calopterygidae. Тело вытянутое, с развитым хищным аппаратом. Личинки являются активными хищниками, питаются мелкими водными организмами [17]. Обитают в хорошо аэрированных водоемах с чистой водой (рис. 3).

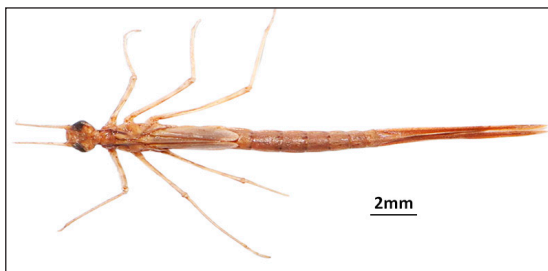


Рис. 3. *Calopteryx splendens* Harris, 1780 – общий вид, морфологические особенности тела
Примечание: составлен авторами по результатам данного исследования

Высокая чувствительность к загрязнению делает данный вид важным индикатором экологического состояния водоема.

В то же время наличие *Nepa cinerea* (2 экз.) свидетельствует о наличии участков со слабым течением и застойных зон, что соответствует данным о биотопических предпочтениях данного вида.

***Nepa cinerea* (Linnaeus, 1758).** Водный клоп из семейства Nepidae. Тело уплощенное, листовидное, задняя часть снабжена дыхательной трубкой. Является хищником, питается различными водными беспозвоночными. Обитает в стоячих водоемах с густой растительностью. Играет важную роль в структуре трофических цепей (рис. 4).

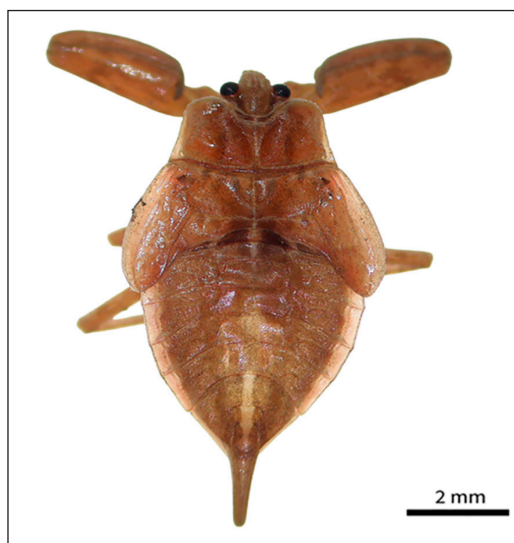


Рис. 4. *Nepa cinerea* (L., 1758) – общий вид, морфологические особенности тела
Примечание: составлен авторами по результатам данного исследования

Для оценки биологического разнообразия макрозообентоса были рассчитаны индексы Шеннона и Симпсона. Значение индекса Шеннона составило $H' = 2,2$, а индекс Симпсона – $D = 0,85$, что свидетельствует о среднем уровне биоразнообразия при наличии доминирующих видов. Согласно международным критериям оценки биоразнообразия, такие значения характерны для экосистем с умеренной антропогенной нагрузкой и относительно устойчивой структурой сообществ.

Сравнение полученных результатов с международными исследованиями Bonada, Li et al., Dudgeon показывает, что формирование сообществ макрозообентоса Языванского водохранилища происходит под влиянием как природных, так и антропогенных факторов. При этом выявленные закономер-

ности соответствуют результатам исследований, проведенных на территории Узбекистана, где также отмечается преобладание экологически пластичных и устойчивых к загрязнению видов. Таким образом, таксономический состав и количественные показатели макрозообентоса Язьяванского водохранилища отражают умеренно благоприятное экологическое состояние водной среды. Однако наличие органической нагрузки в отдельных участках указывает на необходимость дальнейшего мониторинга и комплексной оценки состояния водоема.

Заключение

Проведенное исследование показало, что сообщества макрозообентоса Язьяванского водохранилища в целом сформированы и могут служить надежным биоиндикатором экологического состояния водной экосистемы. Таксономический состав и экологические особенности выявленных организмов отражают наличие органического вещества и относительно стабильные гидроэкологические условия водоема.

Оценка биологического разнообразия свидетельствует о среднем уровне развития макрозообентосных сообществ и функциональной устойчивости экосистемы. В то же время преобладание отдельных экологически пластичных видов указывает на влияние антропогенных факторов на формирование структуры сообществ.

Полученные результаты подтверждают эффективность использования макрозообентоса в качестве биоиндикатора при оценке состояния пресноводных экосистем.

В перспективе целесообразно проведение регулярного гидробиологического мониторинга, изучение сезонной динамики макрозообентоса, а также комплексной оценки качества воды с целью более точного определения степени антропогенной нагрузки и разработки мероприятий по охране водных ресурсов.

Список литературы

1. Иззатуллаев З. И. Фауна моллюсков водных экосистем Средней Азии. Ташкент: Lesson Press, 2019. 328 с.
2. Иззатуллаев З. И., Олимова Д. А. Таксономический состав и хозяйственное значение зообентосных организ-

мов // Научное обозрение. Биологические науки. 2024. № 1. С. 26–30. DOI: 10.17513/srbs.1349.

3. X. Dou Q., Du X., Cong Y., et al. Influence of environmental variables on macroinvertebrate community structure in Lianhuan Lake // *Ecology and Evolution*. 2022. Vol. 12. Is. e8553. DOI: 10.1002/ece3.8553.

4. Reid A. J., Carlson A. K., Creed I. F., et al. Emerging threats and persistent conservation challenges for freshwater biodiversity // *Biological Reviews*. 2019. Vol. 94 (3). P. 849–873. DOI: 10.1111/brv.12480.

5. Beermann A. J. et al. DNA metabarcoding reveals the complex and hidden responses of chironomids to multiple stressors // *Environ. Sci. Eur.* 2018. Vol. 30. Art. 26. DOI: 10.1186/s12302-018-0157-x.

6. Lukin E. I. Leeches of fresh and brackish waters // *Fauna USSR: Leeches*. Л.: Наука, 1976. Т. 1. 484 p.

7. Цалолыхин С. Я. Определитель зоопланктона и зообентоса пресных вод Европейской России Т. 2: Зообентос. Товарищество научных изданий КМК. 2016. 457 с. ISBN 978-5-9907572-4-0.

8. De Carle D., Ocegüera-Figueroa A., Tessler M., Siddall M. E., Kvist S. Phylogenetic analysis of Placobdella (Hirudinea: Rhynchobdellida: Glossiphoniidae) with consideration of COI variation // *Mol Phylogenet Evol.* 2017. Vol. 114. P. 234–248. DOI: 10.1016/j.ympev.2017.06.017.

9. Старобогатов Я. И., Прозорова Л. А., Богатов В. В., Саенко Е. М., Хлебович В. В., Чернышев А. В. Определитель пресноводных беспозвоночных России и сопредельных территорий. Т. 6. Моллюски, Полихеты, Немертины. СПб.: Маик «Наука/Интерпериодика». 2004. 528 с. EDN: XMJLHF. ISBN 5-02-026204-8.

10. Кантор Ю. И., Сысоев А. В. Каталог моллюсков России и сопредельных стран. М.: Товарищество научных изданий КМК, 2005. 627 с.

11. Shirokaya A. A., Sitnikova T. Ya., Vinarski M. V., Palatov D. M., Kijashko P. V., Izzatullayev Z. I. Fresh- and brackish-water gastropod taxa described by Zuvaidullo I. Izzatullayev // *Archiv für Molluskenkunde*. 2019. Vol. 148 (2). P. 197–261. DOI: 10.1127/arch.moll/148/197-261.

12. Solijonov Kh., Umarov F. U. Ecology of leeches and gastropods // *Bulletin of the Iraq Natural History Museum*. 2022. Vol. 17 (2). P. 229–250. DOI: 10.26842/binhm.7.2022.17.2.0229.

