
НАУЧНОЕ ОБОЗРЕНИЕ • БИОЛОГИЧЕСКИЕ НАУКИ

SCIENTIFIC REVIEW • BIOLOGICAL SCIENCES

№ 4 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 30.09.2026
Дата выхода номера 30.10.2026
Формат 60×90 1/8*

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

**Signed in print 30.09.2026
Release date 30.10.2026
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 2026/4*

© ООО НИЦ «Академия Естествознания»

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

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



М. М. Филиппов (M. M. Philipppov)

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. Кику П. Ф. (Владивосток), д.б.н., доцент Князева О. А. (Уфа), д.м.н. Косарева П. В. (Пермь), д.б.н. Ларионов М. В. (Балашов), д.б.н. Лебедева С. Н. (Улан-Удэ), д.б.н., д.м.н. Медведев И. Н. (Москва), д.б.н. Мосягин В. В. (Курск), д.б.н. Околенова А. А. (Волгоград), д.с.-х.н., проф. Партоев Курбонали (Душамбе), д.б.н. Петраш В. В. (Санкт-Петербург), д.т.н. Похиленко В. Д. (Оболensk), д.м.н., проф. Пучиньян Д. М. (Саратов), д.б.н. Романова Е. Б. (Нижний Новгород), д.м.н. 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

- ОЦЕНКА ЭКОМЕЛИОРАТИВНЫХ ИЗМЕНЕНИЙ В ЗОНЕ
ВЛИЯНИЯ ЦЕНТРАЛЬНО-ФЕРГАНСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА
НА ОСНОВЕ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ (2010–2025)
Исаков В. Ю., Акбаров С. Б. 5
- МОДЕЛЬ ФАНГА СИЛИКОНОВЫХ ОБОЛОЧЕК ГРУДНЫХ
ИМПЛАНТОВ ПРИ ИХ ДОЛГОВРЕМЕННОМ ИСПОЛЬЗОВАНИИ
*Муслов С. А., Сухочев П. Ю., Плаксин С. А., Шадрин В. В.,
Платунова В. А., Тарханова Е. Г.* 16
- ЧАСТОТА И СПЕКТР МИКРОДЕЛЕЦИЙ ЛОКУСА AZF Y-ХРОМОСОМЫ
У МУЖЧИН С БЕСПЛОДИЕМ: РЕЗУЛЬТАТЫ ОДНОЦЕНТРОВОГО
КЛИНИЧЕСКОГО ИССЛЕДОВАНИЯ В УЗБЕКИСТАНЕ
Сабитова З. А., Иргашев Д. С., Якубов И., Ганижонов П. Х. 23
- ЭФФЕКТИВНОСТЬ ТЕХНОЛОГИИ ОБРАТНОГО ОСМОСА
В БОРЬБЕ С ЗАСОЛЕНИЕМ ОРОШАЕМЫХ ПОЧВ
Турдалиев Ж. М., Рузметов М. И., Санакулов С. Ф., Туклибаев С. А., Тожибоев Д. Ю. 29
- БИОЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ И ПРАКТИЧЕСКОЕ
ЗНАЧЕНИЕ ДОМАШНЕГО СВЕРЧКА *ACHETA DOMESTICUS*
(LINNAEUS, 1758) (ORTHOPTERA, GRYLLOIDAE)
Уралова Д. А., Рахимов М. Ш. 37
- МАКРО- И МИКРОМОРФОЛОГИЧЕСКОЕ СТРОЕНИЕ
МАКРОМИЦЕТА *LENTINUS TIGRINUS* (BULL.) FR.
Шерманова М. Н., Шеркулова Ж. П., Узаков З. З. 43
- ВЛИЯНИЕ ПРЕДВАРИТЕЛЬНОГО ВВЕДЕНИЯ БЕНЗОНАЛА
НА СОСТОЯНИЕ УГЛЕВОДНОГО ОБМЕНА У КРЫС ПРИ РАЗВИТИИ
ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО САХАРНОГО ДИАБЕТА
Юлдашев Н. М., Нишантаев М. К., Абдурашидов А. Б. 50
- ИЗУЧЕНИЕ ОНКОГЕННЫХ ТИПОВ ВИРУСА ПАПИЛЛОМЫ ЧЕЛОВЕКА,
АССОЦИИРОВАННЫХ С РАКОМ ШЕЙКИ МАТКИ И ЕЕ ЦИТОПАТОЛОГИЕЙ,
В ПОПУЛЯЦИИ ЖЕНЩИН САМАРКАНДСКОЙ ОБЛАСТИ
Ярмухамедова Г. Х., Кан С. В., Душанова Г. А. 59

Сельскохозяйственные науки

СТАТЬЯ

- ВЛИЯНИЕ ВЫХЛОПНЫХ ГАЗОВ АВТОТРАНСПОРТА
НА СОДЕРЖАНИЕ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ В ПОЧВЕ
Холикулов Ш. Т., Нематов Х. М. 68

CONTENTS

Biological sciences

ARTICLES

ASSESSMENT OF ECOMELIORATIVE CHANGES IN THE IMPACT ZONE OF THE CENTRAL FERGANA RESERVOIR BASED ON REMOTE SENSING (2010–2025) <i>Isakov V. Yu., Akbarov S. B.</i>	5
FANG'S MODEL OF SILICONE BREAST IMPLANT SHELLS IN THEIR LONG-TERM USE <i>Muslov S. A., Sukhochev P. Yu., Plaksin S. A., Shadrin V. V., Platonova V. A., Tarkhanova E. G.</i>	16
FREQUENCY AND SPECTRUM OF Y CHROMOSOME AZF LOCUS MICRODELETIONS IN INFERTILE MEN: RESULTS OF A SINGLE-CENTER CLINICAL STUDY IN UZBEKISTAN <i>Sabitova Z. A., Irgashev D. S., Yakubov I., Ganizhonov P. Kh.</i>	23
EFFICIENCY OF REVERSE OSMOSIS TECHNOLOGY IN COMBATING SALINIZATION OF IRRIGATED SOILS <i>Turdaliev Zh. M., Ruzmetov M. I., Sanakulov S. F., Tuklibaev S. A., Tozhiboev D. Yu.</i>	29
BIOECOLOGICAL FEATURES AND PRACTICAL SIGNIFICANCE OF THE HOUSE CRICKET <i>ACHETA DOMESTICUS</i> (LINNAEUS, 1758) (ORTHOPTERA, GRILLIDAE) <i>Uralova D. A., Rakhimov M. Sh.</i>	37
MACRO- AND MICROMORPHOLOGICAL STRUCTURE OF THE MACROFUNGUS <i>LENTINUS TIGRINUS</i> (BULL.) FR. <i>Shermanova M. N., Sherkulova J. P., Uzakov Z. Z.</i>	43
EFFECT OF PRELIMINARY ADMINISTRATION OF BENZONAL ON THE STATE OF CARBOHYDRATE METABOLISM IN RATS DURING THE DEVELOPMENT OF EXPERIMENTAL DIABETES MELLITUS <i>Yuldashev N. M., Nishantaev M. K., Abdurashidov A. B.</i>	50
STUDY OF ONCOGENIC HUMAN PAPILLOMAVIRUS TYPES ASSOCIATED WITH CERVICAL CANCER AND ITS CYTOPATHOLOGY IN THE FEMALE POPULATION OF THE SAMARKAND REGION <i>Yarmuhamedova G. Kh., Kan S. V., Dushanova G. A.</i>	59

Agricultural sciences

ARTICLE

THE INFLUENCE OF VEHICLE EXHAUST EMISSIONS ON THE HEAVY METAL CONTENT IN SOIL <i>Kholikulov Sh. T., Nematov Kh. M.</i>	68
---	----

СТАТЬИ

УДК 631.4:528.8(575.1)



CC BY 4.0

**ОЦЕНКА ЭКОМЕЛИОРАТИВНЫХ ИЗМЕНЕНИЙ В ЗОНЕ ВЛИЯНИЯ
ЦЕНТРАЛЬНО-ФЕРГАНСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА
НА ОСНОВЕ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ (2010–2025)****Исаков В. Ю. ORCID ID 0009-0009-6095-1768, Акбаров С. Б.***Кокандский государственный университет, Коканд, Республика Узбекистан,
e-mail: valijonisaqov247@gmail.com*

В статье представлены результаты оценки эколого-мелиоративных изменений в зоне влияния водохранилища Центральная Фергана за период с 2010 по 2025 год. Актуальность исследования обусловлена необходимостью системного мониторинга орошаемых агроландшафтов в засушливых субтропических условиях, где крупные гидротехнические сооружения могут провоцировать процессы вторичного засоления и заболачивания. Цель исследования – оценка эколого-мелиоративных изменений в зоне влияния Центрально-Ферганского водохранилища за период с 2010 по 2025 год с использованием методов дистанционного зондирования и геоинформационных технологий. На основе разновременных космических снимков Landsat 5, 8 и 9 (съемка во второй половине мая 2010, 2015, 2020 и 2025 гг. при облачности менее 10%) проведен расчет нормализованного разностного вегетационного индекса и выполнен геоинформационный анализ территории площадью 29 330 га. Анализ показал резкое увеличение площади водной поверхности с 1% (293,3 га) в 2010 году до 15% (4399,5 га) к 2025 году, что связано с вводом водохранилища в эксплуатацию и развитием рыбководческих хозяйств. Наблюдается общая тенденция улучшения растительного покрова: площадь обнаженных и слабо покрытых растительностью участков (со значениями вегетационного индекса 0,015–0,14) сократилась с 68% до 40%, а доля территорий со средним покровом возросла с 12% до 25%. Однако выявлены и негативные экомелиоративные тренды. Сокращение площадей с хорошим растительным покровом к 2025 году до 7% свидетельствует о локальном ухудшении состояния земель. Эти данные подтверждены полевыми наблюдениями, зафиксировавшими формирование камышовых болот и солончаковых почв вблизи водохранилища. Процесс усугубляется климатическими факторами: при среднегодовой температуре 14,8–18,3 °C интенсивное испарение значительно превышает годовое количество осадков (113–190 мм), что стимулирует вторичное засоление. Сделан вывод о том, что интеграция методов дистанционного зондирования и геоинформационных систем является эффективным инструментом оперативного мониторинга. Разработаны практические рекомендации по адаптивному управлению земельно-водными ресурсами, включая проведение инженерно-гидрогеологического обследования выявленных зон потенциального риска с последующим обоснованием дренажных мероприятий.

Ключевые слова: нормализованный разностный вегетационный индекс, дистанционное зондирование, геоинформационные системы, заболачивание, засоление, динамика растительности, орошение, Ферганская долина

**ASSESSMENT OF ECOMELIORATIVE CHANGES
IN THE IMPACT ZONE OF THE CENTRAL FERGANA
RESERVOIR BASED ON REMOTE SENSING (2010–2025)****Isakov V. Yu. ORCID ID 0009-0009-6095-1768, Akbarov S. B.***Kokand State University, Kokand, Uzbekistan, e-mail: valijonisaqov247@gmail.com*

This article presents the results of assessing ecological and meliorative changes in the zone of influence of the Central Fergana Reservoir from 2010 to 2025. The relevance of the study is driven by the need for systematic monitoring of irrigated agricultural landscapes in arid subtropical conditions, where large hydraulic structures can trigger secondary salinization and waterlogging processes. The aim of the study is to assess the ecomeliorative changes in the impact zone of the Central Fergana Reservoir for the period from 2010 to 2025 using remote sensing and geographic information systems. Based on multi-temporal Landsat 5, 8 and 9 imagery acquired in the second half of May 2010, 2015, 2020 and 2025 with cloud cover below 10%, the normalized difference vegetation index was calculated and a geographic information system analysis of a 29,330-hectare area was carried out. The analysis revealed a sharp increase in the water surface area from 1% (293,3 hectares) in 2010 to 15% (4399,5 hectares) by 2025, which is associated with the commissioning of the reservoir and the development of fish farms. A general trend of vegetation cover improvement is observed: the area of bare and sparsely vegetated lands (with vegetation index values ranging from 0.015 to 0.14) decreased from 68% to 40%, while the proportion of territories with medium cover increased from 12% to 25%. However, negative ecological and meliorative trends were also identified. The reduction of areas with good vegetation cover to 7% by 2025 indicates a localized degradation of land conditions. These data are confirmed by field observations, which recorded the formation of reed marshes and solonchak soils near the reservoir. The process is exacerbated by climatic factors: at an average annual temperature of 14.8–18.3 °C, intense evaporation significantly exceeds the annual precipitation (113–190 mm), which stimulates secondary salinization. It is concluded that the integration of remote sensing methods and geographic information systems is an effective tool for real-time monitoring. Practical recommendations for the adaptive management of land and water resources have been developed, including engineering and hydrogeological surveys of identified potential risk zones with the subsequent justification of drainage measures.

Keywords: normalized difference vegetation index, remote sensing, geographic information systems, waterlogging, salinization; irrigation, vegetation dynamics, Fergana Valley

Введение

В засушливых и субтропических регионах крупные ирригационные воздействия могут вызвать экомелиоративные изменения, такие как жизнеспособность растительности, уровень грунтовых вод, вторичное засоление и заболачивание. Центральное-Ферганское водохранилище (ЦФВХ), введенное в эксплуатацию в 2013 году, является одним из важнейших гидротехнических сооружений Ферганской долины. Несмотря на его значение для водоснабжения и сельского хозяйства, требуется системный мониторинг для управления прилегающими агроландшафтами. Дистанционное зондирование, например показатель NDVI, позволяет эффективно и экономично оценивать изменения во времени. В данной статье анализируются изменения, фиксируемые на основе NDVI в 2010–2025 годах, и проводится их сравнение с полевыми наблюдениями.

Цель исследования – оценка эколого-мелиоративных изменений в зоне влияния Центрально-Ферганского водохранилища за период с 2010 по 2025 год с использованием методов дистанционного зондирования и ГИС-технологий.

Совместное использование дистанционного зондирования (ДЗ) и географических информационных систем (ГИС) позволяет вести оперативный и систематический мониторинг изменений на больших территориях при учете эколого-мелиоративного состояния орошаемых агроландшафтов [1; 2]. Когда ДЗ/ГИС сочетаются с полевыми наблюдениями и лабораторными анализами, расширяются возможности количественной оценки таких важных показателей, как степень засоления, влажность почвы и динамика растительного покрова [3; 4].

Индикаторы NDVI (Normalized Difference Vegetation Index – нормализованный разностный вегетационный индекс) являются наиболее распространенным индикатором для оценки пространственных и периодических изменений растительного покрова. Чувствительный к влажности воды NDWI был разработан Гао (1996) и используется в качестве эффективного инструмента для определения водных территорий [5]. В пространственном моделировании и картографировании с возможностями ГИС основное место занимают геостатистические методы: интерполяция, анализ трендов и регрессионные модели [6; 7].

Эффективность технологий ДЗ/ГИС в управлении земельно-водными ресурсами, а также в мониторинге процессов деградации и засоления подтверждена многочисленными исследованиями в Центральной

Азии. В частности, в Казахстане и Таджикистане на основе данных Landsat и Sentinel определены тенденции NDVI и показатели деградации [8]. Параллельно для засушливых территорий региона создаются платформы агромониторинга и прикладных сервисов [9–11].

В Узбекистане также широко применяются подходы ДЗ/ГИС для оперативного наблюдения за площадями водохранилищ, картирования процессов опустынивания, мониторинга почв, склонных к засолению и с высоким риском увлажнения. Этот процесс приобретает все большее значение при принятии экономических и хозяйственных решений [12; 13]. Вместе с тем широко раскрыты системы исследований, направленные на эффективное управление орошением [14], а также возможности ГИС в области структурных изменений использования земельных ресурсов и решения вопросов территориального развития [15; 16].

Исследования, основанные на данных дистанционного зондирования вокруг водохранилища Центральная Фергана, ранее способствовали совершенствованию мониторинга водных объектов [17] и оценке состояния почв [18]. Опираясь на эти фундаментальные труды, новизну настоящего исследования определяем в проведении комплексного анализа многолетней (2010–2025 гг.) динамики распределения классов NDVI на единой геоинформационной платформе.