13. Dudgeon D. Multiple threats imperil freshwater biodiversity in the Anthropocene // *Current Biology*. 2019. Vol. 29. Is. 19. P. R960–R967. DOI: 10.1016/j.cub.2019.08.002.

14. Bonada N., Prat N., Resh V. H., Stutzner B. Developments in aquatic insect biomonitoring: a comparative analysis of recent approaches // *Annual Review of Entomology*. 2006. Vol. 51. P. 495–523. DOI: 10.1146/annurev.ento.51.110104.151124.

15. Barnard J. L., Karaman G. S. The families and genera of marine gammaridean Amphipoda // *Records of the Australian Museum*. 1991. Supplement 13. Part 1. ISBN: 0730587436. DOI: 10.3853/j.0812-7387.13.1991.91.

16. Askew R. R. The dragonflies of Europe. Colchester: Harley Books, 2004. DOI: 10.1163/9789004474383.

17. Kalkman V. J., Boudot J. P., Bernard R., et al. Diversity and conservation of European dragonflies and damselflies (Odonata) // *Hydrobiologia*. 2018. Vol. 811. P. 269–282. DOI: 10.1007/s10750-017-3495-6.

Конфликт интересов: Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

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

Финансирование: Авторы заявляют об отсутствии внешнего финансирования.

Financing: The research was performed without external funding.



ВЛИЯНИЕ НАСЕКОМЫХ-ОПЫЛИТЕЛЕЙ НА СЕМЕННУЮ ПРОДУКТИВНОСТЬ ВИДОВ *FERULA SAMARKANDICA* KOROVIN И *FERULA DSHIZAKENSIS* KOROVIN В ГОРНЫХ ЭКОСИСТЕМАХ

^{1,2}Усанов У. Н. ORCID ID 0000-0002-1059-3271,

¹Халимов Ф. З. ORCID ID 0000-0003-0624-4586,

³Умиров Н. У. ORCID ID 0000-0001-6135-4337

¹Самаркандский государственный университет, Самарканд, Республика Узбекистан,
e-mail: usanov0892@gmail.com;

²Государственный природный заповедник «Зомин», Джизак, Республика Узбекистан;

³Джизакский государственный педагогический университет, Джизак, Республика Узбекистан

Виды рода *Ferula* Lindl. представляют собой ценные лекарственные растения, широко используемые в традиционной и современной медицине благодаря биологически активным соединениям, включая эфирные масла и смолы. Устойчивость популяций этих растений во многом определяется их семенной продуктивностью, которая обеспечивает естественное возобновление и поддержание генетического разнообразия. Настоящее исследование посвящено изучению влияния насекомых-опылителей на семенную продуктивность двух эндемичных видов – *Ferula samarkandica* Korovin и *Ferula dshizakensis* Korovin в горных экосистемах Узбекистана. Для оценки вклада перекрестного опыления растения были изолированы от насекомых с помощью мелкоячеистой сетки до начала цветения, в то время как контрольные растения развивались в естественных условиях. После окончания цветения семена каждого растения были собраны и проанализированы по числу паракладиев, зонтиков и сформировавшихся семян. Результаты показали, что исключение насекомых-опылителей привело к значительному снижению семенной продуктивности обоих видов, тогда как вегетативные характеристики, такие как высота растений и количество паракладиев, оставались стабильными. У *F. samarkandica* изоляция растений от насекомых-опылителей привела к снижению урожайности на 29 %, в то время как у *F. dshizakensis* – на 23 %. Полученные данные подчеркивают важность насекомых-опылителей для воспроизводства этих эндемичных видов. Сохранение популяций ключевых опылителей имеет решающее значение для поддержания семенной продуктивности *F. samarkandica* и *F. dshizakensis*, особенно в условиях антропогенного воздействия и изменения климата. Дальнейшие исследования должны быть направлены на определение спектра основных опылителей, оценку их численности и сезонной динамики.

Ключевые слова: *Ferula samarkandica*, *Ferula dshizakensis*, паракладий, зонтик, урожай семян, опылители

INFLUENCE OF INSECT POLLINATORS ON SEED PRODUCTIVITY OF *FERULA SAMARKANDICA* KOROVIN AND *FERULA DSHIZAKENSIS* KOROVIN IN MOUNTAIN ECOSYSTEMS

^{1,2}Usanov U. N. ORCID ID 0000-0002-1059-3271,

¹Khalimov F. Z. ORCID ID 0000-0003-0624-4586,

³Umirov N. U. ORCID ID 0000-0001-6135-4337

¹Samarkand State University, Samarkand, Republic of Uzbekistan,
e-mail: usanov0892@gmail.com;

²Zomin State Nature Reserve, Jizzakh, Republic of Uzbekistan;

³Jizzakh state pedagogical university, Jizzakh, Republic of Uzbekistan

Species of the genus *Ferula* Lindl. are valuable medicinal plants widely used in both traditional and modern medicine due to their biologically active compounds, including essential oils and resins. The stability of populations of these plants largely depends on their seed productivity, which ensures natural regeneration and the maintenance of genetic diversity. The present study investigates the influence of insect pollinators on the seed productivity of two endemic species – *Ferula samarkandica* Korovin and *Ferula dshizakensis* Korovin – in the mountain ecosystems of Uzbekistan. To assess the contribution of cross-pollination, plants were isolated from insects using fine mesh netting before the beginning of flowering, while control plants developed under natural conditions. After the flowering period, seeds from each plant were collected and analyzed in terms of the number of paracladia, umbels, and developed seeds. The results showed that the exclusion of insect pollinators led to a significant reduction in seed productivity in both species, whereas vegetative characteristics such as plant height and the number of paracladia remained stable. In *F. samarkandica*, isolation from insect pollinators resulted in a 29 % decrease in seed yield, while in *F. dshizakensis* the reduction was 23 %. These findings highlight the important role of insect pollinators in the reproduction of these endemic species. The conservation of key pollinator populations is essential for maintaining the seed productivity of *F. samarkandica* and *F. dshizakensis*, particularly under conditions of anthropogenic pressure and climate change. Further studies should focus on identifying the main pollinator species and assessing their abundance and seasonal dynamics.

Keywords: *Ferula samarkandica*, *Ferula dshizakensis*, paracladium, umbel, seed yield, pollinators

Введение

Известно, что Узбекистан богат лекарственными растениями, и интерес к ним высок с древних времен. В научной медицине и народной терапии республики встречается более 750 видов растений, обладающих лечебными свойствами. Среди них наибольшее число относится к семейству зонтичных (*Apiaceae* L.) – 119 видов, принадлежащих к 57 родам. В настоящее время важным считается промышленное возделывание этих растений, определение их природных запасов и изучение факторов, влияющих на их численность [1, 2].

В последние годы установлено, что виды рода *Ferula* (*Apiaceae*) характеризуются высоким содержанием биологически активных вторичных метаболитов и обладают сложными репродуктивно-биологическими особенностями. Представители данного рода опыляются преимущественно насекомыми, что является важным экологическим фактором, определяющим семенную продуктивность и устойчивость популяций [3].

Естественная продуктивность растений во многом зависит от ряда экологических факторов, среди которых одним из важных являются насекомые. С одной стороны, насекомые-вредители причиняют серьезные повреждения растениям, с другой стороны, насекомые-опылители обеспечивают воспроизводство растений. Несмотря на многочисленные свидетельства сокращения численности опылителей в разных регионах мира, угроза, которую это представляет для популяций растений, остается не до конца ясной, поскольку растения нередко способны образовывать семена без участия животных-опылителей. Количественная оценка вклада опылителей в образование семян, на основе глобальной базы данных, включающей 1174 вида растений: без опылителей треть видов цветковых растений вовсе не образует семян, а у половины наблюдается снижение плодовитости на 80 % и более [4].