Важно отметить, что спектральные индексы, такие как NDVI, интерпретируются авторами не как прямой измеритель содержания солей в почве, а как индикатор угнетения (стресса) сельскохозяйственных культур и естественной флоры, требующий обязательной валидации наземными методами.

Район исследования. Исследуемая территория охватывает зону непосредственного воздействия Центрального Ферганского водохранилища (ЦФВХ) и прилегающие сельскохозяйственные угодья. Климат сухой и жаркий, характерный для сухих субтропических условий. Согласно полевым записям, в части, прилегающей к водохранилищу с северо-восточной стороны, развиты болота, заросшие камышом; вдоль северо-западного и западного берегов в полосе побережья 50–100 м развиты заболоченные и сильнозасоленные почвы и солончаки. По мере удаления от источников воды формируются луговые почвы с различной степенью засоленности. Основная часть земель территории исследования орошается водами Большого Андижанского канала (БАК) и ЦФВХ.

Материалы и методы исследования

Для оценки динамики растительного покрова и поверхностных вод использовались безоблачные (облачность менее 10%) мультиспектральные снимки Landsat 5 TM, Landsat 8 OLI/TIRS и Landsat 9 OLI-2. В целях обеспечения высокой точности анализа применялись данные уровня обработки Level-2 (Surface Reflectance), загруженные из архива Геологической службы США (USGS). Параметры использованных сцен приведены в таблице 1.

Атмосферная коррекция снимков была выполнена на стороне провайдера с использованием стандартных алгоритмов LEDAPS (для Landsat 5) и LaSRC (для Landsat 8 и 9). Для исключения влияния облаков и их теней на результаты расчетов применялось маскирование на основе слоя контроля качества (QA_PIXEL).

Все пространственные данные были спроецированы в единую систему координат WGS 1984 UTM Zone 42N, соответствующую региону исследования. Расчет нормализованного разностного вегетационного индекса (NDVI) проводился по стандартной формуле. Дальнейшая классификация значений NDVI для выделения типов подстилающей поверхности (водные объекты, открытые грунты, растительность различной густоты) осуществлялась методом порогового разделения. Значения NDVI варьируются в диапазоне от -1 до +1 в зависимости от состояния густоты растительного покрова (табл. 2). Низкие значения указывают на очень редкую растительность или пустующие земли, а высокие значения – на здоровые и густые растения.

Таблица 1

Параметры использованных космических снимков Landsat

Год	Спутник	Дата съемки	Облачность, %	Scene ID / Product ID
2010	Landsat 5 TM	20.05.2010	<10	LT05_L2SP_153032_20100520_20200825_02_T1
2015	Landsat 8 OLI/TIRS	20.05.2015	<10	LC08_L2SP_153032_20150520_20200909_02_T1
2020	Landsat 8 OLI/TIRS	26.05.2020	<10	LC08_L2SP_152032_20200526_20200820_02_T1
2025	Landsat 9 OLI-2	16.05.2025	<10	LC09_L2SP_152032_20250516_20250517_02_T1

Таблица 2

Показатели легенды карт NDVI

№	Индексы	Цвета	Пояснение
1	-0,171 – 0,015 / 0,185 – 0,015	Темно-синий	Эти очень низкие значения отражают водные объекты (водохранилище и рыбоводные пруды), населенные пункты, пески или участки с очень скудным растительным покровом
2	0,015 – 0,14	Темно-оранжевый / оранжевый	Участки с очень малым количеством растительности или ее полным отсутствием, например голые земли, высохшие растения
3	0,14 – 0,18	Коричнево-оранжевый / Brownish Orange	Имеется некоторый растительный покров, но это очень редкая или находящаяся в состоянии стресса растительность
4	0,18 – 0,27	Желто-зеленый / Yellow-Green	Средний растительный покров, открытые пастбища, начальные стадии развития сельскохозяйственных угодий
5	0,27 – 0,36	Светло-зеленый / Light Green	Хороший растительный покров, здоровые пастбища, посевы средней густоты
6	0,36 – 0,74	Темно-зеленый / Dark Green	Очень густой и здоровый растительный покров, например густые леса, зрелые посевы

Источник: составлено авторами.

Для достоверной дифференциации влияния Центрально-Ферганского водохранилища от общеклиматических факторов (глобального потепления и региональной засушливости) в исследование был интегрирован контрольный (фоновый) участок. В качестве такого участка была выбрана типичная земледельческая территория площадью более 500 га, расположенная на расстоянии 30–35 км к западу от водохранилища (в пределах Бувайдинского района). Данный участок находится за пределами зоны гидрологического и фильтрационного влияния ЦФВХ, однако характеризуется аналогичными биоклиматическими параметрами и исходными луговыми почвами, которые также орошаются водами Большого Андижанского канала (БАК). Сопоставление проводилось на основе многолетних данных мониторинга глубины залегания грунтовых вод и динамики растительного покрова, что позволило изолировать фактор влияния именно гидротехнического сооружения.

Полевые исследования и методы валидации. Для верификации результатов дистанционного зондирования были проведены наземные обследования в зоне влияния Центрально-Ферганского водохранилища в период с 15 апреля по 25 мая 2024 года. В ходе экспедиции были заложены 27 почвенных разрезов (глубиной до уровня грунтовых вод), охватывающих различные классы растительного покрова по классификации NDVI. Координаты точек фиксировались с помощью портативного GPS-приемника (например, заболоченный участок на северо-востоке: 40°41'42" с.ш., 71°33'01" в.д.; солончаковая зона на северо-западе: 40°36'22" с.ш., 71°16'13" в.д.). Отбор почвенных образцов прово-

дился из генетических горизонтов. В общей сложности для лабораторного анализа было отобрано более 100 проб. Определение полевой влажности почвы проводилось термовесовым методом (высушивание образцов при температуре 105 °С до постоянной массы). Оценка степени засоления и кислотности почв выполнялась в лабораторных условиях. Водородный показатель (рН) определялся потенциометрическим методом с использованием стеклянного электрода. Электропроводность (ЕС) измерялась в водной вытяжке при соотношении почвы и воды 1:5 с последующим пересчетом в электропроводность насыщенной вытяжки (ЕС_с) для оценки стрессового воздействия солей на растения. В качестве фундаментальной гидрогеологической базы для верификации локальных изменений использовался комплексный массив данных двадцатилетнего мониторинга глубины залегания и минерализации грунтовых вод в Ферганской области. Текущие точечные замеры уровня грунтовых вод (УГВ) в зоне водохранилища проводились с использованием существующих наблюдательных скважин (пьезометров) и гидрогеологических рулеток, что позволило сопоставить зоны с низким NDVI с участками критического подъема грунтовых вод.

Результаты исследования и их обсуждение

Карты NDVI (рис. 1–4) четко отразили пространственно-динамические тенденции изменений в использовании земельных ресурсов, растительном покрове и водных поверхностях за период с 2010 по 2025 г. Количественные показатели изменений приведены в таблице 3.

Таблица 3

Изменение площадей по классам NDVI в 2010, 2015, 2020 и 2025 годах

№	Показатели цветов	2010		2015		2020		2025	
		(%)	(га)	(%)	(га)	(%)	(га)	(%)	(га)
1	-0,171 – 0,015 (2010) / -0,185 – 0,015 (2025) темно-синий	1	293,3	12	3519,6	15	4399,5	15	4399,5
2	0,015 – 0,14 (оранжевый)	68	19944,4	53	15544,9	40	11732,0	40	11732,0
3	0,14 – 0,18 (коричнево-оранжевый)	8	2346,4	10	2933,0	8	2346,4	10	2933,0
4	0,18 – 0,27 (желто-зеленый)	12	3519,6	15	4399,5	25	7332,5	25	7332,5
5	0,27 – 0,36 (светло-зеленый)	8	2346,4	8	2346,4	10	2933,0	7	2053,1
6	0,36 – 0,74 (темно-зеленый)	3	879,9	2	586,6	2	586,6	3	879,9
	Всего	100	29330	100	29330	100	29330	100	29330

Источник: составлено авторами.

Расширение поверхностных вод

Водные объекты, являющиеся результатом деятельности человека в районе исследования (водохранилище, озера и пруды, оросительные каналы), на космических снимках (картах) обозначены темно-синим (сине-голубым) цветом (табл. 2). Они составили одно из самых динамичных изменений в исследуемом районе. Площадь водных поверхностей синего цвета быстро увеличилась после ввода водохранилища в эксплуатацию: с 293,3 га (1%) в 2010 году (рис. 1) до 3519,6 га (12%) в 2015 году (рис. 2), а в 2020–2025 годах стабилизировалась на уровне около 4399,5 га (15%) (табл. 3). К 2025 году наблюдалось увеличение количества мелких озер прямоугольной формы (рыбоводческих прудов), и они способствовали расширению водного класса (рис. 4). Это свидетельствует о формировании нового направления хозяйственной деятельности в регионе.

Динамика растительного покрова

Анализ карт NDVI (рис. 1–4) показал, что растительный покров претерпел значительные качественные и количественные изменения (табл. 3).

- Очень редкая растительность или обнаженные поверхности (NDVI 0,015–0,14): если в 2010 году они составляли 19 944,4 гектара (68%), то к 2025 году их площадь сократилась до 11 732 гектаров (40%). Это сокращение свидетельствует об улучшении общего растительного покрова и интенсификации использования сельскохозяйственных земель.

фикации использования сельскохозяйственных земель.

- Средний покров (NDVI 0,18–0,27): расширился с 3519,6 гектаров (12%) в 2010 году до 7332,5 гектаров (25%) в 2025 году. Увеличение площади этого класса свидетельствует об устойчивом развитии посевных площадей и пастбищ.

- Хороший покров (NDVI 0,27–0,36): несмотря на то, что в 2020 году площадь возросла до 2933 гектаров (10%), в 2025 году она снизилась до 2053,1 гектара (7%). Это может указывать на процессы деградации или усиление засоления и заболачивания в некоторых районах.

- Густой и здоровый покров (NDVI 0,36–0,74): составив 879,9 гектара (3%) в 2010 году, он сократился в 2015–2020 годах и в 2025 году снова вернулся к уровню 879,9 га (3%). Эти временные изменения объясняются территориальными (локальными) факторами – гидрологическим режимом, засолением, заболачиванием и хозяйственными нагрузками.

Территориальные различия

В ходе анализа было выявлено, что наряду с расширением посевных площадей существуют локальные зоны, затопленные водой и склонные к засолению. В частности, в северо-восточной и северо-западной частях водохранилища сформировались камышовые заросли и заболоченные участки (рис. 4). Это указывает на экомелиоративные риски, непосредственно связанные с управлением водными ресурсами.

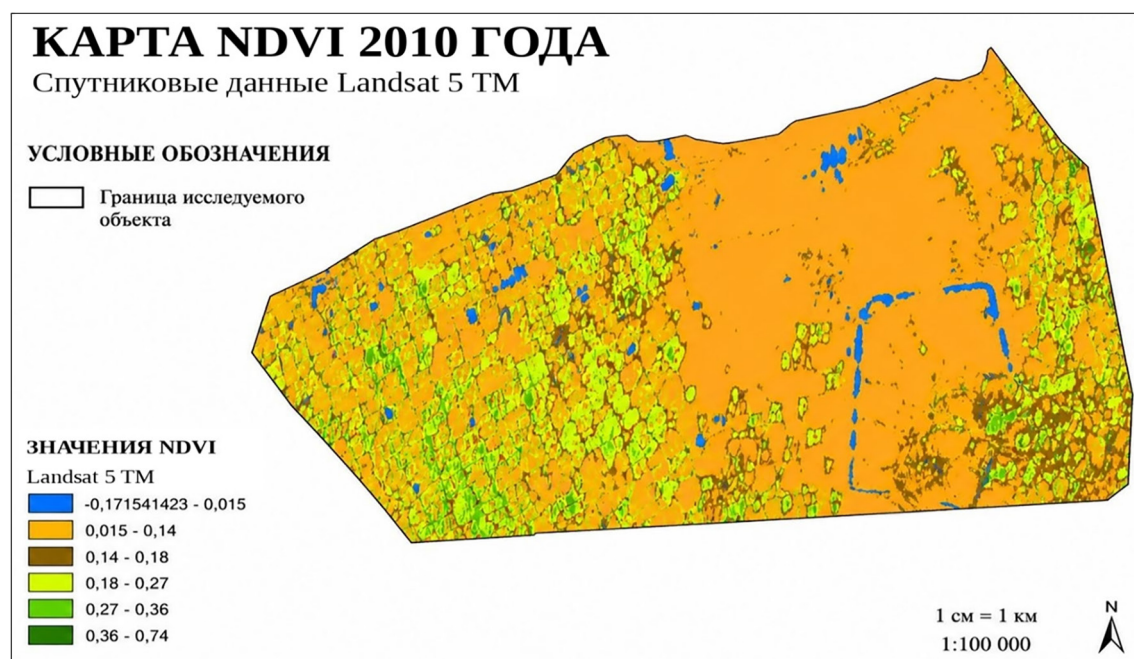


Рис. 1. Состояние территории исследования в 2010 году (спутниковые данные Landsat 5 TM)
Источник: составлено авторами

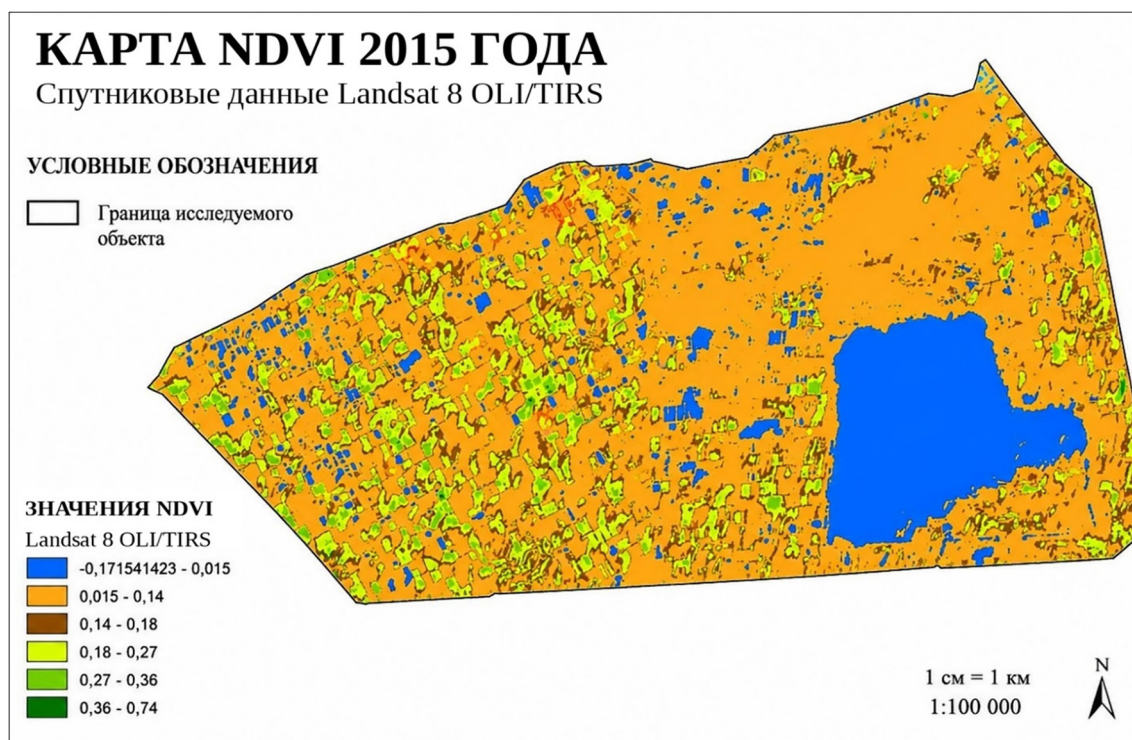


Рис. 2. Состояние территории исследования в 2015 году
(спутниковые данные Landsat 8 OLI/TIRS)
Источник: составлено авторами

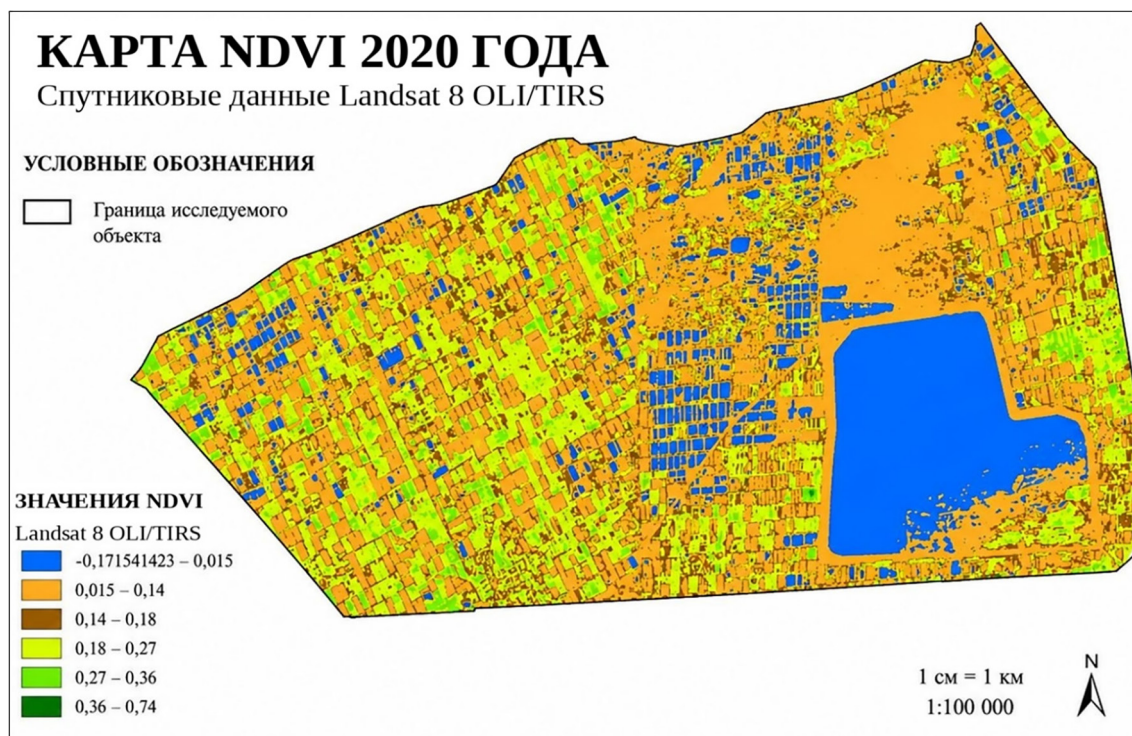


Рис. 3. Состояние территории исследования в 2020 году
(спутниковые данные Landsat 8 OLI/TIRS)
Источник: составлено авторами

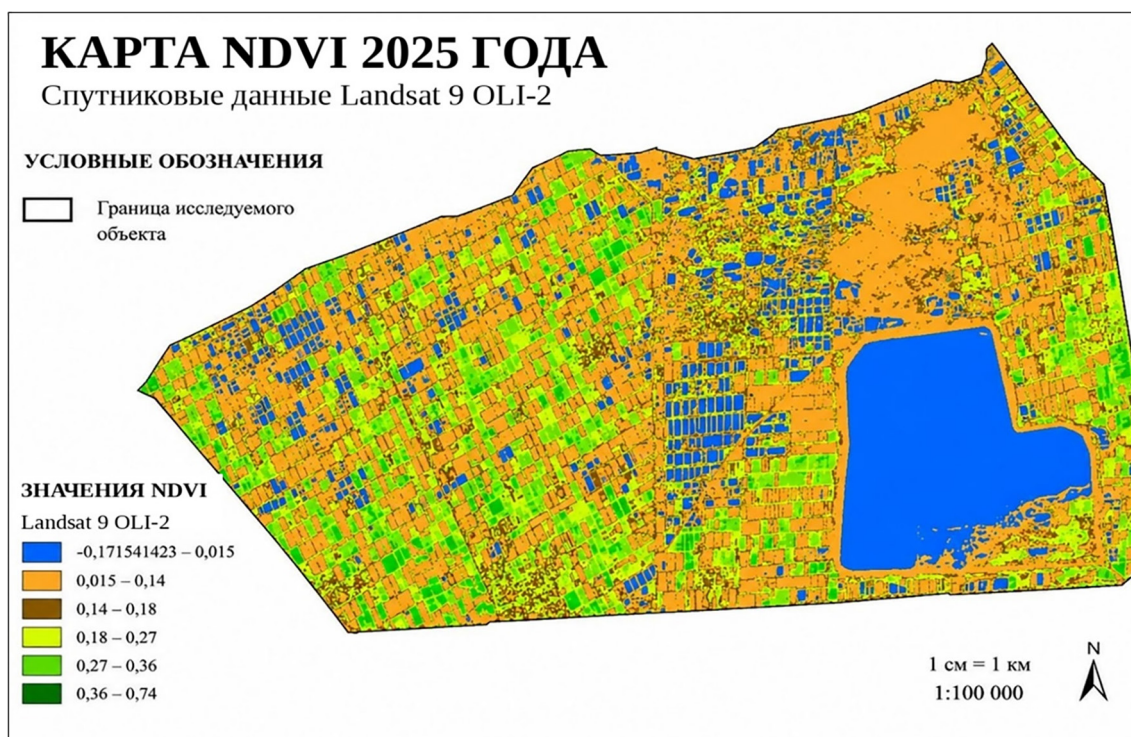


Рис. 4. Состояние территории исследования в 2025 году (спутниковые данные Landsat 9 OLI-2)
Источник: составлено авторами

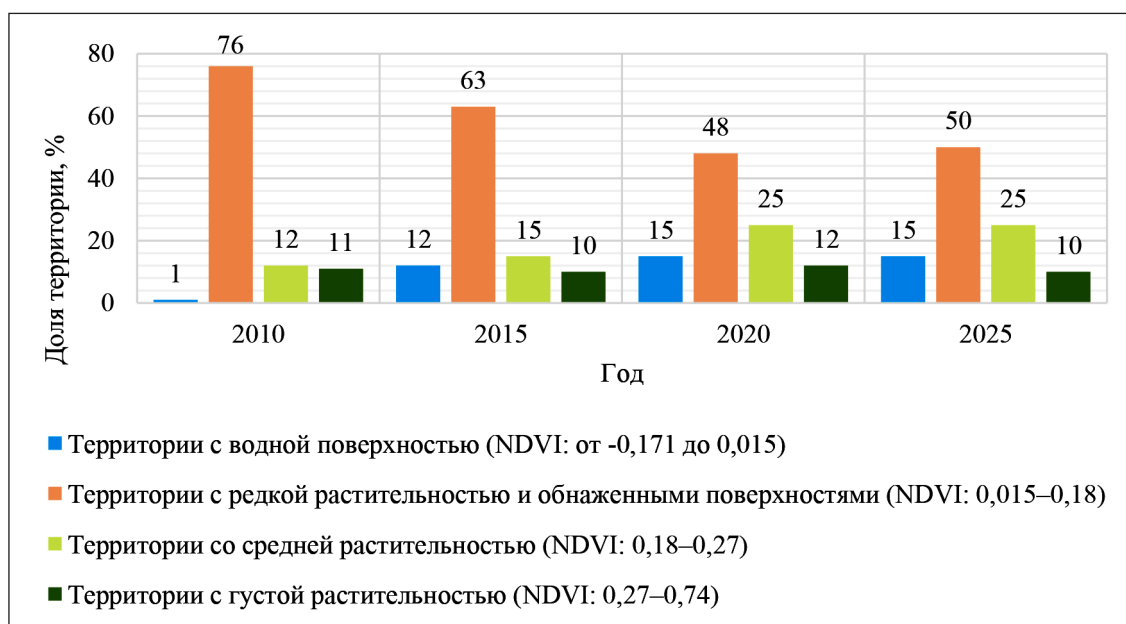


Рис. 5. Сравнительная динамика NDVI в зоне воздействия ЦФВХ (2010-2025 годы)
Источник: составлено авторами

Процессы заболачивания и засоления усилились на землях вокруг водохранилища. Как показано на обобщенной динамике на рисунке 5, с 2010 по 2025 год доля плотного растительного покрова (NDVI

0,27–0,74) сократилась с 11% до 10%, в то время как зоны со средней растительностью (NDVI 0,18–0,27) значительно расширились. Значительное сокращение диапазона 0,015–0,18 (темно-оранжевый класс)

свидетельствует об общем улучшении растительного покрова, однако снижение диапазона 0,27–0,36 (светло-зеленый класс) с 2020 по 2025 год и возвращение диапазона 0,36–0,74 (темно-зеленый класс) к уровню 2010 года могут указывать на влияние локальных факторов, включая воздействие заболачивания и засоления на состояние растений.

Данные полевых исследований также подтверждают вышеотмеченные тенденции. В северо-восточной части водохранилища выявлены болота, заросшие камышом и рогозом, а с северо-западной и западной сторон в полосе шириной 50–100 м – заболоченные и засоленные до степени солончаков почвы. В районах, близких к Большому Андижанскому каналу (БАК), сформировались лугово-болотные почвы. По мере удаления от источников воды уровень грунтовых вод опускается на глубину 2 метра и более. В этих частях района исследования распространены луговые почвы различной степени засоления. В годы проведения исследований среднегодовая температура воздуха колебалась в пределах 14,8–18,3 °С. Максимальная температура была зафиксирована в июле и достигала 36,8 °С. Годовое количество осадков в этот период составило 113–190 мм. Испаряемость в несколько раз превышает количество выпадающих осадков. Столь незначительное количество осадков не оказывает существенного влияния на изменение уровня грунтовых вод. Однако интенсивное испарение, обусловленное высокими температурами, способствует усилению процессов засоления.

Сравнительный анализ зоны влияния водохранилища с контрольным участком позволил выявить четкие отличия. На фоновой территории (вне влияния ЦФВХ) показатели NDVI и уровень грунтовых вод подвержены преимущественно сезонным колебаниям и остаются относительно стабильными в многолетнем разрезе. В противовес этому в буферной зоне водохранилища зафиксирован резкий и устойчивый подъем уровня грунтовых вод (до 1–1,5 метров от поверхности). Хотя в масштабах всей исследуемой территории площадь классов с низким NDVI (0,015–0,18) в целом сократилась с 76% до 50%, детальный геоинформационный анализ узкой прибрежной полосы (в радиусе до 500 м от водоема) выявил обратную, локальную тенденцию. Именно в этой зоне зафиксировано очаговое расширение площадей темно-оранжевого и коричнево-оранжевого классов NDVI (индикаторы деградации и стресса растительности). Это однозначно доказывает, что катализа-

тором процессов локального заболачивания и вторичного засоления выступает именно фильтрация вод из гидротехнического сооружения, а не только региональные климатические тренды.

Наблюдаемые процессы характерны не только для Центрально-Ферганского водохранилища, но и для других водохранилищ Узбекистана. Под воздействием Каттакурганского водохранилища автоморфные почвы эволюционировали в полуавтоморфные, полугидроморфные и гидроморфные [18]. В зоне влияния Джизакского водохранилища гидроморфированные и засоленные почвы также занимают значительную долю [19]. В районе Чарвакского водохранилища выявлены сокращение площадей плотной растительности, расширение зон с ослабленным растительным покровом и увеличение участков без растительности [20; 21]. Сопоставление перечисленных работ с настоящим исследованием по объекту, периоду, исходным данным, методам, диагностическим показателям и пространственному охвату приведено в таблице 4.

Как следует из таблицы 4, работа [18] основана на однократном полевом почвенно-морфологическом обследовании, работа [19] – на полевом ландшафтном картографировании, тогда как работы [20; 21] выполнены дистанционными методами, но ограничены анализом растительного покрова горной территории без наземной верификации. Отличительной особенностью настоящего исследования является сочетание разновременного спутникового ряда за 2010–2025 гг. с наземной почвенно-гидрогеологической валидацией и с контрольным (фоновым) участком в пределах единой геоинформационной платформы. Такое сочетание позволило не только зафиксировать факт подтопления, но и пространственно локализовать очаги риска вторичного засоления в прибрежной полосе шириной до 500 м, а также отделить влияние гидротехнического сооружения от общерегиональных климатических трендов. Различие в ширине зоны влияния – до 3–3,5 км у Каттакурганского водохранилища [18] и до 500 м в настоящем исследовании – обусловлено прежде всего разной продолжительностью эксплуатации: Каттакурганское водохранилище, первое в Узбекистане, полностью введено в эксплуатацию в 1952 г., тогда как ЦФВХ – в 2013 г. За более чем 70 лет фильтрационные потери сформировали устойчивый подпор грунтовых вод на значительном удалении от берега, тогда как за 12 лет эксплуатации ЦФВХ этот процесс проявился преимущественно в прибрежной полосе.

Таблица 4

Сопоставление настоящего исследования
с работами по другим водохранилищам Узбекистана

Параметр	Жаббаров и др. [18]	Каримов [19]	Фазилова и др. [20, 21]	Настоящее исследование
Объект	Каттакурганское вдхр.	Джизакское вдхр.	Чарвакское вдхр. [20]; Чарвакская туристско-рекреационная зона [21]	Центрально-Ферганское вдхр.
Природная зона	сероземный пояс: орошаемая равнина на севере (482–490 м), богарные возвышенности на востоке, юге и западе (514–588 м)	подгорная равнина между северными предгорьями Молгузара и Мирзачульской равниной	горная (Западный Тянь-Шань)	равнинная, сухие субтропики
Период исследования	2025 г., однократное полевое обследование	2017–2019 гг.	1990–2020 гг. [21]; 2020–2024 гг. [20]	2010–2025 гг., четыре временных среза
Исходные данные	6 опорных почвенных разрезов на удалении 0,4–5 км по шести направлениям; почвенные образцы на северной стороне	полевые наблюдения; статистические данные управлений водного и сельского хозяйства; картографические и аэрокосмические материалы	Landsat 8 OLI, март и июль [20]; Landsat 1990 и 2020 гг. [21]; архив USGS EarthExplorer	Landsat 5 TM, 8 OLI/TIRS, 9 OLI-2 (Level-2 SR); 27 почвенных разрезов, более 100 проб; пьезометрические замеры; 20-летний ряд наблюдений за УГВ
Методы	полевые почвенно-морфологические (ISO 10381-2:2002, ISO 25177:2020, шкала Munsell)	комплексно-географический, полевой, сравнительно-географический, картографический, аэрокосмический, ландшафтно-индикационный, ГИС	расчет NDVI (ArcGIS), выделение классов плотности растительности; без наземной верификации	NDVI с пороговой классификацией, ГИС-анализ (WGS 84 / UTM 42N), контрольный (фоновый) участок, наземная валидация
Диагностические показатели	морфологические признаки гидроморфизма (отложение, болотные горизонты, ржавые пятна, солевые выделения), глубина грунтовых вод	11 фаций (площадь, %), степень измененности ландшафтов (4 градации)	доли (%) плотной, ослабленной растительности и участков без растительности	шесть классов NDVI (га, %), площадь водной поверхности, УГВ, ЕСе, рН, полевая влажность почвы
Пространственный охват	зона влияния до 3–3,5 км (северо-запад), 2 км (северо-восток), 1,7 км (север); площадь в га не указана	полоса до 500 м от уреза воды; карта М 1:50 000	окрестности вдхр. (волная поверхность более 37 км²) [20]; вся ЧТРЗ [21]; карты М 1:100 000	29 330 га; прибрежный буфер до 500 м; фоновый участок более 500 га

Источник: составлено авторами.

Вместе с тем ширина зоны влияния зависит также от рельефа и эффективности коллекторно-дренажной сети [18], поэтому при сохранении текущего режима эксплуатации ЦФВХ следует ожидать постепенного расширения зоны подтопления, что обосновывает необходимость продолжения мониторинга.

Из наблюдений видно, что наряду с улучшением водоснабжения возникают и экомелиоративные риски. Быстрое расширение открытых водных поверхностей и рыбоводственных прудов отражает экономико-инфраструктурные изменения. В то же время сокращение светло-зеленого класса в 2025 году и кластеризация темно-синих пятен вблизи дамб (рис. 4) указывают на риск локального заболачивания и вторичного засоления.