В мире насчитывается 180–185 видов рода *Ferula* Lindl., в странах СНГ – 106 видов, в Центральной Азии – 105 видов, в Узбекистане – 48 видов, в Западном Тянь-Шане – более 50 видов, в системе Памиро-Алая – около 50 видов, из них в Западном Памиро-Алае – 33 вида [5]. Виды *Ferula* имеют долгую историю применения экстрактов в различных медицинских и терапевтических контекстах из-за их хорошо документированной значительной биологической активности. Эти экстракты использовались как в человеческой, так и в ветеринарной

практике для лечения широкого спектра заболеваний, включая головные боли, расстройства пищеварения, ревматизм, артрит и опухолевую активность [6, 7]. Поэтому в последнее время особое внимание уделяется сохранению популяций редких видов [8] и культивированию дикорастущих видов, созданию новых плантаций [9].

Ferula samarkandica Korovin – монокарпическое растение. Корень с несколькими расширенными, боковыми, ветвящимися ответвлениями. Стебель желто-зеленый, не толстый, высотой до 1,0 м, в средней части образует продолговато-овальные сложные зонтики, которые ветвятся. Зонтики разнообразны, конечные – сидячие, 8–14 (до 20) лучей, диаметром 5–7 см, боковые собраны в 2–5 соцветий. Зонтики содержат 10–15 цветков, с несколькими пленчатymi оберточками; листья опадающие. Чашечка треугольно-зубчатая. Лепестки желтые, с центральной жилкой, острые, загнутые внутрь. Цветет в мае, плодоносит в июне [10]. *Ferula samarkandica* встречается на высоте 700–3300 м над уровнем моря, на песчаных, каменисто-галечниковых склонах. Является смолоносным, эфиромасличным и кормовым растением [11, 12], цветки богаты нектаром [13].

Ferula dshizakensis Korovin – поликарпическое растение. Корень цилиндрический, корневая шейка волокнистая, с остатками прошлогодних листьев. Стебель тонкий, прочный, с немного утолщенными узлами, в верхней части слабо ветвящийся, длиной до 30 см. Зонтики разнообразные, почти сидячие, с 5–10 лучами, длиной до 4,0 см; боковые – с 1–3 длинночерешковыми соцветиями. Зонтики содержат по 10 цветков, лепестки желтые, овальные [10]. *Ferula dshizakensis* произрастает на высоте 800–1500 м над уровнем моря, на каменистых и галечниковых горных склонах, в трещинах скал. Цветет в мае – июне, плодоносит в июне – июле [11].

По определению насекомых, трофически связанных с представителями рода *Ferula*, проведен ряд исследований [14]. В последних работах установлено, что в составе энтомофауны вида *Ferula kuhistanica* встречаются 95 видов, относящихся к 8 отрядам, 48 семействам и 85 родам [15], при этом среди опылителей зарегистрированы 37 видов, относящихся к 4 отрядам и 17 семействам. По видовому разнообразию среди опылителей лидируют жуки (16 видов), двукрылые (14 видов) и перепончатокрылые (11 видов) [16].

У ферулы имеется ряд свойственных ей особенностей, которые создают условия для эффективности многих опылителей.

Во-первых, околоцветник ферулы не очень глубокий, что облегчает доступ к нектару, особенно многим двукрылым насекомым. Во-вторых, цветки ферулы желтого цвета, что является привлекательным для многих насекомых. Еще одной особенностью ферулы является ее запах, который привлекает не только опылителей, но и сапрофагов и некрофагов. Поэтому на феруле всегда можно встретить множество разных насекомых.

Цель исследования – определить влияние насекомых-опылителей на семенную продуктивность видов рода *Ferula*.

Материалы и методы исследования

Исследования проводились в 2024–2025 гг. в горных экосистемах Узбекистана. Изучение влияния насекомых-опылителей на семенную продуктивность *Ferula samarkandica* Korovin проводилось на территории Зоминского государственного природного заповедника (Бахмальское отделение, район Гуралашсойского обхода) на высоте 1780–2024 м над уровнем моря (39°41'00"N, 68°13'46"E; 39°37'59"N, 68°16'57"E). Исследования *Ferula dshizakensis* Korovin выполнялись в 2025 г. в северо-западной части Молгузарского хребта (район «Ворота Амир Темура») на высоте 400–500 м над уровнем моря (40°04'28"N, 67°41'54"E).

Определение видов растений проводилось с использованием материалов Гербарного центра Института ботаники АН Республики Узбекистан и определителей флоры Средней Азии. Морфологические признаки и жизненные формы растений изучались

по методам И. Т. Серебрякова, И. А. Раменского и др.

Для оценки роли насекомых-опылителей применялся эксперимент с исключением опылителей. В каждом исследуемом участке были выделены две экспериментальные группы растений:

1. Эксперимент (исключение опылителей) – соцветия растений до начала цветения изолировались мелкой ячейистой сеткой, предотвращающей доступ насекомых-опылителей (рис. 1).

2. Контроль (открытое опыление) – растения находились в естественных условиях и были доступны насекомым.

В каждом варианте анализировалось по 10 растений ($n = 10$) каждого вида. После окончания цветения изоляционный материал удаляли. После созревания семян проводился сбор семенного материала с каждого растения отдельно.

Для каждого растения определяли следующие показатели: высота растения (см), количество паракладиев и количество сформировавшихся семян. Количество семян рассматривалось как показатель реальной семенной продуктивности.

Статистическая обработка данных проводилась с использованием пакета Statistica 10.0. Все значения представлены в виде среднего значения \pm стандартная ошибка среднего (Mean \pm SE). Для сравнения экспериментальной и контрольной групп применялся двусторонний t-тест Стьюдента для независимых выборок. Различия считались статистически значимыми при $p < 0,05$.



Рис. 1. Растения, изолированные от насекомых сеткой (А – *Ferula samarkandica*, В – *Ferula dshizakensis*) (Зоминский государственный заповедник)

Примечание: фото авторов

**Результаты исследования
и их обсуждение**

Как показали исследования продуктивность семян растений ферулы существенно различалась между экспериментальными и контрольными вариантами. Полученные результаты представлены в табл. 1 и 2.

Полученные результаты демонстрируют важную роль насекомых-опылителей в формировании семенной продуктивности исследованных видов рода *Ferula*. Исключение насекомых из процесса опыления привело к значительному снижению числа сформировавшихся семян у обоих видов.

Анализ показателей в обоих видах показал, что высота растений и количество паракладиев статистически не отличались между экспериментом и контролем. Так, у *F. samarkandica* средняя высота составила $118,20 \pm 2,66$ см в эксперименте и $117,80 \pm 1,75$ см в контроле ($p = 0,696$), а у *F. dshizakensis* – $47,10 \pm 4,82$ см и $47,20 \pm 4,37$ см соответственно ($p = 0,962$). Это указывает на то, что изоляция от опылителей не оказывает влияния на вегетативный рост растений и формирование соцветий. Подобный результат согласуется с представлениями о том, что развитие генеративных структур у многолетних зонтичных в значительной степени определяется ресурсным состояни-

ем растения и условиями среды (свет, влага, почвенное питание), а не самим процессом опыления.

Количество паракладиев, являющихся косвенным показателем потенциальной семенной продуктивности, также не изменилось под влиянием исключения опылителей. У *F. samarkandica* этот показатель составил $17,60 \pm 1,26$ в эксперименте и $17,90 \pm 1,20$ в контроле ($p = 0,5927$), у *F. dshizakensis* – $8,80 \pm 0,63$ и $8,70 \pm 0,67$ ($p = 0,7364$). Это подтверждает, что формирование числа вторичных соцветий заложено на ранних стадиях онтогенеза и в меньшей степени зависит от наличия опылителей в текущем сезоне.