Полевые наблюдения (камышовые заросли, солончаковые зоны, повышение уровня грунтовых вод) подтвердили эти интерпретации. Для дальнейшего углубления исследований необходимо обратить внимание на следующее:

- картирование показателей засоления почв (ЕС_с),
- регулярный мониторинг уровня грунтовых вод,
- оценка состояния посевов на основе дополнительных вегетационных индексов (например, EVI, NDMI),
- отдельный анализ изменчивости климата и факторов управления.

Заключение

Результаты карт NDVI. Многовременные анализы NDVI четко зафиксировали гидрологические изменения и изменения растительного покрова, произошедшие после ввода водохранилища в эксплуатацию. Ввод в эксплуатацию водохранилища Центральная Фергана в 2013 году привел к резким изменениям в гидрологическом ландшафте территории, что ярко проявилось в резком расширении водных поверхностей (темно-синий класс, табл. 2) начиная с 2015 года. Наряду с увеличением водных площадей развивались рыбоводческие хозяйства, и это стало важным направлением экономической деятельности региона.

Улучшение растительного покрова. На большей части исследуемой территории сократились голые или слабо покрытые растительностью участки (оранжевый класс), тогда как средний (желто-зеленый) и здоровый растительный покров (светло-зеленый и темно-зеленый классы) расширились или стабилизировались. Эта ситуация связана с расширением сельскохозяйственных угодий, интенсификацией использова-

ния посевных площадей, а также мерами, направленными на улучшение окружающей среды.

Вероятные экологические проблемы. Снижение показателей густоты растительного покрова (снижение классов NDVI) не доказывает засоление напрямую, однако эта динамика косвенно указывает на сильный экологический стресс растительности. Как показывают полученные авторами почвенные и гидрогеологические данные, в данных локальных зонах этот стресс обусловлен процессами вторичного засоления и заболачивания.

Стабилизировавшиеся водные площади. После 2015 года открытые водные площади стабилизировались на уровне около 15% (табл. 3). В этот период территории с очень редкой растительностью сократились, а площади со средним покровом расширились. Это свидетельствует об улучшении общего растительного покрова.

Практические рекомендации:

- проведение инженерно-гидрогеологического обследования выявленных зон потенциального риска с последующим обоснованием дренажных мероприятий;
- точное планирование режима орошения и расширение мер по управлению засолением;
- регулярное сочетание спутниковых наблюдений с полевыми проверками;
- налаживание управления земельно-водными ресурсами в засушливых орошаемых ландшафтах на основе принципов адаптивного (гибкого) управления.

Список литературы

1. Cui X., Han W., Zhang H., et al. Estimating and mapping the dynamics of soil salinity under different crop types using Sentinel-2 satellite imagery // *Geoderma*. 2023. Vol. 440. P. 116738. DOI: 10.1016/j.geoderma.2023.116738.
2. Metternicht G. I., Zinck J. A. Remote sensing of soil salinity: Potentials and constraints // *Remote Sensing of Environment*. 2003. Vol. 85. № 1. P. 1–20. DOI: 10.1016/S0034-4257(02)00188-8.
3. Ojo O. I., Ilunga M. F. Use of geoinformatics techniques for the assessment and mapping of soil salinity: concepts and applications // *Advances in Remote Sensing for Natural Resource Monitoring*. London: IntechOpen. 2021. P. 1–21. DOI: 10.5772/intechopen.92443.
4. Allbed A., Kumar L. Soil Salinity Mapping and Monitoring in Arid and Semi-Arid Regions Using Remote Sensing Technology: A Review // *Advances in Remote Sensing*. 2013. Vol. 2. P. 373–385. DOI: 10.4236/ars.2013.24040.
5. Gao B. C. NDWI-A normalized difference water index for remote sensing of vegetation liquid water from space // *Remote Sensing of Environment*. 1996. Vol. 58. № 3. P. 257–266. DOI: 10.1016/S0034-4257(96)00067-3.
6. Burrough P. A., McDonnell R. A. Principles of geographical information systems. Oxford: Oxford University Press, 1998. 333 p. URL: <https://global.oup.com/academic/product/principles-of-geographical-information-systems-9780198742845> (дата обращения: 06.08.2026).

7. Hengl T. A Practical Guide to Geostatistical Mapping of Environmental Variables. European Communities, 2007. 143 p. URL: https://esdac.jrc.ec.europa.eu/public_path/shared_folder/doc_pub/EUR22904en.pdf (дата обращения: 06.08.2026).
8. Rafikov T. K., Erbolqyzy M., Zhildikbaeva A. N. Application of remote sensing data and NDVI analysis in East Kazakhstan region // *Izdënister, nõtizheler – Research Results*. 2024. Vol. 1. № 101. P. 183–191. URL: <https://agris.fao.org/search/en/providers/125532/records/6878eb317aa0d8a969055623> (дата обращения: 16.08.2026).
9. Savin I. Y., Terekhov A. G., Amirgaliev E. N., et al. Satellite Monitoring of Salinization of Irrigated Soils in Southern Kazakhstan // *Eurasian Soil Science*. 2023. Vol. 56(10). P. 1498–1506. DOI: 10.1134/S106422932360135X.
10. Dubovyk O., Menz G., Conrad Ch., Lamers J. P. A. Spatial targeting of land rehabilitation: a relational analysis of crop-land productivity decline in arid Uzbekistan // *Erdkunde*. 2013. Vol. 67(2). P. 167–181. DOI: 10.3112/erdkunde.2013.02.05.
11. Nikonorova I. V., Gumenyuk A. E., Pivovarov I. A. Assessment of soil fertility in agricultural lands using GIS technologies // *Advances in Current Natural Sciences*. 2021. № 12. P. 173–178. DOI: 10.17513/use.37755. URL: <https://natural-sciences.ru/ru/article/view?id=37755> (дата обращения: 12.08.2026).
12. Suyunov A., Suyunov Sh., Khushmurodov F., Suyunov S., Omonov I., Eshboev B. Ecological consequences of the desertification process in the agrolandscapes of the Kashkadarya oasis // *BIO Web of Conferences*. 2025. Vol. 160. P. 02006. DOI: 10.1051/bioconf/202516002006.
13. Kholdorov Sh., Lakshmi G., Jabbarov Z., et al. Analysis of Irrigated Salt-Affected Soils in the Central Fergana Valley, Uzbekistan, Using Landsat 8 and Sentinel-2 Satellite Images, Laboratory Studies, and Spectral Index-Based Approaches // *Eurasian Soil Science*. 2023. Vol. 56. № 8. P. 1178–1189. DOI: 10.1134/S1064229323600185.
14. Sokolov V. I., Tuchin A. I. Information system for irrigation management to combat anthropogenic desertification (case of Fergana Valley). URL: <https://www.cawater-info.net/bk/improvement-irrigated-agriculture/files/sokolov-tuchin.pdf> (дата обращения: 06.08.2026).
15. Gerts Zh. V., Aslanov I. M. GIS monitoring of land use change in Fergana Valley // *Universum: Technical Sciences*. 2022. № 9(102). URL: <https://7universum.com/ru/tech/archive/item/14264> (дата обращения: 06.08.2026).
16. Давронов О.Ў. Масофадан зондлаш оркали яйлов ерлари мониторингини юритиш: монография. Тошкент: “Lesson Press” МЧЖ, 2022. 132 б. URL: https://uzdavyerloyiha.uz/media/publicationdocuments/Monografiya_2022_-_O.O.Davronov.pdf (дата обращения: 06.08.2026).
17. Романюк Ю. А., Ганиев И. И. Мониторинг Центрально-Ферганского водохранилища с использованием дистанционного зондирования // *Наука и инновации*. 2024. С. 136–145. DOI: 10.5281/zenodo.15430222.
18. Жаббаров З. А., Абдрахманов Т., Джалилова Г. Т., Махаммадиев С. К., Абдуллаев Ш. З., Имомов О. Н., Закирова С. К. Влияние Каттакурганского водохранилища на почвенный покров и процесс гидроморфизма // *Журнал Белорусского государственного университета. Экология*. 2025. № 3. С. 4–20. DOI: 10.46646/2521-683X/2025-3-4-20.
19. Каримов И. Э. Оценка ландшафтно-экологического состояния геосистем сферы влияния Джизакского водохранилища: автореф. дис. ... PhD. Ташкент: НУУЗб, 2021. 45 с. URL: <https://api.ziyouet.uz/uploads/books/251467/5ff3fa8738723.pdf> (дата обращения: 06.08.2026).
20. Фазилова Д. Ш., Дусмухамедова И. Д., Мухторов Н. М. Динамика растительного покрова в окрестностях Чарвакского водохранилища в условиях современных климатических изменений // *Вестник молодых ученых*. 2025. № 1(101). С. 50–53.
21. Фазилова Д. Ш., Дусмухамедова И. Д., Сиддиқов С. Ш. Динамика растительного покрова Чарвакской туристско-рекреационной зоны // *Universum: технические науки*. 2025. № 3(132). С. 38–41. DOI: 10.32743/UniTech.2025.132.3.19411.

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.



МОДЕЛЬ ФАНГА СИЛИКОНОВЫХ ОБОЛОЧЕК ГРУДНЫХ ИМПЛАНТОВ ПРИ ИХ ДОЛГОВРЕМЕННОМ ИСПОЛЬЗОВАНИИ

¹Муслов С. А. ORCID ID 0000-0002-9752-6804,

²Сухочев П. Ю. ORCID ID 0000-0002-8004-6011,

³Плаксин С. А. ORCID ID 0000-0001-8108-1655,

⁴Шадрин В. В. ORCID ID 0009-0004-8172-6168,

⁵Платунова В. А. ORCID ID 0009-0006-0187-7818,

⁵Тарханова Е. Г. ORCID ID 0009-0000-3473-4975

¹Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Российский университет медицины» Министерства здравоохранения Российской Федерации, Москва, Российская Федерация, e-mail: muslov@mail.ru;

²Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский государственный университет им. М. В. Ломоносова», Москва, Российская Федерация;

³Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Пермский государственный медицинский университет имени академика Е. А. Вагнера» Министерства здравоохранения Российской Федерации, Пермь, Российская Федерация;

⁴Федеральное государственное бюджетное учреждение науки «Институт механики сплошных сред Уральского отделения Российской академии наук», Пермь, Российская Федерация;

⁵Автономная некоммерческая организация высшего образования «Московский университет "Синергия"», Москва, Российская Федерация

Гиперупругие модели активно применялись для изучения деформационных свойств тканей молочной железы и материалов оболочек грудных протезов. Однако феноменологической модели Фанга в перечне этих моделей нет, несмотря на то что модель Фанга хорошо себя зарекомендовала в литературе при описании механических свойств ряда материалов и биологических тканей. Цель данного сообщения – с помощью формально определенной линейной и гиперупругой модели Фанга исследовать деформационные свойства силиконовых материалов, применяемых для маммопластики при хирургических вмешательствах в эстетической медицине при увеличении груди и реконструктивно-восстановительных операциях, а также определить влияние времени эксплуатации силиконовых грудных протезов на параметры моделей. Рассматривали силиконовый материал Eurosilicone. Расчеты производили в системе компьютерной алгебры Mathcad. Установлено, что гиперупругая модель Фанга весьма удовлетворительно описывает механические свойства силиконовых материалов, используемых для оболочек грудных протезов (с низкой по величине относительной погрешностью и высоким значением коэффициента корреляции экспериментальных и модельных данных). При деформировании модуль Юнга силиконового материала Eurosilicone немонотонно изменяется (сначала уменьшается, затем возрастает), модуль Юнга линейной модели постоянен по величине. Параметр C модели Фанга практически монотонно снижался за все время эксплуатации в организме, а безразмерный параметр β увеличивался. Коэффициент корреляции в процессе уменьшения параметра C модели Фанга и модуля E линейной модели составил величину, соответствующую очень сильной связи между параметрами, в результате параметр C может также применяться в качестве характеристики жесткости материалов и биотканей. Установлено, что «размягчение» параметра C модели Фанга коррелирует с уменьшением постоянной C_{10} модели Муни – Ривлина, которая характеризует уменьшение плотности сшивки силиконов. Авторы считают, что в перспективе полученные зависимости параметров модели Фанга позволяют оценить скорость деградации силиконовых материалов в организме, связанную со структурными изменениями материалов.

Ключевые слова: биомеханика, гиперупругие модели, силикон, грудные импланты

FANG'S MODEL OF SILICONE BREAST IMPLANT SHELLS IN THEIR LONG-TERM USE

¹Muslov S. A. ORCID ID 0000-0002-9752-6804,

²Sukhochev P. Yu. ORCID ID 0000-0002-8004-6011,

³Plaksin S. A. ORCID ID 0000-0001-8108-1655,

⁴Shadrin V. V. ORCID ID 0009-0004-8172-6168,

⁵Platunova V. A. ORCID ID 0009-0006-0187-7818,

⁵Tarkhanova E. G. ORCID ID 0009-0000-3473-4975

¹Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Russian University of Medicine" of the Ministry of Health of the Russian Federation, Moscow, Russian Federation, e-mail: muslov@mail.ru;

²Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education

"Lomonosov Moscow State University", Moscow, Russian Federation;

³Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education

"Perm State Medical University named after Academician E. A. Wagner"

of the Ministry of Health of the Russian Federation, Perm, Russian Federation;

⁴Federal State Budgetary Scientific Institution "Institute of Continuum Mechanics
of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences", Perm, Russian Federation;

⁵Autonomous Non-Profit Organization of Higher Education

"Moscow University 'Synergy'", Moscow, Russian Federation

Hyperelastic models have been extensively used to study the deformation properties of breast tissue and breast implant shell materials. However, the phenomenological Fung model is not included in these models, despite its proven effectiveness in describing the mechanical properties of a number of materials and biological tissues. The purpose of this paper is to use a formally defined linear and hyperelastic Fung model to study the deformation properties of silicone materials used in mammoplasty surgery for breast augmentation and reconstructive surgery in aesthetic medicine, as well as to determine the effect of silicone breast implant wear time on the model parameters. The silicone material "Eurosilicone" was considered. Calculations were performed using the Mathcad computer algebra system. It was found that the hyperelastic Fung model satisfactorily describes the mechanical properties of silicone materials used for breast implant shells (with a low relative error and a high correlation coefficient between experimental and model data). During deformation, the Young's modulus of the Eurosilicone silicone material changes non-monotonically, while the Young's modulus in the linear model is constant. The C parameter of the Fung model decreased almost monotonically over the entire period of use in the body, while the dimensionless parameter β increased. The correlation coefficient for the decrease in the C parameter of the Fung model and the E modulus of the linear model was found to be a value corresponding to a very strong relationship between the parameters. As a result, the C parameter can be used to characterize the rigidity of materials and biological tissues. It was found that the softening of the C parameter of the Fung model correlates with a decrease in the C_{10} constant of the Mooney-Rivlin model and characterizes a decrease in the cross-linking density of silicones. The authors believe that, in the future, the obtained dependences of the Fung model parameters will allow us to estimate the degradation rate of silicone materials in the body.

Keywords: biomechanics, hyperelastic models, silicone, mammoplasty

Введение

Модель Фанга достаточно широко используется в механике больших деформаций, в частности потому, что её устанавливающие уравнения описываются только двумя параметрами C и β , что упрощает анализ [1-3]:

$$W = \frac{C}{2\beta} (e^{\beta(I_1-3)} - 1),$$

$$\sigma(\lambda) = C(\lambda - \frac{1}{\lambda^2})e^{\beta(I_1-3)}, \quad (1)$$

где W – плотность энергии деформируемого тела, σ – механическое напряжение, λ – коэффициент деформации, $I_1 = \lambda^2 + 2/\lambda$ – первый инвариант тензора конечных деформаций Коши-Грина для одноосного растяжения с учетом уравнения несжимаемости

$$\lambda_1^2 \lambda_2^2 \lambda_3^2 = 1$$

и, как следствие, соотношения

$$\lambda_2 = \lambda_3 = \lambda_1^{-1/2} \quad [4].$$

В литературе гиперупругая модель Фанга позиционируется как феноменологический математический подход, который используется для описания нелинейного механического поведения материалов и мягких биологических тканей, проявляющих

гиперупругие свойства (то есть способных к большим обратимым деформациям). В компактной форме модель Фанга может быть записана в виде

$$W = c \cdot (\exp(Q) - 1),$$

где c – положительная константа, связанная с конкретными материалами; Q – полином, который учитывает величину деформации и значения материальных констант. В коммерческих пакетах конечно-элементного анализа (ANSYS, Abaqus и др.) модель Фанга не является «встроенной» по умолчанию, как, например, модели Муни – Ривлина или Огдена. Ограничения модели также связаны с тем, что модель является феноменологической – она не объясняет детально микроскопические механизмы деформации, а лишь параметрически описывает макроскопическое поведение. Линейная модель представлена законом Гука

$$\sigma = E\varepsilon = E(\lambda - 1),$$

где E – модуль Юнга, ε – относительная деформация.

Понимание и количественная оценка механических свойств тканей молочной железы тела человека и оболочек грудных протезов являются предметом интереса исследователей – биомехаников и пластических хирургов в течение последних двух десятилетий.

В США грудные импланты установлены около 3.5 млн женщин [5]. Одновременно всё больше женщин решают удалить их [6]. Частично это обусловлено несовместимостью эластомерных свойств синтетических оболочек маммопротезов и параметров пассивных деформационных свойств мягких тканей молочной железы. И те, и другие сильно нелинейны и мало изучены.

Цель работы – исследовать деформационные свойства силиконовых материалов с помощью формально определенной линейной и гиперупругой модели Фанга. Определить влияние времени эксплуатации силиконовых грудных протезов на параметры деформационных моделей.

Материалы и методы исследования

При расчетах в системе компьютерной алгебры Mathcad 15.0 с помощью функционала *genfit* использовались исходные

данные σ - λ из [7], полученные для одноосного случая при деформации 0-300%. Испытания проводились на испытательном стенде *Zwick/Roell*, деформация измерялась с помощью видеодатчика *VideoExtens* по специальным меткам. При долговременном использовании измерения выполняли через определенные интервалы времени: 0, 6.0, 6.5, 7.0, 8.0, 9.0, 9.5, 10.0, 11.0, 12.0, 13.0, 14.0, 15.0, 15.5, 16.0, 17.0 и 19.0 лет. Испытывали по 5 образцов одной оболочки имплантов марки Eurosilicone (Франция).

Среднее значение упругого модуля E_{cp} рассчитывали по формуле

$$E_{cp} = \frac{1}{\lambda_{\max} - \lambda_{\min}} \int_{\lambda_{\min}}^{\lambda_{\max}} E(\lambda) d\lambda,$$

где $E(\lambda)$ – дифференциальный модуль Юнга, который находили из соотношения

$$E(\lambda) = \frac{d\sigma}{d\lambda} = C e^{\beta(1-\lambda^3)} \left[\left(\frac{2}{\lambda^3} + 1 \right) + \beta \left(2\lambda - \frac{2}{\lambda^2} \right) \left(\lambda - \frac{1}{\lambda^2} \right) \right]. \quad (2)$$

Значение начального модуля E_0 вычисляли средствами Mathcad как $E_0 = \lim_{\lambda \rightarrow 1} E(\lambda)$, минимальное – с помощью функционала *Minimize* (E, λ). При расчетах точности моделирования применяли стандартные показатели описательной статистики (табл. 1).

Результаты исследования и их обсуждение

Подгонка моделей. Кривые «инженерное напряжение – деформация» ($\sigma - \lambda$) через 19 лет эксплуатации в организме женщин показаны на рис. 1.

Видно, что модельные кривые в целом повторяют результаты, полученные опытным путем. Количественно ошибки аппроксимации рассмотренными моделями представлены в таблице 1.

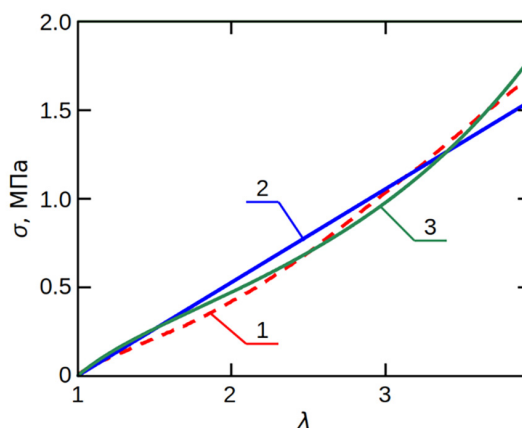


Рис. 1. Кривые «напряжение – деформация» силикона Eurosilicone: экспериментальные данные (1), в линейной модели (2) и модели Фанга (3)

Таблица 1

Статистические показатели гиперупругих моделей (ошибки аппроксимации)

Модель	SD, МПа	Δ, МПа	δ, %	R
Линейная модель	0.077	0.115	6.852	0.994
Модель Фанга	0.046	0.126	7.514	0.996

Примечания. SD – стандартное отклонение (standard deviation), Δ – максимальная абсолютная погрешность, δ – максимальная приведенная погрешность, R – коэффициент корреляции Пирсона.

Из таблицы 1 следует, что ошибки аппроксимации обеих моделей – примерно одного порядка, то есть рассмотренные модели приблизительно одинаково точно описывают механические свойства силиконового материала. При этом коэффициент корреляции модельных и экспериментальных данных модели Фанга немного выше (0.996 и 0.994).

Упругие модули. Представляет интерес поведение упругих модулей моделей (рис. 2). Если модуль упругости линейной модели это постоянная величина 0.53 МПа, не зависящая от деформации ($\partial E/\partial \lambda = 0$) и его графиком служит прямая линия, параллельная оси абсцисс, то упругий модуль в модели Фанга ведет себя немонотонно: сначала убывает ($\partial E/\partial \lambda < 0$) от $E = 0.736$ МПа, в интервале деформаций больше двух – возрастает ($\partial E/\partial \lambda > 0$) до $E = 1.171$ МПа при $\lambda = 3.935 \approx 4$, т. е. при удлинении почти в 4 раза. Минимальное значение модуля Юнга в модели Фанга равно 0.409 МПа, среднее – 0.614 МПа., т. е. незначительно выше, чем упругого модуля в линейной модели. Таким образом, модель Фанга дает несколько завышенное значение жесткости силикона по сравнению с линейной (гуковской). Отметим также, что $E > 0$, что говорит о выполнении критерия Хилла – Друкера механической стабильности [8; 9] для обеих моделей ($(\partial \sigma/\partial \lambda > 0)$).

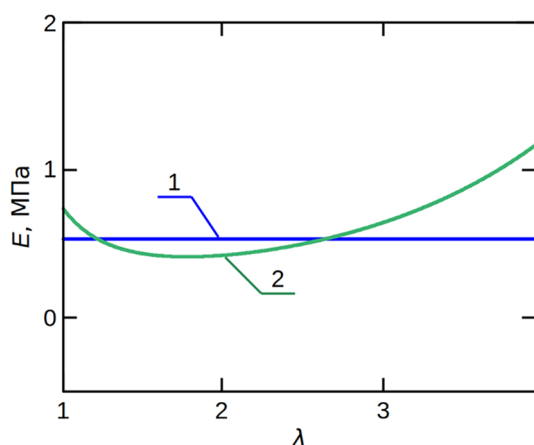


Рис. 2. Модули Юнга в линейной модели (1) и модели Фанга (2), МПа, через 19 лет эксплуатации

Динамика параметров моделей за 19 лет эксплуатации. Безусловно, важным является поведение силиконов в период их эксплуатации в виде оболочек грудных имплантов. Грудные имплантаты подвержены износу под воздействием времени и взаимо-

действия с организмом вплоть до разрыва их оболочек, повторной операции и удаления имплантов [10]. В связи с этим были произведены расчеты параметров рассматриваемых моделей через определенные промежутки времени нахождения силиконовых имплантов внутри организма женщин-волонтеров. Результаты вычислений проиллюстрированы на рисунке 3 и в таблице 2.

Таблица 2

Параметры линейной модели (E) и модели Фанга (C, β) в зависимости от времени нахождения силикона в организме человека

Время, годы	E, МПа	C, МПа	β
0	1.02441	0.525228	0.015
6.0	0.865678	0.458813	0.017
6.5	0.857222	0.457205	0.017
7.0	0.869361	0.504914	0.014
8.0	0.813718	0.449245	0.017
9.0	0.767881	0.38032	0.023
9.5	0.773024	0.408683	0.02
10.0	0.766174	0.400015	0.021
11.0	0.725669	0.37623	0.023
12.0	0.708566	0.377367	0.022
13.0	0.641767	0.302271	0.031
14.0	0.646484	0.334803	0.026
15.0	0.602912	0.287053	0.033
15.5	0.612159	0.308572	0.03
16.0	0.579779	0.279336	0.035
17.0	0.55517	0.270221	0.038
19.0	0.530024	0.245178	0.049

Из рис. 3 можно сделать вывод, что параметр C модели Фанга почти монотонно (коэффициент детерминации $R^2 = 0.9198$) снижался за все время наблюдений от 0.525 МПа до 0.245 МПа со средней скоростью по крайним точкам -0.014 МПа/год (-2.81 %/год), а безразмерный параметр β увеличивался ($R^2 = 0.7986$) от 0.015 до 0.049 со средней скоростью 0.0018/год (11.92%/год). За все время наблюдений постоянная C уменьшилась более чем в 2.14 раза, а β увеличилась в 3.26 раза. При этом коэффициент β первые 6-7 лет практически не менялся. Обратим внимание на значение параметра C модели после 19 лет нахождения импланта в организме (табл. 2): 0.245 МПа. Следовательно, упругий модуль в исходном недеформированном состоянии должен быть в 3 раза больше: $E_0 = 3C = 0.735$, что не противоречит рисунку 3.

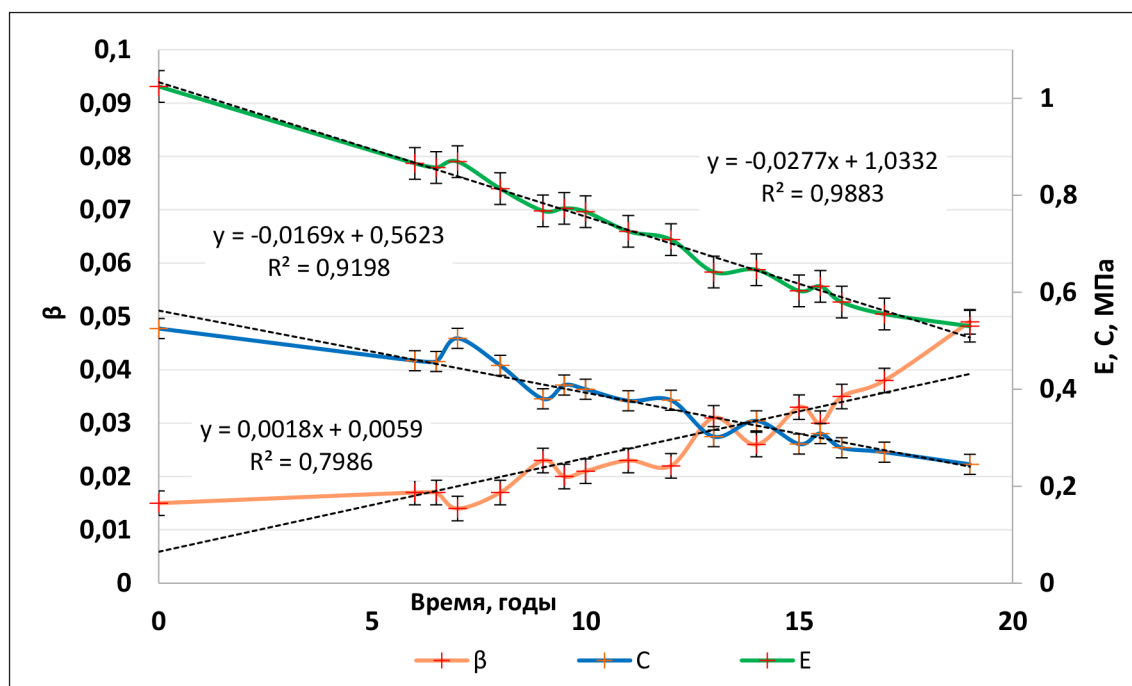


Рис. 3. Параметры линейной модели (E) и модели Фанга (C, β) $\pm$ стандартная ошибка среднего m в зависимости от времени нахождения силикона в организме человека. R^2 – коэффициент детерминации

Что касается характеристики другой (линейной) модели – модуля Юнга, то он практически монотонно ($R^2 = 0.9883$) уменьшался, подобно параметру C модели Фанга, от 1.02 до 0.53 МПа со скоростью -0.026 МПа/год (-2.54 %/год). В результате за время наблюдений модуль Юнга уменьшился в 1.93 раза. Коэффициент корреляции в уменьшении параметра C и модуля E составил 0.979, что соответствует очень сильной связи между параметрами и не противоречит формуле (2). Линии тренда C и E при этом практически параллельны. Отметим, что полученные данные не противоречат литературным данным для силиконового каучука, полученным авторами [11]. Вывод, который можно сделать по данному разделу: параметр C модели Фанга может использоваться как мера жесткости материалов и тканей наравне с модулем Юнга.

Наравне с этим подчеркнем, что, однако, критерий допустимого снижения уровня механических свойств материала, который бы позволил оценить безопасный срок использования имплантов без их значимой деградации, пока не установлен и должен стать предметом дальнейших исследований. При положительном решении этого вопроса можно будет утверждать, что модели гиперупругого материала и формально определенные стандартные модели пред-

ставляют собой надежный инструмент для прогнозирования поведения оболочек протезов при различных условиях нагружения, что может позволить оптимизировать конструкции и потенциально гарантировать их долгосрочную эксплуатацию. Отметим, что под деградацией свойств материала оболочек имплантов может подразумеваться следующее. При длительном нахождении в организме происходит взаимодействие оболочки протеза с тканями, изменяющее его свойства в результате химических реакций, изменения температуры, механического трения и износа парапротезной капсулы, что меняет упругие и прочностные характеристики оболочки протеза. Кроме того, в результате механических воздействий в оболочке протеза накапливаются микрповреждения, которые со временем под действием нагрузок или травм могут привести к разрыву оболочки [5]. Также авторы предполагают уменьшение плотности сшивки полимеров оболочки при долговременной эксплуатации, что требует дополнительных исследований.

«Смягчение» параметров гиперупругих моделей по мере увеличения срока эксплуатации материала Eurosilicone также продемонстрировали постоянные E линейной модели ($R^2 = 0.988$) и C_{10} модели Муни – Ривлина ($R^2 = 0.979$) при коэффициенте

взаимной корреляции между ними 0.977. Коэффициент корреляции C_{10} и C составил 0.916. Это позволило нам в заключение остановиться еще на одной интерпретации параметров моделей, а именно: C (Фанга), E (линейной) и C_{10} (Муни – Ривлина).

Плотность сшивки. Сильная корреляция постоянной C модели Фанга силикона с упругими характеристиками материалов позволяет нам в заключение остановиться на физическом смысле этой постоянной и её интерпретации. Дело в том, что за упругие свойства материалов и биотканей отвечает не только модуль Юнга E в линейной модели, но и косвенно постоянная C_{10} гиперупругой 2-параметрической модели Муни – Ривлина. При этом авторы [12] предложили оценивать плотность сшивки полимеров (cross-linked density) по формуле:

$$n = \frac{C_{10}}{RT} \sim C_{10}$$

где $R = 8.31$ Дж/моль·К – универсальная газовая постоянная, T – температура. Аналогичная по смыслу формула для перекрестно сшитых полимеров дана в [13]. Действительно, плотность сшивки связана с упругими свойствами материалов. В рамках модели аффинной сети (affine network model) плотность сшивки полимеров пропорциональна аффинному модулю Юнга E_{affine} согласно предсказываемому теорией соотношению

$$E_{\text{affine}} = 3\nu k_B T,$$

где ν – число плотности сшитых нитей сети, k_B – постоянная Больцмана, равная $1.38 \cdot 10^{-23}$ Дж/К [14]. Как известно, сшивку макромолекул резко меняют параметры физических свойств полимеров, так как реакция сшивания приводит к увеличению степени их полимеризации. Как известно, силиконы – это кремнийорганические полимеры (полиорганосилоксаны). Чем больше степень сшивания и число поперечных связей между цепочками полимеров, тем выше механические свойства последних [15].