Кардинально иная картина наблюдается в отношении количества семян (рис. 2). В обоих видах выявлено значимое и резкое снижение семенной продуктивности при отсутствии опылителей. У *F. samarkandica* в экспериментальном варианте формировалось в среднем $467,40 \pm 29,54$ семян, тогда как в контроле – $657,80 \pm 25,47$ ($t = -15,436$; $p < 0,0001$), что соответствует снижению урожайности на 29%. У *F. dshizakensis* семенная продуктивность уменьшалась с $237,10 \pm 9,93$ семян в контроле до $183,10 \pm 5,88$ семян в эксперименте ($t = -14,802$; $p < 0,0001$), что составляет примерно 23 % потерь.

Таблица 1

Влияние опылителей на продуктивность семян у *Ferula samarkandica* (n = 10)

Показатель	Эксперимент (Mean ± SE)	Контроль (Mean ± SE)	t	p	Вывод
Высота растений, см	$118,20 \pm 2,66$	$117,80 \pm 1,75$	0,397	0,696	Различия незначимы
Количество паракладиев, шт.	$17,60 \pm 1,26$	$17,90 \pm 1,20$	-0,545	0,593	Различия незначимы
Количество семян, шт.	$467,40 \pm 29,54$	$657,80 \pm 25,47$	-15,436	< 0,0001	Значимые различия, в контроле семян больше

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

Таблица 2

Влияние опылителей на продуктивность семян у *Ferula dshizakensis* (n = 10)

Показатель	Эксперимент (Mean ± SE)	Контроль (Mean ± SE)	t	p	Вывод
Высота растений, см	$47,10 \pm 4,82$	$47,20 \pm 4,37$	-0,049	0,962	Различия незначимы
Количество паракладиев, шт.	$8,80 \pm 0,63$	$8,70 \pm 0,67$	0,342	0,736	Различия незначимы
Количество семян, шт.	$183,10 \pm 5,88$	$237,10 \pm 9,93$	-14,802	< 0,0001	Значимые различия, в контроле семян больше

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

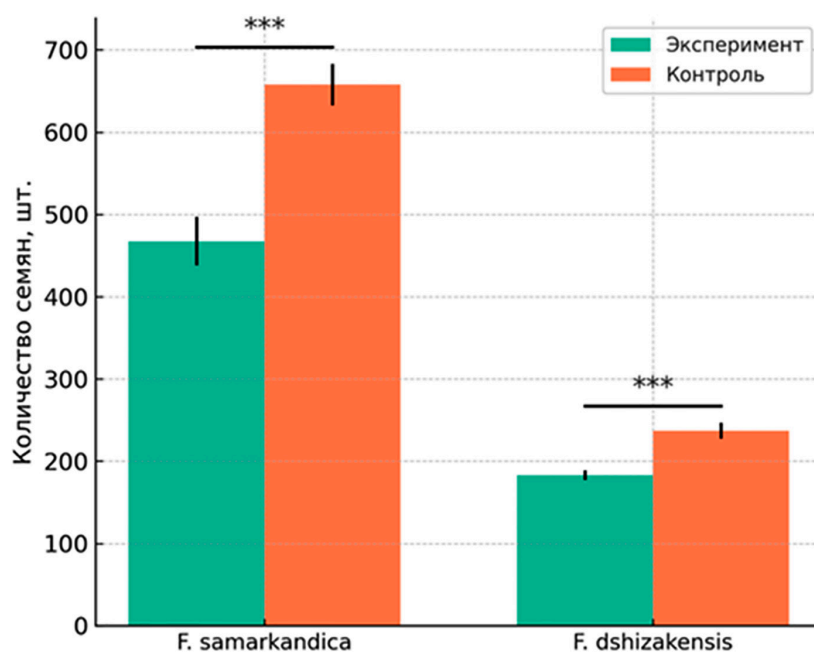


Рис. 2. Семенная продуктивность видов *F. samarkandica* и *F. dshizakensis* в контрольном и экспериментальном вариантах
Примечание: составлен авторами по результатам данного исследования

Таким образом, отсутствие доступа насекомых к соцветиям приводит к резкому снижению числа полноценных семян, что указывает на ключевую роль насекомых-опылителей в воспроизводстве обоих видов. Несмотря на то, что зонтичные растения могут образовывать семена и при самоопылении, эффективность этого процесса существенно ниже. Пыльца, переносимая насекомыми (пчелы, двукрылые, жуки), обеспечивает более полное оплодотворение и формирование полноценного семенного материала.

Сравнение двух изученных видов показывает, что *F. samarkandica* характеризуется более высокой абсолютной семенной продуктивностью, что, вероятно, связано с большими размерами растений и более развитой системой соцветий. Однако относительное снижение урожайности при исключении опылителей оказалось сходным у обоих видов, что указывает на общую зависимость представителей рода *Ferula* от насекомоопыления.

С экологической точки зрения полученные данные подчеркивают необходимость сохранения популяций насекомых-опылителей в местах произрастания *F. samarkandica* и *F. dshizakensis*. Уменьшение численности или исчезновение ключевых опылителей в результате антропогенного воздействия, изменения климата или деградации местообитаний может привести к снижению ре-

продуктивного успеха этих видов, а вследствие этого – к сокращению их популяций. Это особенно актуально для эндемичных или узкоареальных видов, к которым относятся рассматриваемые растения.

Заключение

Проведенное исследование показало, что исключение насекомых-опылителей существенно влияет на формирование семенной продуктивности изученных видов рода *Ferula*. При изоляции соцветий от насекомых наблюдалось значительное снижение количества сформировавшихся семян: у *Ferula samarkandica* – примерно на 29 %, у *Ferula dshizakensis* – на 23 % по сравнению с растениями, опылявшимися в естественных условиях.

В то же время вегетативные показатели растений, такие как высота и количество паракладиев, статистически не различались между экспериментальными и контрольными вариантами. Это свидетельствует о том, что вегетативное развитие растений в меньшей степени зависит от наличия опылителей, тогда как формирование семян напрямую связано с эффективностью энтомофильного опыления.

Полученные результаты подтверждают важную роль насекомых-опылителей в репродуктивной биологии *Ferula samarkandica* и *Ferula dshizakensis* и подчеркивают значение опылительных взаимодей-

ствий для поддержания устойчивости популяций этих видов в природных условиях.

Дальнейшие исследования целесообразно направить на выявление спектра основных опылителей, оценку их численности и сезонной динамики, а также на изучение качественных характеристик семян и генетических последствий ограниченного перекрестного опыления. Такой комплексный подход позволит разработать научно обоснованные меры по сохранению как самих растений, так и их опылителей, что важно для устойчивости горных экосистем Средней Азии.