Согласно формуле (3), плотность сшивки силиконового Eurosilicone за 19 лет, прошедших после установки протезов, должна уменьшиться с 251.79 до 119.67 моль/м³, т. е. на 52.48%. С другой стороны, вследствие корреляции C и E (C_{10}) можно утверждать, что $n \sim C$ и плотность сшивки уменьшается за 19 лет на 53.32%, что очень близко к предыдущей оценке. Одновременно, по литературным данным, по мере эксплуатации ухудшаются функциональные свойства оболочек силиконовых имплантов: уменьшают-

ся значения максимального относительного удлинения до разрыва и срок службы [16].

Отметим, что плотность сшивки Eurosilicone экспериментально не измерялась и может стать предметом исследования в будущем.

Выводы

1. Гиперупругая феноменологическая модель Фанга весьма удовлетворительно описывает механические свойства силиконовых материалов, используемых для оболочек грудных протезов (приведенная погрешность 7.51%, коэффициент корреляции экспериментальных и модельных данных 0.996).

2. При деформировании на 292.5% модуль Юнга силиконового материала Eurosilicone в модели Фанга немонотонно изменяется от 0.736 до 1.171 МПа, модуль Юнга в линейной модели 0.53 МПа и постоянен по величине.

3. Параметр C модели Фанга почти монотонно ($R^2 = 0.9198$) снижался за все время эксплуатации в организме человека от 0.525 до 0.245 МПа со скоростью -2.81 %/год, а безразмерный параметр β увеличивался ($R^2 = 0.7986$) от 0.015 до 0.049 со скоростью 11.92%/год.

4. Коэффициент корреляции в уменьшении параметра C модели Фанга и модуля E линейной модели составил 0.979, что соответствует сильной связи между параметрами, в результате параметр C может также применяться в качестве характеристики жесткости материалов и биотканей.

5. Установлено, что «размягчение» параметра C модели Фанга коррелирует с уменьшением постоянной C_{10} модели Муни – Ривлина и при принятых предпосылках может характеризовать снижение плотности сшивки силиконов.

6. В перспективе полученные зависимости параметров модели Фанга и линейной модели позволяют оценить скорость деградации силиконовых материалов в организме, обусловленной структурными изменениями материалов.

Список литературы

1. Bone A., Liman Kaoye M. B.-A., Baidi B. B., Samon J.-B. Comparison of Hyperelastic Models for Analysis of Human and Pig Skins Behavior // Journal of Applied Mathematics and Physics. 2025. Vol. 13. P. 2045-2062. DOI: 10.4236/jamp.2025.136114.
2. Муслов С. А., Арутюнов С. Д., Маев И. В., Золотницкий И. В., Солодов А. А., Раснер П. И. Гиперупругие свойства биологических тканей: монография / Под ред. С. С. Перцова, С. В. Панина. М.: Практическая медицина, 2025. 232 с. ISBN: 978-5-98811-658-5. EDN: BPALJZ.
3. Муслов С. А., Никищенко А. Н., Сухочев П. Ю. Гиперупругость биологических тканей: монография / Под ред.

член-корр. РАН С. С. Перцова, А. А. Солодова. Новокузнецк, 2026. ISBN: 978-5-00255-548-2. DOI: 10.38006/00255-548-2.2026.1.218.

4. Шмурак М. И., Кучумов А. Г., Воронова Н. О. Анализ гиперупругих моделей для описания поведения мягких тканей организма человека // *Master's Journal*. 2017. № 1. С. 230-243. EDN: YUOPFB.

5. Szymanski K. D., Mikes B. A. Breast Implant Rupture. 2025 Dec 13. In: StatPearls [Internet]. Treasure Island (FL): StatPearls Publishing; 2026 Jan. PMID: 29083733.

6. Triana L., Palacios Huatuco R. M., Campilgio G., Liscano E. Trends in Surgical and Nonsurgical Aesthetic Procedures: A 14-Year Analysis of the International Society of Aesthetic Plastic Surgery-ISAPS // *Aesthetic Plast Surg*. 2024 Oct. № 48(20). P. 4217-4227. DOI: 10.1007/s00266-024-04260-2.

7. Шадрин В. В., Плаксин С. А., Платунова В. А. Механические свойства силиконовых маммопротезов // *Российский журнал биомеханики*. 2024. Т. 28. № 4. С. 200–207. DOI: 10.15593/RZhBiomeh/2024.4.17.

8. Hill R. A general theory of uniqueness and stability in elastic-plastic solids // *Journal of the Mechanics and Physics of Solids*. 1958. Vol. 6(3). P. 236–249. DOI:10.1016/0022-5096(58)90029-2.

9. Drucker D. C. A definition of a stable inelastic material // *Journal of Applied Mechanics*. 1959. Vol. 26(1). P. 101-106. DOI: 10.1115/1.4011929.

10. Necchi S., Molina D., Turri S., Rossetto F., Rietjens M., Pennati G. Failure of silicone gel breast implants: Is the mechanical weakening due to shell swelling a significant cause of prostheses rupture? // *Journal of the Mechanical Behav-*

ior of Biomedical Materials. 2011. Vol. 4. № 8. P. 2002-2008. DOI: 10.1016/j.jmbbm.2011.06.019.

11. Muslov S. A., Polyakov D. I., Lotkov A. I. et al. Measurement and calculation of mechanical properties of silicone rubber // *Russ. Phys. J*. 2021. Т. 63. № 9. С. 1525-1529. DOI: 10.1007/s11182-021-02201-z.

12. Nomesha Kumar V., Venkateswara Rao. Hyperelastic Mooney-Rivlin Model: Determination and Physical Interpretation of Material Constants // *MIT International Journal of Mechanical Engineering*. 2016. Vol. 6. № 1. P. 43-46.

13. Седов И. А., Абдуллин А. Р. Способ определения степени сшивки при исследовании перекрестно-сшитых поликапролактонов. Номер патента: RU 2718130. С1. Год публикации: 2020. Номер заявки: 2019135026. Дата регистрации: 31.10.2019. Дата публикации: 30.03.2020. eLIBRARY ID: 42711633. EDN: QNEVHJ.

14. Mayumi K., Liu C., Yasuda Y., Ito K. Softness, Elasticity, and Toughness of Polymer Networks with Slide-Ring Cross-Links // *Gels*. 2021. Vol. 7. P. 91. DOI: 10.3390/gels7030091.

15. Antipova C. G., Krupnin A. E., Zakirov A. R., Pobezhimov V. V., Romanenko D. A., Stolyarova D. Y., Chvalun S. N., Grigoriev T. E. A Comprehensive Mechanical Testing of Polyacrylamide Hydrogels: The Impact of Crosslink Density // *Polymers*. 2025. Vol. 17. P. 737. DOI: 10.3390/polym17060737.

16. Plaksin S. A., Ponomarev D. N., Shadrin V. V., Osorgina I. A. Changes in mechanical properties of breast implants depending on the time they remain in the body // *Theses of the XII National Congress named after N. O. Milanov "Plastic surgery, aesthetic medicine and cosmetology"*. 2023. P. 74-75.

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.



ЧАСТОТА И СПЕКТР МИКРОДЕЛЕЦИЙ ЛОКУСА AZF Y-ХРОМОСОМЫ У МУЖЧИН С БЕСПЛОДИЕМ: РЕЗУЛЬТАТЫ ОДНОЦЕНТРОВОГО КЛИНИЧЕСКОГО ИССЛЕДОВАНИЯ В УЗБЕКИСТАНЕ

¹Сабитова З. А. ORCID ID 0009-0000-2055-6063,

¹Иргашев Д. С. ORCID ID 0009-0009-8216-3973,

²Якубов И. ORCID ID 0000-0002-7367-428X,

³Ганижонов П. Х ORCID ID 0009-0003-1827-8107

¹Клиника СП ООО «DOCTOR D – IVF», Ташкент, Республика Узбекистан;

²Национальный университет Узбекистана имени Мирзо Улугбека, Ташкент, Республика Узбекистан;

³Ферганский медицинский институт общественного здоровья, Фергана, Республика Узбекистан,
e-mail: ganizhonov94@mail.ru

Мужское бесплодие затрагивает около 7-8% мужчин репродуктивного возраста, при этом на долю генетических факторов приходится от 15 до 30% случаев, а микроделеции AZF-региона Y-хромосомы являются второй по частоте верифицированной генетической причиной азооспермии и тяжёлой олигозооспермии после синдрома Клайнфельтера. Систематизированные популяционные данные о частоте и спектре AZF-микроделеций в Республике Узбекистан ранее отсутствовали. Целью исследования явилось определение частоты и структуры микроделеций локусов AZFa, AZFb и AZFc Y-хромосомы у мужчин с бесплодием в узбекской популяции в сопоставлении с фертильными мужчинами. Обследован 681 пациент с бесплодием (55 лиц 0-17 лет и 626 мужчин 18 лет и старше, из них 352 с необструктивной азооспермией и 274 с тяжёлой олигозооспермией) и 147 фертильных мужчин группы контроля; микроделеции AZFa, AZFb, AZFc определяли методом мультиплексной ПЦР в реальном времени с использованием сертифицированной тест-системы по 13 STS-маркерам. Микроделеции AZF выявлены у 93 из 626 мужчин 18 лет и старше с бесплодием (14,86%; в педиатрической когорте 0-17 лет – 2 из 55, 3,63%), в контрольной группе не выявлены (для взрослых $\chi^2=24,83$; $p<0,001$). Доминировало вовлечение субрегиона AZFc (12,94% среди взрослых; изолированная делеция AZFc – 9,25% в общей выборке), реже встречались AZFb+c (2,50%), AZFb (1,03%) и AZFa (0,73%), что согласуется с данными Восточной Азии и Индии и превышает средние показатели по Европе. Полученные данные обосновывают внедрение стандартизированного молекулярно-генетического скрининга AZF-региона в клиническую практику Узбекистана при необструктивной азооспермии и тяжёлой олигозооспермии.

Ключевые слова: мужское бесплодие, Y-хромосома, микроделеции AZF, азооспермия, олигозооспермия, сперматогенез, Узбекистан

FREQUENCY AND SPECTRUM OF Y CHROMOSOME AZF LOCUS MICRODELETIONS IN INFERTILE MEN: RESULTS OF A SINGLE-CENTER CLINICAL STUDY IN UZBEKISTAN

¹Sabitova Z. A. ORCID ID 0009-0000-2055-6063,

¹Irgashev D. S. ORCID ID 0009-0009-8216-3973,

²Yakubov I. ORCID ID 0000-0002-7367-428X,

³Ganizhonov P. Kh. ORCID ID 0009-0003-1827-8107

¹SP Clinic LLC “DOCTOR D – IVF”, Tashkent, Republic of Uzbekistan;

²Mirzo Ulugbek National University of Uzbekistan, Tashkent, Republic of Uzbekistan;

³Fergana Medical Institute of Public Health, Fergana, Uzbekistan, e-mail: ganizhonov94@mail.ru

Male infertility affects about 7-8% of men of reproductive age, and genetic factors account for 15-30% of cases, with Y-chromosome AZF microdeletions representing the second most common confirmed genetic cause of azoospermia and severe oligozoospermia after Klinefelter syndrome. Systematic population data on the frequency and spectrum of AZF microdeletions in the Republic of Uzbekistan have not previously been available. The study aimed to determine the frequency and structure of AZFa, AZFb and AZFc microdeletions in infertile men of the Uzbek population compared with fertile men. A total of 681 infertile patients were examined (55 subjects aged 0-17 years and 626 men aged 18 years and older, including 352 with non-obstructive azoospermia and 274 with severe oligozoospermia) together with 147 fertile control men; AZFa, AZFb and AZFc microdeletions were detected by real-time multiplex PCR using a certified test system covering 13 STS markers. AZF microdeletions were detected in 93 of 626 men aged 18 years and older (14.86%; in the paediatric cohort aged 0-17 years, 2 of 55, 3.63%), and in none of the controls ($\chi^2=24.83$; $p<0.001$ for adults). AZFc involvement predominated (12.94% among adults; isolated AZFc deletion, 9.25% overall), followed by AZFb+c (2.50%), AZFb (1.03%) and AZFa (0.73%), consistent with data from East Asia and India and exceeding average European estimates. The findings support the introduction of standardized molecular genetic AZF screening into Uzbek clinical practice for non-obstructive azoospermia and severe oligozoospermia.

Keywords: male infertility, Y chromosome, AZF microdeletions, azoospermia, oligozoospermia, spermatogenesis, Uzbekistan

Введение

Бесплодие – состояние, при котором супружеская пара не способна зачать ребёнка после 12 месяцев регулярной половой жизни без контрацепции; мужской фактор участвует не менее чем в 30-50% таких случаев [1-3]. По данным глобального анализа бремени болезней, число мужчин со сниженной фертильностью в мире в 2019 г. достигло около 56,5 млн человек, а прирост распространённости с 1990 по 2019 г. составил 76,9% [2]. Для Центрально-Азиатского региона, включая Республику Узбекистан, систематизированные эпидемиологические и генетические данные о мужском бесплодии остаются крайне ограниченными и появились в литературе лишь в последние годы [4; 5].

Генетические причины ответственны за 15-30% случаев мужского бесплодия, а их доля последовательно увеличивается по мере внедрения стандартизированной молекулярной диагностики [6]. Среди верифицированных генетических причин второе место после синдрома Клайнфельтера занимают микроделеции региона AZF (azoospermia factor) длинного плеча Y-хромосомы, обнаруживаемые у 2-10% мужчин с нарушениями сперматогенеза и до 15-20% пациентов с азооспермией и тяжёлой олигозооспермией [7]. Регион AZF подразделяется на три субрегиона – AZFa, AZFb и AZFc [8], образование делеций в которых связано с неаллельной гомологичной рекомбинацией между протяжёнными палиндромными и ампликонными структурами мужского специфичного региона Y-хромосомы (MSY) [9-11]. Клиническое значение типа делеции принципиально различно: полные делеции AZFa и AZFb ассоциированы с крайне неблагоприятным прогнозом получения сперматозоидов при микрохирургической экстракции (микро-ТЕСЕ), тогда как делеции AZFc совместимы с успешным получением сперматозоидов в 50-60% случаев [12-14].

Частота и спектр AZF-микроделеций демонстрируют значительную межпопуляционную вариабельность: от 8-12% в Европе до 10-15% в Индии и 10,8-10,9% в странах Восточной Азии. Отсутствие локально валидированных данных делает некорректным прямой перенос усреднённых зарубежных оценок на узбекскую популяцию и ограничивает возможность рационального планирования диагностических и лечебных алгоритмов [15-17].

Цель исследования – определить частоту и структуру микроделеций локусов AZFa, AZFb и AZFc Y-хромосомы у муж-

чин с бесплодием в узбекской популяции в сопоставлении с фертильными мужчинами группы контроля.

Материалы и методы исследования

Исследование выполнено в формате обсервационного аналитического исследования на базе клиники «Доктор Д» (г. Ташкент). Всего обследовано 828 человек, из которых на носительство микроделеций локуса AZF Y-хромосомы обследован 681 пациент с клинически верифицированным диагнозом мужского бесплодия. Обследованные лица основной группы были стратифицированы по возрасту на две подгруппы: первую составили 55 лиц детского и подросткового возраста 0-17 лет (средний возраст $12,68 \pm 1,36$ года ($M \pm SD$)), вторую – 626 мужчин 18 лет и старше (средний возраст $30,80 \pm 5,33$ года ($M \pm SD$)). Пациенты второй подгруппы дополнительно дифференцированы по степени угнетения сперматогенеза: 352 (56,2%) пациента с необструктивной азооспермией и 274 (43,8%) пациента с тяжёлой олигозооспермией (концентрация сперматозоидов менее 5 млн/мл). Оценку эякулята проводили дважды в соответствии с руководством Всемирной организации здравоохранения по лабораторному исследованию и обработке эякулята человека (6-е издание, 2021 г.) [18]; азооспермию верифицировали с обязательным исследованием осадка эякулята после центрифугирования.

Группу контроля составили 147 фертильных мужчин узбекской национальности с документально подтверждённой нормоспермией по всем параметрам спермограммы и рождением здоровых детей в анамнезе.

Критерии включения в основную группу: мужской пол, клинически верифицированное бесплодие (необструктивная азооспермия или тяжёлая олигозооспермия по данным двукратной спермограммы), узбеки по национальности, наличие информированного согласия. Критерии исключения: обструктивные формы азооспермии, перенесённые операции на органах мошонки, орхит и травмы яичек в анамнезе, приём гонадотоксичных препаратов, установленные хромосомные синдромы. Все пациенты основной группы и мужчины группы контроля являлись представителями узбекской популяции.

Биологическим материалом служила периферическая венозная кровь, взятая в вакуумные пробирки с антикоагулянтом ЭДТА. Выделение геномной ДНК проводили с использованием комплекта «ПРОБА-РАПИД-

ГЕНЕТИКА» (P-021/4). Детекцию микроделеций AZFa, AZFb и AZFc выполняли методом качественной мультиплексной полимеразной цепной реакции с флуоресцентной детекцией в режиме реального времени с использованием сертифицированной тест-системы «Делеции локуса AZF» (регистрационное удостоверение РЗН № 2014/2078, производство НПО «ДНК-Технология», Россия) на амплификаторе «ДТпрайм» [19]. Аналитическая панель включала 13 непоморфных STS-маркеров (sY84, sY86, sY615 – AZFa; sY127, sY134, sY142 – AZFb; sY254, sY255, sY1197, sY1125, sY1206, sY242, sY1291 – AZFc), а также маркер гена SRY и внутренний контроль амплификации. Каждый запуск сопровождался положительным и отрицательным контролем; результаты интерпретировали только при корректном срабатывании контрольных параметров.

Статистическую обработку данных выполняли в пакете IBM SPSS Statistics 26.0 и OpenEpi 3.01. Качественные признаки представлены абсолютными и относительными частотами (n, %). Сравнение частот между независимыми группами проводили с использованием критерия χ^2 Пирсона; при ожидаемых частотах менее 5 применяли точный критерий Фишера. Критический уровень значимости принят равным 0,05.

Результаты исследования и их обсуждение

Среди 681 обследованного пациента основной группы микроделеции локуса AZF выявлены у 95 человек. Поскольку критерий бесплодия применим только к мужчинам репродуктивного возраста, основным показателем частоты AZF-микроделеций

при мужском бесплодии следует считать значение для мужчин 18 лет и старше – 93 из 626 (14,86%); в отдельно рассматриваемой педиатрической когорте (0-17 лет), направленной на скрининг по поводу крипторхизма и задержки полового развития, делеции выявлены у 2 из 55 (3,63%). В контрольной группе фертильных мужчин (n=147) патологических делеций Y-хромосомы не выявлено ни в одном случае; межгрупповые различия оказались статистически значимыми ($\chi^2=23,16$; $p<0,001$) (табл. 1).

Как видно из таблицы 1, абсолютно доминирующим типом нарушений явились делеции региона AZFc (9,25% от общей выборки), тогда как изолированные делеции AZFa (0,73%) и AZFb (1,03%) встречались значительно реже. Комбинированная делеция AZFb+c зарегистрирована у 2,50% пациентов, сочетание всех трёх субрегионов (AZFa+b+c) – у единственного пациента (0,15%). Полученная суммарная частота (13,95%) сопоставима с данными систематических обзоров по странам Восточной Азии (10,8-10,9%) и Индии (10-15%), незначительно превышая среднеевропейские показатели (8-12%), что указывает на относительно высокую региональную распространённость данной патологии в изучаемой узбекской когорте.

При сопоставлении возрастных подгрупп основной группы (табл. 2) в педиатрической и подростковой когорте (0-17 лет, n=55) микроделеции обнаружены лишь у 2 из 55 обследованных (3,63%), исключительно в виде изолированной делеции AZFc, тогда как во взрослой когорте (≥ 18 лет, n=626) частота составила 14,86% ($\chi^2=5,30$; $p=0,021$).

Таблица 1

Частота и спектр микроделеций локуса AZF у пациентов основной группы и фертильных мужчин группы контроля

Тип делеции	Основная группа, n=681 (n)	Основная группа (%)	Контроль, n=147 (n)	Контроль (%)	Критерий	P
AZFa	5	0,73	0	0,0	тчФ	0,592
AZFb	7	1,03	0	0,0	тчФ	0,614
AZFc	63	9,25	0	0,0	χ^2	<0,001
AZFa+c	2	0,29	0	0,0	тчФ	1,000
AZFb+c	17	2,50	0	0,0	тчФ	0,054
AZFa+b+c	1	0,15	0	0,0	тчФ	1,000
Всего	95	13,95	0	0,0	χ^2	<0,001

Примечание: тчФ – точный критерий Фишера (применён при ожидаемых частотах менее 5); χ^2 – критерий χ^2 Пирсона. Составлено автором на основе полученных данных в ходе исследования.

Таблица 2

Сравнительный анализ частоты микроделений AZF
в возрастных подгруппах основной группы

Тип делеции	Группа 1, 0-17 лет, n=55 (n)	Группа 1 (%)	Группа 2, ≥18 лет, n=626 (n)	Группа 2 (%)	Критерий	P
AZFa	0	0,0	5	0,80	тчФ	1,000
AZFb	0	0,0	7	1,12	тчФ	1,000
AZFc	2	3,63	61	9,74	χ^2	0,13
AZFa+c	0	0,0	2	0,32	тчФ	1,000
AZFb+c	0	0,0	17	2,72	тчФ	0,386
AZFa+b+c	0	0,0	1	0,16	тчФ	1,000
Всего	2	3,63	93	14,86	χ^2	0,021

Примечание: тчФ – точный критерий Фишера (применён при ожидаемых частотах менее 5); χ^2 – критерий χ^2 Пирсона. Составлено автором на основе полученных данных в ходе исследования.

Таблица 3

Частота микроделений AZF по субрегионам у мужчин 18 лет и старше
в сравнении с группой контроля

Субрегион AZF	Мужчины ≥18 лет, n=626 (n)	Основная группа (%)	Контроль, n=147 (n)	Контроль (%)	Критерий	P
AZFa	8	1,28	0	0,0	тчФ	0,364
AZFb	25	3,99	0	0,0	тчФ	0,008
AZFc	81	12,94	0	0,0	χ^2	<0,001
Всего	93	14,86	0	0,0	χ^2	<0,001

Примечание: тчФ – точный критерий Фишера (применён при ожидаемых частотах менее 5); χ^2 – критерий χ^2 Пирсона. Составлено автором на основе полученных данных в ходе исследования.

Различия по частоте отдельных субрегионов между возрастными подгруппами статистически значимыми не были (все $p > 0,05$), что, вероятно, обусловлено малым объёмом педиатрической выборки и ограниченной статистической мощностью для редких событий, а также особенностями формирования данной когорты (назначение генетического скрининга детям преимущественно при тяжёлых формах крипторхизма и задержке полового развития, а не по критерию патоспермии).

Учитывая выявленные различия в претестовой вероятности обнаружения генетических аномалий между возрастными подгруппами, дальнейший углублённый сравнительный анализ с группой фертильных мужчин проводился исключительно на когорте пациентов второй подгруппы (18 лет и старше, $n=626$) как наиболее клинически однородной и сопоставимой с контролем по критерию реализованной или планируемой репродуктивной функции.

Стратификация по субрегионам среди взрослых пациентов (табл. 3) подтвердила абсолютное преобладание вовлечения субрегиона AZFc – 81 случай (12,94% от выборки взрослых, 87,1% от всех выявленных микроделений), что полностью согласуется с молекулярным механизмом формирования данного типа перестроек: регион AZFc содержит протяжённые ампликонные палиндромные структуры (P3/P1) с внутрисемейственной идентичностью более 99,9%, создающие субстрат для неаллельной гомологичной рекомбинации по типу b2/b4-делений. Напротив, регион AZFa, лишённый крупных палиндромов и формирующий делеции за счёт рекомбинации ретровирусных последовательностей HERVYq1/HERVYq2, поражался существенно реже – у 8 пациентов (1,28%), различия с контролем не достигли статистической значимости (точный критерий Фишера, $p=0,364$), тогда как по AZFb (3,99%; точный критерий Фишера, $p=0,008$) и AZFc (12,94%; $\chi^2=21,25$;

$p < 0,001$) различия с контролем были статистически достоверны.

Полученное распределение

$(AZFc > AZFb+c > AZFb > AZFa)$

воспроизводит закономерность, описанную в крупных зарубежных сериях: мультицентровое китайское исследование на 1808 пациентах и японская работа на 1030 пациентах показали аналогичное доминирование AZFc при низкой частоте изолированных AZFa; сопоставимая структура отмечена и для бразильской и американской когорты [20; 21]. Систематический обзор индийских популяций также подтверждает общий паттерн $AZFc > AZFb > AZFa$ при сохраняющейся межисследовательской гетерогенности, обусловленной различиями критериев включения пациентов и состава используемых STS-панелей.

С клинической точки зрения выявленное распределение имеет значимые практические следствия. Делеции AZFa и AZFb, ассоциированные с полной потерей герминативного эпителия и синдромом «только клетки Сертоли», сопряжены с практически нулевой вероятностью получения сперматозоидов методом микро-ТЕСЕ, что обосновывает отказ от инвазивных хирургических вмешательств у данной категории пациентов в пользу альтернативных репродуктивных стратегий. Делеции AZFc, напротив, совместимы с очаговым сохранением сперматогенеза и успешным получением сперматозоидов в 50-60% случаев, что делает обоснованным направление таких пациентов на микро-ТЕСЕ с последующим ИКСИ в специализированных центрах. Обязательным компонентом ведения всех пациентов с подтверждёнными AZF-делециями является генетическое консультирование пары с учётом облигатной передачи Y-хромосомного дефекта сыновьям при использовании собственной спермы.

Ограничениями настоящего исследования являются одноцентровый дизайн, ретроспективный характер части клинических данных и относительно небольшой объём педиатрической подгруппы, что снижает статистическую мощность для оценки редких вариантов делеций в данной когорте. Дальнейшие многоцентровые исследования с расширенным картированием границ делеций и анализом исходов вспомогательных репродуктивных технологий позволят уточнить прогностическую модель для узбекской популяции.

Выводы

1. Частота микроделеций локуса AZF Y-хромосомы среди мужчин 18 лет и старше

с бесплодием составила 14,86% (93 из 626), тогда как в группе фертильных мужчин делеции не выявлены ни в одном случае ($\chi^2=24,83$; $p < 0,001$); в отдельно проанализированной педиатрической когорте (0-17 лет) частота составила 3,63% (2 из 55).

2. В структуре выявленных нарушений абсолютно доминировало вовлечение субрегиона AZFc (87,1% всех выявленных делеций у взрослых; изолированная делеция AZFc – 9,25% от общей выборки), тогда как изолированные делеции AZFa (0,73%) и AZFb (1,03%) встречались значительно реже.

3. Среди мужчин 18 лет и старше частота микроделеций достигла 14,86%, статистически значимо превышая аналогичный показатель в педиатрической и подростковой подгруппе 0-17 лет (3,63%; $\chi^2=5,30$; $p=0,021$).

4. Различия с группой контроля по частоте делеций AZFb и AZFc были статистически значимыми ($p=0,008$ и $p < 0,001$ соответственно), тогда как по AZFa значимых различий не установлено (точный критерий Фишера, $p=0,364$).

5. Полученная частота и структура AZF-микроделеций в обследованной узбекской когорте сопоставимы с данными Восточной Азии и Индии и обосновывают целесообразность внедрения стандартизированного молекулярно-генетического скрининга AZF-региона в рутинную клиническую практику при необструктивной азооспермии и тяжёлой олигозооспермии.

Проведённое исследование впервые предоставляет систематизированные данные о частоте и спектре микроделеций AZF-региона Y-хромосомы у мужчин с бесплодием, обследованных в специализированной клинике г. Ташкента (Республика Узбекистан). Установленная частота (14,86% среди мужчин 18 лет и старше) и выраженное преобладание делеций AZFc отражают универсальные молекулярные механизмы нестабильности мужского специфичного региона Y-хромосомы и в целом согласуются с данными зарубежных популяционных исследований. Полученные результаты формируют основу для оптимизации диагностического алгоритма мужского бесплодия, рационального планирования инвазивных вмешательств и вспомогательных репродуктивных технологий, а также стандартизации медико-генетического консультирования пациентов с генетически обусловленными формами нарушения сперматогенеза в Узбекистане.

Список литературы

1. Eisenberg M. L., Esteves S. C., Lamb D. J., Hotaling J. M., Giwercman A., Hwang K., Cheng Y. S. Male infertility // Nat