Список литературы

1. Belolipov I. V., Abzalova N., Abzalov A. Natural flora of Uzbekistan as sources for new medicinal products – botanical nutraceuticals // International Journal of Applied and Fundamental Research. 2015. № 2. P. 144–146. URL: <https://science-sd.com/461-24823> (дата обращения: 26.04.2026).
2. Abduraimov O., Makhmudov A., Shomurodov Kh., Mamatqosimov O., Mavlanov B., Allamurotov A., Abduraimov A. Resource Stock, Age Structure, and Seed Productivity of *Ferula varia* (Schrenk) Trautv. in Central Uzbekistan // Environment and Ecology Research. 2025. Vol. 3. Is. 13. P. 400–408. DOI: 10.13189/eer.2025.130308.
3. Soltani S., Amin G., Salehi-Sourmaghi M. H., Iran-shahi M. Histone deacetylase inhibitory and cytotoxic activities of the constituents from the roots of three species of *Ferula* // Iranian Journal of Basic Medical Sciences. 2019. Vol. 22. P. 93–98. DOI: 10.22038/ijbms.2018.34338.8151.
4. Rodger J. G., Bennett J. M., Razanajatovo M., Knight T. M., Kleunen M., Ashman T-L., Steets J. A., Hui C., Arceo-Gómez G., Burd M., Burkle L. A., Burns J. H., Durka W., Freitas L., Kemp J. E., Li J., Pauw A., Vamosi J. C., Wolowski M., Xia J., Ellis A. G. Widespread vulnerability of flowering plant seed production to pollinator declines // Science Advances. 2021. Vol. 7. Is. 42. P. eabd3524. DOI: 10.1126/sciadv.abd3524.
5. Rahmonqulov U., Avalboyev O. N. O'zbekiston kovraklari (monografiya) // «Fan va texnologiya» nashriyoti, Toshkent. 2016. 240-b.
6. Kavaz D., Faraj R. K. Investigation of composition, antioxidant, antimicrobial and cytotoxic characteristics from *Juniperus sabina* and *Ferula communis* extracts // Scientific Reports. 2023. Vol. 13. P. 7193. DOI: 10.1038/s41598-023-34281-x.
7. Deniz G. Y., Laloglu E., Koc K., Geyikoglu F. Hepatoprotective potential of *Ferula communis* extract for carbon tetrachloride induced hepatotoxicity and oxidative damage in rats // Biotechnic & Histochemistry. 2019. Vol. 94. Is. 5. P. 334–340. DOI: 10.1080/10520295.2019.1566831.
8. Wang Q., Dong H., Liu Z., Chen B., Yu Y., Chen M. Resource stock, age structure, and seed prediction of *Ferula sinkiangensis* K.M. Shen // Bangladesh Journal of Botany. 2024. Vol. 53. Is. 30. P. 765–772. DOI: 10.3329/bjb.v53i30.76676.
9. Khojimatov O. K., Bussmann R. W., Khamraeva D. T. Some aspects of morphobiology, conservation of resource potential, crop cultivation and harvesting of raw materials of promising *Ferula* species // Ethnobotany Research and Applications. 2021. Vol. 22. P. 1–8. DOI: 10.32859/era.22.31.1-8.
10. Флора Узбекистана. Т. 4 / Под ред. А. И. Введенского. Ташкент: Изд-во АН УзССР, 1959. 506 с.
11. Авалбаев О. Н. Биоэкология видов рода *Ferula* Lindl. Западного Памиро-Алая и совершенствование методов их рационального использования: дисс. ... докт. фил. (PhD) по биол. наукам. Самарканд, 2020. 120 с.
12. Жуманиязова Ф. Ф., Мукумов И. У., Шакирова Ш. Ф. Род *Ferula* L. во флоре Джизакской области // Вестник Науки. 2020. Т. 5. № 8. С. 64–75. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/rod-ferula-l-vo-flore-dzhizakskoy-oblasti> (дата обращения: 24.04.2026).
13. Avalbaev O. N. The Biology of Flowering of Some Pamir-Alai Species of the Genus *ferula* L. // American Journal of Plant Sciences. 2018. Vol. 9. Is. 8. P. 1740–1746. DOI: 10.4236/ajps.2018.98126.
14. Давлетшина А. Г., Радзивиловская М. А. Энтомофауна каврака // Узбекский биологический журнал. 1965. № 1. С. 57–62.
15. Абдуллаев Э. Н., Халимов Ф. З., Хамзаев Р. А., Рахимов М. Р., Усанов У. Н., Алиев Д. Видовой состав энтомофауны коврака (*Ferula kuhistanica*) в Зарафшанском хребте // Вестник Хорезмской академии Мамуна. 2021. № 1. С. 15–21.
16. Khalimov F., Rakhimov M., Khamzaev R., Abdullaev E., Usanov U. Composition and structure of the entomofauna of *Ferula* (*Ferula kuhistanica*) in different sections of the Zarafshan Ridge // Journal of the Entomological Research Society. 2023. Vol. 25. Is. 2. P. 275–286. DOI: 10.51963/jers.2023.86.

Конфликт интересов: Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

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

Финансирование: Авторы заявляют об отсутствии внешнего финансирования.

Financing: The research was performed without external funding.



ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ ПАРАМЕТРЫ ОКСИДАТИВНОГО СТАТУСА И СОСТОЯНИЕ МИКРОБИОЦЕНОЗА ПРЯМОЙ КИШКИ ПРИ ИММОБИЛИЗАЦИОННОМ СТРЕССЕ У МОРСКИХ СВИНОК В ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ УСЛОВИЯХ

Хомидчонова Ш. Х. ORCID ID 0009-0003-1827-8107,
Ганижонов П. Х. ORCID ID 0009-0000-7458-17282

*Ферганский медицинский институт общественного здоровья, Фергана,
Республика Узбекистан, e-mail: polvonzhon.ganizhonov@mail.ru*

Данное экспериментальное исследование посвящено комплексному изучению влияния хронического иммобилизационного стресса на функциональные показатели оксидативного статуса, микробиоценоза прямой кишки и моторно-эвакуаторную функцию дистального отдела кишечника у морских свинок, а также оценке корректирующего потенциала экстракта *Sophora pachycarpa*. Цель исследования – выявление закономерностей формирования стресс-индуцированных нарушений прооксидантно-антиоксидантного равновесия, дисбиотических изменений облигатной и условно-патогенной микрофлоры, а также оценка фармакологической коррекции выявленных расстройств. В экспериментах использовались беспородные морские свинки возраста 5–7 месяцев (n = 30), разделенные на контрольную группу, группу иммобилизационного стресса и группу стресса с последующей коррекцией экстрактом *Sophora pachycarpa*. Иммобилизация проводилась в течение 3 ч ежедневно на протяжении 14 дней. Результаты показали, что иммобилизационный стресс вызывает выраженный оксидативный стресс: уровень малонового диальдегида возрастал в 3,18 раза, активность супероксиддисмутазы и каталазы снижалась в 2,86 и 2,51 раза соответственно. В микробиоценозе прямой кишки регистрировалось достоверное снижение *Lactobacillus spp.* на 39,5 % и *Bifidobacterium spp.* на 30,8 % при увеличении условно-патогенных *Clostridium spp.* на 50,0 % и *Escherichia coli* на 40,3 %. Моторно-эвакуаторная функция характеризовалась развитием гипермоторики с увеличением индекса дефекации на 154,5 %. Применение экстракта *Sophora pachycarpa* способствовало достоверному снижению уровня малонового диальдегида на 48,9 %, восстановлению активности антиоксидантных ферментов и нормализации микробиоценоза. Полученные данные свидетельствуют о выраженном дестабилизирующем влиянии иммобилизационного стресса на функциональный и микробиологический статус прямой кишки, что подтверждает целесообразность применения фитоэкстракта в качестве средства патогенетической коррекции.

Ключевые слова: прямая кишка, иммобилизационный стресс, перекисное окисление липидов, микробиоценоз, *Sophora pachycarpa*, антиоксидантные ферменты

FUNCTIONAL PARAMETERS OF OXIDATIVE STATUS AND MICROBIOCENOSIS OF THE RECTUM UNDER IMMOBILIZATION STRESS IN GUINEA PIGS IN EXPERIMENTAL CONDITIONS

Khomidchonova Sh. Kh. ORCID ID 0009-0003-1827-8107,
Ganizhonov P. Kh. ORCID ID 0009-0000-7458-17282

*Fergana Medical Institute of Public Health, Fergana, Republic of Uzbekistan,
e-mail: polvonzhon.ganizhonov@mail.ru*

This experimental study is devoted to a comprehensive investigation of the effects of chronic immobilization stress on functional parameters of oxidative status, microbiocenosis of the rectum, and the motor-evacuation function of the distal colon in guinea pigs, as well as evaluation of the corrective potential of *Sophora pachycarpa* extract. The study aimed to identify patterns of stress-induced disturbances in the prooxidant-antioxidant balance, dysbiotic alterations in obligate and opportunistic microflora, and to assess pharmacological correction of identified disorders. Experiments were conducted on outbred guinea pigs aged 5–7 months (n = 30), divided into a control group, an immobilization stress group, and a stress group with subsequent correction by *Sophora pachycarpa* extract. Immobilization was performed for 3 hours daily for 14 days. Results showed that immobilization stress induces marked oxidative stress: malondialdehyde levels increased 3.18-fold, superoxide dismutase and catalase activities decreased 2.86- and 2.51-fold, respectively. Microbiocenosis of the rectum demonstrated significant reductions in *Lactobacillus spp.* by 39.5 % and *Bifidobacterium spp.* by 30.8 %, with increases in opportunistic *Clostridium spp.* by 50.0 % and *Escherichia coli* by 40.3 %. Motor-evacuation function was characterized by the development of hypermotility with a 154.5 % increase in the defecation index. Application of *Sophora pachycarpa* extract significantly reduced malondialdehyde levels by 48.9 %, restored antioxidant enzyme activity and normalized microbiocenosis. The findings indicate a pronounced destabilizing effect of immobilization stress on the functional and microecological status of the rectum, confirming the feasibility of using the phytoextract as a pathogenetic correction agent.

Keywords: rectum, immobilization stress, lipid peroxidation, microbiocenosis, *Sophora pachycarpa*, antioxidant enzymes

Введение

В последние десятилетия стресс рассматривается как один из ключевых патогенетических факторов, вызывающих нарушения функций желудочно-кишечного тракта (ЖКТ). Прямая кишка (ПК), как дистальный отдел ЖКТ, выполняет резервуарную, экскреторную и барьерную функции, являясь при этом особо чувствительной мишенью для нейроэндокринных сдвигов, реализующихся при стрессе [1, с. 86; 2, с. 255–276]. Активация гипоталамо-гипофизарно-надпочечниковой (ГН) оси при иммобилизационном стрессе сопровождается гиперкортизолиемией, что инициирует комплекс метаболических нарушений, включая интенсификацию перекисного окисления липидов (ПОЛ), угнетение антиоксидантной системы и дестабилизацию кишечного микробиоценоза [3, с. 421–427; 4, с. 731–745; 5, с. 286–291].

Кишечная микробиота, представленная облигатными симбионтами (*Lactobacillus spp.*, *Bifidobacterium spp.*), играет ключевую роль в поддержании барьерной функции слизистой оболочки, колонизационной резистентности и местного иммунного гомеостаза. Хронический стресс, по данным ряда авторов, закономерно приводит к дисбиотическим изменениям, выражающимся в снижении популяции полезных бактерий и увеличении условно-патогенной флоры [6, с. 50–64; 7, с. 23–26; 8, с. 591–599]. Параллельно нарушается моторно-эвакуаторная функция дистального отдела кишечника, что клинически проявляется синдромом раздраженного кишечника, функциональной диареей или хроническим запором [9, с. 1877–2013; 10, с. 316].

В качестве перспективного средства коррекции стресс-индуцированных нарушений активно изучается экстракт *Sophora pachycarpa* (софора толстоплодная), содержащий комплекс флавоноидов, обладающих антиоксидантным, противовоспалительным и мембраностабилизирующим действием. Параллельно ряд исследований указывает на роль оксидативного стресса как универсального механизма повреждения слизистого барьера кишечника при воспалительной патологии [11, с. 561–577]. Несмотря на это, сведения о комплексном влиянии иммобилизационного стресса на оксидативный статус тканей ПК, ее микробиоценоз и моторную деятельность в доступной литературе остаются фрагментарными [12, с. 124–136; 13, с. 439–453].

Цель исследования – изучение функциональных параметров оксидативного статуса, состояния микробиоценоза и моторно-эвакуаторной функции прямой кишки мор-

ских свинок в условиях хронического иммобилизационного стресса, а также оценка эффективности коррекции выявленных нарушений экстрактом *Sophora pachycarpa*.

Материалы и методы исследования

Опыты проводились на 30 беспородных морских свинках-самцах возраста 5–7 месяцев, массой 300–350 г. Содержание животных и проведение манипуляций осуществлялись в соответствии с Директивой 2010/63/EU Европейского парламента. Животные были разделены на три группы по 10 особей:

- 1) группа 1 – контрольная (интактные животные);
- 2) группа 2 – животные с иммобилизационным стрессом;
- 3) группа 3 – животные с иммобилизационным стрессом с последующей коррекцией экстрактом *Sophora pachycarpa*.

Иммобилизационный стресс моделировался путем фиксации морских свинок на специальной доске в растянутом положении в течение 3 ч ежедневно на протяжении 14 дней. Экстракт *Sophora pachycarpa* вводился интрагастрально после завершения стрессирования.

Для оценки оксидативного статуса определяли уровень малонового диальдегида (МДА), активность супероксиддисмутазы (СОД) и каталазы, интенсивность ПОЛ и уровень активных форм кислорода (АФК). Микробиологическое исследование включало количественную оценку *Lactobacillus spp.*, *Bifidobacterium spp.*, *Clostridium spp.* и *Escherichia coli* методом посева на селективные питательные среды. Моторно-эвакуаторная функция ПК оценивалась по индексу дефекации (количество болюсов за 1 ч) и консистенции фекалий в баллах.

Определение уровня глюкозы также проводили при помощи биохимического анализатора Rayto RT и набора реагентов HUMAN. Сущность метода определения глюкозы заключается в ферментативном колориметрическом анализе с помощью фермента – глюкозооксидазы. Под действием фермента глюкозооксидазы глюкоза окисляется до глюконовой кислоты с образованием перекиси водорода, которая реагирует с 4-аминофеназоном и фенолом под действием фермента пероксидазы. В результате образуется окрашенное соединение – хинонин розово-малинового цвета. Интенсивность окраски прямо пропорциональна концентрации глюкозы в пробе. Содержание глюкозы пропорционально интенсивности окраски. Измерение проводится при длине волны 500 нм. Концентрация глюкозы выражали в ммоль/л.

Уровень кортизола в сыворотке крови морских свинок определяли методом иммуноферментного анализа с использованием иммуноферментного анализатора HUMAN Reader HS (Германия) и набора реактивов DRG Instruments GmbH (Германия). Сертифицированные коммерческие наборы реагентов состояли из специфических антител к кортизолу, которые покрывали лунки микропланшета, ферментного реагента (конъюгат), представляющего собой кортизол, меченный пероксидазой хрена, набор флаконов с известной концентрацией кортизола (от 0 до 800 нг/мл) для построения калибровочной кривой, контрольных сывороток, тетраметилбензидина, который при взаимодействии с ферментным раствором окрашивается в синий цвет, стоп-реагента и промывочного раствора. Измерение оптической плотности проводили на длине волны 450 нм. Результаты выражали в нмоль/л. Все определения биохимических показателей крови определяли, строго следуя инструкции производителя. Статистическая обработка проводилась с использованием t-критерия Стьюдента (программа OriginPro 7.5), различия считались значимыми при $p < 0,05$.

Результаты исследования и их обсуждение

Функциональные показатели оксидативного статуса при иммобилизационном стрессе

Воздействие хронического иммобилизационного стресса приводило к статистически значимому сдвигу прооксидантно-антиоксидантного баланса в тканях ПК (табл. 1). Уровень МДА достоверно возрастал до $7,94 \pm 0,39$ нмоль/мг белка против $2,5 \pm 0,23$ нмоль/мг белка в контрольной группе ($p < 0,05$), что свидетельствует об интенсификации деструкции клеточных мембран в 3,18 раза. Параллельно наблюдалось существенное угнетение антиоксидантных ферментов: активность СОД снижалась в 2,86 раза, каталазы – в 2,51 раза. Уровень АФК возрастал в 3,15 раза, а общая интенсивность ПОЛ – в 3,32 раза.

Введение экстракта *Sophora pachycarpa* после стрессирования приводило к снижению концентрации МДА на 48,9 % ($p < 0,001$), восстановлению активности СОД на 121,5 % и каталазы на 98,0 % по отношению к группе стресса. Уровень АФК снижался на 50,0 %, общая интенсивность ПОЛ – на 49,8 %.

Таблица 1

Функциональные показатели оксидативного статуса при стрессовом воздействии ($M \pm m$, $n = 10$)

Показатель	Контроль ($M \pm m$)	Стресс ($M \pm m$)	Δ
МДА (нмоль/мг белка)	$2,5 \pm 0,23$	$7,94 \pm 0,39^*$	+5,44
СОД (Ед/мг белка)	$17,56 \pm 0,96$	$6,14 \pm 0,59^*$	-11,42
Каталаза (мкмоль/мин/мг)	$30,62 \pm 1,47$	$12,2 \pm 0,99^*$	-18,42
АФК (усл. ед.)	$13,4 \pm 0,60$	$42,2 \pm 1,27^*$	+28,8
ПОЛ (усл. ед.)	$0,9 \pm 0,043$	$2,99 \pm 0,095^*$	+2,09

Примечание: * – $P < 0,05$ по отношению к контролю.

Составлена авторами на основе полученных данных в ходе исследования.

Таблица 2

Основные показатели микробиоценоза прямой кишки при хроническом стрессе ($M \pm m$, $n = 10$)

Показатель	Контроль ($M \pm m$)	Стресс ($M \pm m$)	Δ	Стресс + экстракт ($M \pm m$)
<i>Lactobacillus spp.</i> (lg КОЕ/г)	$8,6 \pm 0,32$	$5,2 \pm 0,28^*$	-3,4	$7,6 \pm 0,30^{**}$
<i>Bifidobacterium spp.</i> (lg КОЕ/г)	$9,1 \pm 0,41$	$6,3 \pm 0,35^*$	-2,8	$8,2 \pm 0,33^{**}$
<i>Clostridium spp.</i> (lg КОЕ/г)	$5,4 \pm 0,22$	$8,1 \pm 0,31^*$	+2,7	$6,2 \pm 0,27^{**}$
<i>Escherichia coli</i> (lg КОЕ/г)	$6,2 \pm 0,25$	$8,7 \pm 0,36^*$	+2,5	$6,8 \pm 0,29^{**}$

Примечание: * – $P < 0,05$ по отношению к контролю; ** – $P < 0,05$ по отношению к стрессу.

Составлена авторами на основе полученных данных в ходе исследования.

Полученные данные указывают на роль оксидативного стресса как универсального механизма тканевого повреждения при стрессорных воздействиях, а также согласуются с данными о патогенетическом значении оксидативных нарушений при воспалительной патологии кишечника [14; 15].

Состояние микробиоценоза прямой кишки при хроническом иммобилизационном стрессе

Анализ микробиоценоза ПК выявил выраженные дисбиотические нарушения (табл. 2). Содержание *Lactobacillus spp.* снижалось с $8,6 \pm 0,32$ до $5,2 \pm 0,28$ lg КОЕ/г (на 39,5 %; $p < 0,05$), что свидетельствует о нарушении колонизационной резистентности слизистой оболочки ПК. Уровень *Bifidobacterium spp.* уменьшался с $9,1 \pm 0,41$ до $6,3 \pm 0,35$ lg КОЕ/г (на 30,8 %; $p < 0,05$), что указывает на угнетение ферментативной активности микробиоценоза и нарушение синтеза короткоцепочечных жирных кислот. На этом фоне регистрировалось достоверное увеличение условно-патогенной флоры: *Clostridium spp.* – на 50,0 % ($p < 0,05$), *Escherichia coli* – на 40,3 % ($p < 0,05$).

Применение экстракта *Sophora pachycarpa* обеспечивало выраженное корригирующее влияние на микробиоценоз: уровень *Lactobacillus spp.* возрастал до $7,6 \pm 0,30$ lg КОЕ/г (88,4 % от контроля, на 46,2 % выше группы стресса; $p < 0,01$), *Bifidobacterium spp.* – до $8,2 \pm 0,33$ lg КОЕ/г (90,1 % от контроля, прирост на 30,2 %; $p < 0,01$). Содержание *Clostridium spp.* снижалось до $6,2 \pm 0,27$ lg КОЕ/г (на 23,5 %), *Escherichia coli* – до $6,8 \pm 0,29$ lg КОЕ/г (на 21,8 %). Полученные данные согласуются с работами М. Т. Bailey [2], показавшего, что активация ГГН-оси при стрессе закономерно сопровождается снижением численности облигатных симбионтов в дистальных отделах кишечника, а также с исследованиями J. F. Cryan et al. [9], установившими системообразующую роль оси «кишечник – мозг» в регуляции состава микробиоты [15].

Оценка моторно-эвакуаторной функции прямой кишки при иммобилизационном стрессе

Анализ моторно-эвакуаторной деятельности ПК выявил существенные функциональные нарушения под влиянием иммобилизационного стресса (табл. 3). У животных группы стресса наблюдалось резкое увеличение индекса дефекации с $2,2 \pm 0,40$ до $5,6 \pm 0,80$ болюсов за 1 ч, что соответствует росту на 154,5 % ($p < 0,05$). Балл консистенции фекалий возрастал с $1,6 \pm 0,2$ до $3,8 \pm 0,4$ ($p < 0,05$), что характеризует развитие выраженной гипермоторной дискинезии (диарейного синдрома), обусловленной стресс-индуцированным ускорением кишечного транзита [9; 12].

На фоне применения экстракта *Sophora pachycarpa* индекс дефекации снижался до $3,4 \pm 0,50$ болюсов/ч (на 39,3 % ниже группы стресса; $p < 0,01$), балл консистенции фекалий уменьшался до $2,1 \pm 0,3$ балла (снижение на 50,0 %; $p < 0,01$), что характеризует восстановление нормомоторики. Выявленная корригирующая эффективность препарата обусловлена, по-видимому, способностью флавоноидов *Sophora pachycarpa* снижать уровень провоспалительных цитокинов (ИЛ-6 и ФНО- α), которые при иммобилизационном стрессе возрастали в 3,7 и 4,3 раза соответственно, тем самым нормализуя нейромышечную регуляцию кишечника [10; 11].

В качестве основных индикаторов стрессорного состояния организма были исследования содержания глюкозы и кортизола в плазме крови с целью объективной оценки выраженности стрессорной реакции и подтверждения адекватности примененной модели иммобилизационного стресса. Определение данных ресурсов позволяет установить степень активации гипоталамо-гипофизарно-надпочечниковой оси и симпато-адреналовой системы, которые являются ключевыми нейроэндокринными механизмами адаптации организма к стрессорному воздействию. Полученные результаты представлены в табл. 4.

Таблица 3

Показатели моторно-эвакуаторной функции прямой кишки при стрессе и его коррекции ($M \pm m$, $n = 10$)

Группа	Индекс дефекации (болюсов/ч)	Консистенция фекалий (баллы)	Характер нарушений
Контроль	$2,2 \pm 0,40$	$1,6 \pm 0,2$	Нормомоторика
Стресс	$5,6 \pm 0,80^*$	$3,8 \pm 0,4^*$	Гипермоторика (диарея)
Стресс + <i>Sophora pachycarpa</i>	$3,4 \pm 0,50^{**}$	$2,1 \pm 0,3^{**}$	Склонность к нормомоторике

Примечание: * – $P < 0,05$ по отношению к контролю; ** – $P < 0,01$ по отношению к стрессу. Составлена авторами на основе полученных данных в ходе исследования.

Изменение уровня глюкозы и кортизола у морских свинок при воздействии стрессоров (M±m; n = 6)

Показатель	Контроль (M±m)	Имобилизационный стресс (M±m)	Δ
Глюкоза плазмы крови (ммоль/л)	7,31 ± 1,05	11,86 ± 3,14*	4,55 (62,2 %)
Кортизол плазмы крови (нмоль/л)	44,2 ± 6,8	298,7 ± 35,4*	254,5 (575,8 %)

Примечание: *p < 0,05, Δ – разница величин по сравнению с контролем.
Составлена авторами на основе полученных данных в ходе исследования.

В последующей серии экспериментов было установлено, что под воздействием иммобилизационного стресса наблюдается характерное повышение уровня глюкозы в плазме крови морских свинок опытной группы. Так, среднее значение данного показателя составило 11,86±3,14 ммоль/л, что достоверно превышало аналогичный показатель контрольной группы (7,31±1,05 ммоль/л) на 62,2 % (p < 0,05). Развитие стресс-индуцированной гипергликемии обусловлено усиленным гликогенолизом и глюконеогенезом под влиянием катехоламинов и глюкокортикоидов, секреция которых резко увеличивается в условиях стрессорного воздействия.

Наиболее выраженные изменения были зафиксированы в отношении уровня кортизола – основного глюкокортикоидного гормона коры надпочечников, являющегося универсальным маркером активации стресс-реализующих систем организма. Концентрация кортизола в плазме крови животных опытной группы составила 298,7±35,4 нмоль/л, что статистически стабильно превышало контрольные значения (44,2±6,8 нмоль/л) в 6,8 раза, или на 575,8 % (p < 0,05). Столь значительное повышение уровня кортизола свидетельствует о выраженной активации гипоталамо-гипофизарно-надпочечниковой оси и подтверждает, что примененная модель хронического иммобилизационного стресса является адекватной и воспроизводимой экспериментальной моделью для изучения стресс-индуцированных нарушений.

Заключение

Таким образом, хронический иммобилизационный стресс вызывает комплекс взаимосвязанных нарушений в прямой кишке морских свинок, включающий выраженный оксидативный стресс (трехкратное возрастание МДА и АФК на фоне угнетения антиоксидантных ферментов), дисбиотические изменения микробиоценоза со снижением облигатных симбионтов и активацией условно-патогенной флоры, а также развитие

гипермоторной дискинезии. Совокупность перечисленных нарушений формирует условия для повреждения слизистого барьера ПК и развития воспалительных патологий дистального отдела кишечника.

Экстракт *Sophora pachycarpa* демонстрирует выраженную патогенетическую эффективность в коррекции стресс-индуцированных нарушений: снижает интенсивность ПОЛ на 48,9 %, восстанавливает активность СОД и каталазы, нормализует состав микробиоценоза и улучшает моторно-эвакуаторную функцию ПК. Полученные данные обосновывают целесообразность применения данного фитозектракта в качестве средства профилактики и коррекции стресс-ассоциированных расстройств кишечника.

Список литературы

1. Greenwood-Van Meerveld B., Johnson A. C. Stress-Induced Chronic Visceral Pain of Gastrointestinal Origin // Front Syst Neurosci. 2017. Vol. 11. P. 86. DOI: 10.3389/fnsys.2017.00086. URL: <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fnsys.2017.00086/full>.
2. Bailey M. T. Influence of stressor-induced nervous system activation on the intestinal microbiota and immunomodulation // Adv Exp Med Biol. 2014. Vol. 817. P. 255–276. DOI: 10.1007/978-1-4939-0897-4_12.
3. Matsuura T., Takimura R., Yamaguchi M., Ichinose M. Estimation of restraint stress in rats using salivary amylase activity // Journal of Physiological Sciences. 2012. Vol. 62. Is. 5. P. 421–427. DOI: 10.1007/s12576-012-0219-6.
4. Galluzzi L., Yamazaki T., Kroemer G. Linking cellular stress responses to systemic homeostasis // Nat Rev Mol Cell Biol. 2018. Vol. 19 (11). P. 731–745. DOI: 10.1038/s41580-018-0068-0. URL: <https://www.nature.com/articles/s41580-018-0068-0> (дата обращения: 05.03.2026).
5. Расулова М. Т., Ганижонов П. Х., Хомидчонов Ш. Х., Одилов Х. А. Стресс и его влияние на состояние слизистой оболочки пищеварительного тракта: морфологические и функциональные изменения (обзор литературы) // Consilium Medicum. 2024. Т. 26. № 5. С. 286–291. DOI: 10.26442/20751753.2024.5.202671.
6. Золотова Н. А., Джалилова Д. Ш., Хочанский Д. Н., Цветков И. С., Косырева А. М., Пономаренко Е. А., Диагнотова М. А., Михайлова Л. П., Мхитаров В. А., Макарова О. В. Морфофункциональные изменения ободочной кишки при холодном стрессе у высокоустойчивых и низкоустойчивых к гипоксии самцов мышей c57bl/6 // Бюллетень экспериментальной биологии и медицины. 2021. Т. 171. № 4. С. 519–524. DOI: 10.47056/0365-9615-2021-171-4-519-524.

7. Аскарьянц В. П., Ибрагимов Х. И., Тожибоев А. А. и др. Влияние феназепам на функциональные показатели кишечника в условиях иммобилизационного стресса // Проблемы биологии и медицины. 2014. № 1. С. 23–26.
8. Konturek P. C., Brzozowski T., Konturek S. J. Stress and the gut: Pathophysiology, clinical consequences, diagnostic approach and treatment options // *J. Physiol Pharmacol.* 2011. Vol. 62 (6). P. 591–599. URL: https://www.jpp.krakow.pl/journal/archive/12_11/pdf/591_12_11_article.pdf (дата обращения: 23.03.2026).
9. Cryan J. F., O’Riordan K. J., Cowan C. S. M., Sandhu K. V., Bastiaanssen T. F. S., Boehme M. et al. The Microbiota-Gut-Brain Axis // *Physiol Rev.* 2019. Vol. 99 (4). P. 1877–2013. URL: <https://journals.physiology.org/doi/full/10.1152/physrev.00018.2018> (дата обращения: 04.03.2026). DOI: 10.1152/physrev.00018.2018.
10. Liu Y. Z., Wang Y. X., Jiang C. L. Inflammation: The Common Pathway of Stress-Related Diseases // *Front Hum Neurosci.* 2017. Vol. 11. P. 316. DOI: 10.3389/fnhum.2017.00316. URL: <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fnhum.2017.00316/full> (дата обращения: 04.03.2026).
11. Liang S., Wang T., Hu X., Luo J., Li W., Wu X. et al. Administration of *Lactobacillus helveticus* NS8 improves behavioral, cognitive, and biochemical aberrations caused by chronic restraint stress // *Neuroscience.* 2015. Vol. 310. P. 561–577. DOI: 10.1016/j.neuroscience.2015.09.033.
12. Foster J. A., Rinaman L., Cryan J. F. Stress & the gut-brain axis: regulation by the microbiome // *Neurobiol Stress.* 2017. Vol. 7. P. 124–136. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2352289517300127> (дата обращения: 04.03.2026). DOI: 10.1016/j.ynstr.2017.03.001.
13. Mayer E. A., Nance K., Chen S. The Gut-Brain Axis // *Annu Rev Med.* 2022. Vol. 73. P. 439–453. URL: <https://www.annualreviews.org/doi/10.1146/annurev-med-042320-014032> (дата обращения: 04.03.2026). DOI: 10.1146/annurev-med-042320-014032.
14. Tian T., Wang Z., Zhang J. Pathomechanisms of Oxidative Stress in Inflammatory Bowel Disease and Potential Antioxidant Therapies // *Oxid Med Cell Longev.* 2017. Vol. 2017. Art. ID 4535194. DOI: 10.1155/2017/4535194.
15. Madison A., Kiecolt-Glaser J. K. Stress, depression, diet, and the gut microbiota: human-bacteria interactions at the core of psychoneuroimmunology and nutrition // *Curr Opin Behav Sci.* 2019. Vol. 28. P. 105–110. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2352154618301943> (дата обращения: 04.03.2026). DOI: 10.1016/j.cobeha.2019.01.011.

Конфликт интересов: Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

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

Финансирование: Авторы заявляют об отсутствии внешнего финансирования.

Financing: The research was performed without external funding.