- Rev Dis Primers. 2023. Vol. 9. Is. 1. P. 49. DOI: 10.1038/s41572-023-00459-w.
2. Huang B., Wang Z., Kong Y., Jin M., Ma L. Global, regional and national burden of male infertility in 204 countries and territories between 1990 and 2019: an analysis of global burden of disease study // *BMC Public Health*. 2023. Vol. 23. Is. 1. P. 2195. DOI: 10.1186/s12889-023-16793-3.
 3. Задубенко Д. В., Туфуминова Я. С., Лебедева Л. П. Мужское бесплодие в Центральной Азии: первое сообщение из региона // *Проблемы репродукции*. 2025. Т. 31(3). С. 92-98. DOI: 10.17116/repro20253103192.
 4. Mukhamejan M., Shamshudinov T., Alchinbayev M., Tabynbayev N., Dursun M., Kussainova A., Kassym L., Tsigen-gagel O., Zhambylov N., Semenova Y. Long-Term Epidemiological Trends and Regional Disparities in Male Infertility in Central Asia (1991–2023) // *Int. J. Environ. Res. Public Health*. 2026. Vol. 23. Is. 4. P. 466. DOI: 10.3390/ijerph23040466.
 5. Krausz C., Riera-Escamilla A. Genetics of male infertility // *Nat Rev Urol*. 2018. Vol. 15. Is. 6. P. 369-384. DOI: 10.1038/s41585-018-0003-3.
 6. Sudhakar D.V.S., Shah R., Gajbhiye R.K. Genetics of Male Infertility – Present and Future: A Narrative Review // *J Hum Reprod Sci*. 2021. Vol. 14. Is. 3. P. 217-227. DOI: 10.4103/jhrs.jhrs_115_21.
 7. Rozen S. G., Marszalek J. D., Irenze K., Skaletsky H., Brown L. G., Oates R. D., Silber S. J., Ardlie K., Page D. C. AZFc deletions and spermatogenic failure: a population-based survey of 20,000 Y chromosomes // *Am J Hum Genet*. 2012. Vol. 91. Is. 5. P. 890-896. DOI: 10.1016/j.ajhg.2012.09.003.
 8. Vogt P. H., Edelmann A., Kirsch S., Henegariu O., Hirschmann P., Kieseewetter F., Köhn F. M., Schill W. B., Farah S., Ramos C., Hartmann M., Hartschuh W., Meschede D., Behre H. M., Castel A., Nieschlag E., Weidner W., Gröne H. J., Jung A., Engel W., Haidl G. Human Y chromosome azoospermia factors (AZF) mapped to different subregions in Yq11 // *Hum Mol Genet*. 1996. Vol. 5. Is. 7. P. 933-943. DOI: 10.1093/hmg/5.7.933.
 9. Kuroda-Kawaguchi T., Skaletsky H., Brown L. G., Minx P. J., Cordum H. S., Waterston R. H., Wilson R. K., Silber S., Oates R., Rozen S., Page D. C. The AZFc region of the Y chromosome features massive palindromes and uniform recurrent deletions in infertile men // *Nat Genet*. 2001. Vol. 29. Is. 3. P. 279-286. DOI: 10.1038/ng757.
 10. Repping S., Skaletsky H., Lange J., Silber S., Van Der Veen F., Oates R. D., Page D. C., Rozen S. Recombination between palindromes P5 and P1 on the human Y chromosome causes massive deletions and spermatogenic failure // *Am J Hum Genet*. 2002. Vol. 71. Is. 4. P. 906-922. DOI: 10.1086/342928.
 11. Skaletsky H., Kuroda-Kawaguchi T., Minx P. J., Cordum H. S., Hillier L. D., Brown L. G., Repping S., Pyntikova T., Ali J., Bieri T., Chinwalla A., Delehaunty K., Delehaunty A., Du H., Fewell G., Fulton L., Fulton R., Graves T., Hou S.-F., Latrielle P., Leonard S., Mardis E., Maupin R., McPherson J., Miner T., Nash W., Nguyen C., Ozersky P., Pepin K., Rock S., Rohlfling T., Scott K., Schultz B., Strong C., Tin-Wollam A., Yang S.-P., Waterston R. H., Wilson R. K., Rozen S., Page D. C. The male-specific region of the human Y chromosome is a mosaic of discrete sequence classes // *Nature*. 2003. Vol. 423. Is. 6942. P. 825-837. DOI: 10.1038/nature01722.
 12. Punjani N., Kang C., Schlegel P.N. Clinical implications of Y chromosome microdeletions among infertile men // *Best Pract Res Clin Endocrinol Metab*. 2020. Vol. 34. Is. 6. P. 101471. DOI: 10.1016/j.beem.2020.101471.
 13. Krausz C., Navarro-Costa P., Wilke M., Tüttelmann F. EAA/EMQN best practice guidelines for molecular diagnosis of Y-chromosomal microdeletions: State of the art 2023 // *Androl-ogy*. 2024. Vol. 12. Is. 3. P. 487-504. DOI: 10.1111/andr.13514.
 14. Brannigan R. E., Hermanson L., Kaczmarek J., Kim S. K., Kirkby E., Tanrikut C. Updates to Male Infertility: AUA/ASRM Guideline (2024) // *J Urol*. 2024. Vol. 212. Is. 6. P. 789-799. DOI: 10.1097/JU.0000000000004180.
 15. Zhu X.-B., Gong Y.-H., He J., Guo A.-L., Zhi E.-L., Yao J.-E., Zhu B.-S., Zhang A.-J., Li Z. Multicentre study of Y chromosome microdeletions in 1,808 Chinese infertile males using multiplex and real-time polymerase chain reaction // *Andrologia*. 2017. Vol. 49. Is. 5. DOI: 10.1111/and.12662.
 16. Iijima M., Shigehara K., Igarashi H., Kyono K., Suzuki Y., Tsuji Y., Kobori Y., Kobayashi H., Mizokami A. Y chromosome microdeletion screening using a new molecular diagnostic method in 1030 Japanese males with infertility // *Asian J Androl*. 2020. Vol. 22. Is. 4. P. 368-371. DOI: 10.4103/aja.aja_97_19.
 17. Waseem A. S., Singh V., Makker G. C., Trivedi S., Mishra G., Singh K., Rajender S. AZF deletions in Indian populations: original study and meta-analyses // *J Assist Reprod Genet*. 2020. Vol. 37. Is. 2. P. 459-469. DOI: 10.1007/s10815-019-01661-0.
 18. World Health Organization. WHO Laboratory Manual for the Examination and Processing of Human Semen. 6th ed. Geneva: WHO Press, 2021. URL: <https://www.who.int/publications/i/item/9789240030787>
 19. Аксельрод Э. В., Миронов К. О., Михайленко Д. С., Ефремов Г. Д., Перепечин Д. В., Алексеев Б. Я. Разработка и апробация методики на основе мультиплексной полимеразной цепной реакции в режиме реального времени для определения клинически значимых микроделений в Y-хромосоме // *Клиническая лабораторная диагностика*. 2018. Т. 63(2). С. 124-128. DOI: 10.18821/0869-2084-2018-63-2-124-128.
 20. Stahl P. J., Masson P., Mielnik A., Marean M. B., Schlegel P. N., Paduch D. A. A decade of experience emphasizes that testing for Y microdeletions is essential in American men with azoospermia and severe oligozoospermia // *Fertil Steril*. 2010. Vol. 94. Is. 5. P. 1753-1756. DOI: 10.1016/j.fertnstert.2009.09.006.
 21. Franchim C. S., Soares-Junior J. M., Serafini P. C., Monteleone P. A. A., Coccuzza M. S., Zanardo E. A., Montenegro M. M., Dias A. T., Kulikowski L. D., Baracat E. C. Efficacy of MLPA for detection of Y-chromosome microdeletions in infertile Brazilian patients // *J Assist Reprod Genet*. 2020. Vol. 37. Is. 5. P. 1251-1259. DOI: 10.1007/s10815-020-01777-8.

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.



ЭФФЕКТИВНОСТЬ ТЕХНОЛОГИИ ОБРАТНОГО ОСМОСА В БОРЬБЕ С ЗАСОЛЕНИЕМ ОРОШАЕМЫХ ПОЧВ

Турдалиев Ж. М. ORCID ID 0000-0001-7354-287X,

Рузметов М. И., Санакулов С. Ф., Туклибаев С. А., Тожибоев Д. Ю.

*Институт почвоведения и агрохимических исследований, Ташкент, Республика Узбекистан,
e-mail: jamolbek1986@mail.ru*

В данной статье представлены предварительные результаты прикладных исследований по проекту AL-9124093960 на тему «Разработка интегрированной агротехнологии борьбы с засолением почв», выполняемому Институтом почвоведения и агрохимических исследований в рамках государственных научно-технических программ на 2025–2027 гг. В рамках проекта исследована эффективность использования инновационной технологии обратного осмоса для улучшения мелиоративного состояния орошаемых засоленных почв. В ходе исследований изучались процессы опреснения подземных и коллекторно-дренажных вод с помощью установок обратного осмоса и их влияние на динамику солесодержания в почве. На основе лабораторных анализов образцов, отобранных на опытных участках, установлено, что уровень залегания грунтовых вод на луговых аллювиальных почвах колеблется в пределах 150–165 см, а степень их минерализации составляет 3,308–3,654 г/л, что классифицируется как средняя минерализация (3–10 г/л). Степень минерализации дренажных вод коллектора Туранги-сака составила 4,187 г/л (средняя), в то время как оросительные воды левобережья Амударьи (А-22:03-3641) относятся к группе слабоминерализованных (1–3 г/л) с плотным остатком 1,124 г/л. Тип засоления во всех случаях хлоридно-сульфатный, а в составе катионов преобладает магниевое-кальциевое засоление.

Ключевые слова: орошаемые почвы, засоление, обратный осмос, опреснение, мелиоративное состояние, минерализация, хлоридно-сульфатный тип, Амударья, промывка почв, обратный осмос

EFFICIENCY OF REVERSE OSMOSIS TECHNOLOGY IN COMBATING SALINIZATION OF IRRIGATED SOILS

Turdaliev Zh. M. ORCID ID 0000-0001-7354-287X,

Ruzmetov M. I., Sanakulov S. F., Tuklibaev S. A., Tozhiboev D. Yu.

*Institute of Soil Science and Agrochemical Research, Tashkent, Republic of Uzbekistan,
e-mail: jamolbek1986@mail.ru*

This article presents the preliminary results of applied research conducted under project AL-9124093960, titled “Development of Integrated Agrotechnologies for Soil Salinity Control.” The study is being carried out by the Institute of Soil Science and Agrochemical Research as part of the state scientific and technical programs for 2025–2027. The project investigates the effectiveness of innovative reverse osmosis (RO) technology in improving the land reclamation status of irrigated saline soils. The research focuses on the desalination processes of groundwater and collector-drainage waters using RO units and evaluates their impact on the dynamics of soil salinity. Based on laboratory analyses of samples collected from experimental plots, it was established that the groundwater level in meadow-alluvial soils fluctuates between 150–165 cm. The mineralization degree of this water ranges from 3.308 to 3.654 g/l, classified as moderately saline (3–10 g/l). The mineralization of drainage waters from the Turangi-saka collector was found to be 4.187 g/l (moderate), while the irrigation waters of the Amu Darya left bank (A-22:03-3641) are classified as slightly mineralized (1–3 g/l) with a total dissolved solids content of 1.124 g/l. In all cases, the type of salinity is chloride-sulfate, with magnesium-calcium dominance in the cation composition. Preliminary results indicate that soil leaching with water produced by reverse osmosis contributes to a more pronounced reduction in the concentration of toxic salts compared to traditional methods: the dry residue content in the 0–100 cm layer decreased by an average of 18.9 %. The article also provides a brief literature review, materials and methods, research goals and objectives, discussion of results, and key conclusions.

Keywords: irrigated soils, soil salinity, reverse osmosis, desalination, land reclamation status, mineralization, chloride-sulfate type, Amu Darya, soil leaching, reverse osmosis

Введение

В условиях глобального изменения климата и сокращения ресурсов пресной воды опреснение минерализованных грунтовых и дренажных вод приобретает стратегическое значение. Процесс обратного осмоса (RO), основанный на очистке воды от растворенных солей, ионов и микроорганиз-

мов под высоким давлением с помощью полупроницаемых мембран, является актуальным решением для промывки почв от солей и улучшения их эколого-мелиоративного состояния [1, 2].

На сегодняшний день технологии обратного осмоса широко внедрены во многих странах мира и рассматриваются как одно

из наиболее эффективных решений проблемы дефицита пресной воды. Саудовская Аравия является одним из мировых лидеров в области опреснения воды и активно внедряет современные мембранные технологии, направленные на повышение эффективности водоочистки и снижение энергозатрат. Развитие и совершенствование технологий опреснения способствует расширению возможностей их применения не только для обеспечения населения питьевой водой, но и для улучшения мелиоративного состояния засоленных земель [3]. В Среднеазиатском регионе, включая Узбекистан, проблема вторичного засоления орошаемых земель усугубляется на протяжении последних десятилетий вследствие интенсификации ирригации и деградации дренажных систем [4].

Цель исследования – оценка основных свойств лугово-аллювиальных почв, их эколого-мелиоративного состояния, степени засоления почв и вод с применением современных технологий, а также разработка комплексных мер, направленных на их интенсивное улучшение.

Материалы и методы исследования

Полевые исследования проводились на базе Хорезмской научно-опытной станции (филиал Института почвоведения и агрохимических исследований), расположенной в массиве им. С. Каландарова Ургенчского района. В качестве объекта изучения были выбраны орошаемые лугово-аллювиальные почвы, характеризующиеся различной степенью и химизмом засоления, типичные для условий низовьев Амударьи.

Полевой опыт был заложен на учетных делянках площадью 10×10 м (100 м^2) каждая. Всего было выделено шесть опытных участков: пять из них (2V, 6V, 7V, 12V, 22V) подвергались промывке водой, опресненной методом обратного осмоса; один участок (29V) служил контролем, имел сопоставимую исходную степень засоления и промывался той же нормой воды, но с использованием необработанной дренажной воды коллектора Туранги-сака (минерализация $4,187 \text{ г/л}$ (табл. 1), без применения технологии обратного осмоса.

Промывная норма на всех делянках, включая контрольную, составила $4000 \text{ м}^3/\text{га}$, что для площади 100 м^2 соответствует объему 40 м^3 воды на участок. С учетом производительности установки обратного осмоса (500 л/ч) подача воды на каждую делянку осуществлялась непрерывно в течение четырех суток.

Отбор почвенных проб на каждой делянке производился в одной точке, послы-

но, из трех генетических горизонтов: 0–30, 30–70 и 70–100 см, дважды – до и после промывки; в таблицах приведены средневзвешенные значения для слоя 0–100 см.

Исследования были проведены в полевых, лабораторных и камерных условиях по общепринятым в почвоведении стандартным методам. Отбор проб почвы и лабораторные анализы выполнены по «Руководству по химическому анализу почв» Е. В. Аринушкиной [5]. Математико-статистическая обработка полученных данных проводилась на основании методического руководства Б. А. Доспехова «Методика полевого опыта» [6] с использованием программы Microsoft Excel. Сравнение состояния почв до и после промывки в пределах каждой делянки проводилось по парному принципу ($n = 6$ делянок: 5 опытных и 1 контрольная) с применением парного t -критерия Стьюдента при уровне значимости $p < 0,05$.

Результаты исследования и их обсуждение

Гидрогеологические условия аридной зоны республики, в частности Хорезмской области, являются доминирующим фактором, определяющим динамику почвообразовательных процессов. Данные условия формируют потенциал плодородия орошаемых почв, степень и химизм их засоления, аккумуляцию гумуса и питательных элементов, а также количественное соотношение гипса и карбонатов в почвенном профиле. Вместе с тем уровень минерализации и химический состав грунтовых вод фундаментально определяют водно-физические, физико-химические и биологические свойства почв, а также их общее мелиоративно-экологическое состояние. Именно гидрогеологический режим служит основным детерминантом дифференциации типов почв с различной степенью гидроморфности (автоморфных, полугидроморфных и гидроморфных).

Эволюция почвенного покрова Хорезмского оазиса происходила преимущественно под влиянием многовекового устойчивого (стабильного) режима оазисного гидроморфного увлажнения. Почвенный покров региона дифференцирован по генезису, периоду орошения (староорошаемые, новоорошаемые, новоосвоенные), а также по степени и химическому типу засоления [7].

Участки, выбранные для проведения исследований в Ургенчском районе, представлены в основном орошаемыми лугово-аллювиальными почвами и характеризуются следующим образом: согласно результатам

оценки качества почв, проведенной Институтом почвоведения и агрохимических исследований в Хорезмской области в 2025 г., данный тип почв является доминирующим в Ургенчском районе. Он занимает около 92,3 % (24,8 тыс. га) от общей площади орошаемых земель района, составляющей 26,9 тыс. га. Почвы сформировались в условиях устойчивого гидроморфного режима вследствие близкого залегания уровня грунтовых вод (1,0–2,5 м) [8].

На сегодня системы обратного осмоса занимают прочные позиции на рынке водоочистного оборудования. Системы обратного осмоса предназначены для бытового использования и очистки питьевой воды, а также эффективно обессоливают подземные и минерализованные воды, удаляя до 90–99 % вредных минералов, тяжелых металлов, вирусов и бактерий [9].

Основными сферами применения систем обратного осмоса являются подготовка (обессоливание) воды для технологических процессов в пищевой, сельскохозяйственной, химической, гальванической, микроэлектронной и фармакологической промышленности.

Исходя из целей прикладного проекта, для очистки минерализованных вод была использована установка серии «ТК» производительностью 500 л/ч (рис. 1), произведенная на предприятии «Turon Komplekt» в Ромитанском районе Бухарской области.

Процесс очистки и опреснения воды в используемой установке осуществляется в пять последовательных этапов, основанных на принципах механической, физико-химической и мембранной фильтрации.

Грубая очистка (фильтрация через кварцевый песок). Данный этап основан на механической фильтрации через слой кварцевого песка с калиброванным гранулометрическим составом.

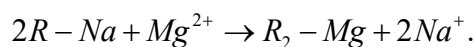
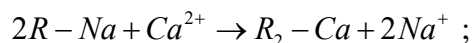
Механизмы фильтрации: сетчатый эффект (Straining): удержание частиц, размер которых превышает поры фильтра. Инерционное соударение: отклонение тяжелых частиц от линии тока воды под действием инерции.

Адсорбционно-интервенционный механизм: прилипание мелких частиц к поверхности зерен песка. Эффективность: удаление взвешенных веществ (SS), снижение мутности и частичное удержание коллоидных частиц. Это защищает последующие узлы от преждевременного загрязнения [10].

Сорбционная фильтрация (активированный уголь). Процесс основан на адсорбции загрязняющих веществ. Свойства: благодаря высокой удельной поверхности

активированного угля ($\approx 800\text{--}1200 \text{ м}^2/\text{г}$) эффективно удерживаются органические соединения, активный хлор и хлорорганические примеси, а также устраняются неприятные запахи и цветность. Механизмы: силы Ван-дер-Ваальса, физическая адсорбция и частичная хемосорбция. Значимость: удаление свободного хлора предотвращает окислительную деградацию полимерной мембраны обратного осмоса [11].

Умягчение воды (ионный обмен на катионите). Процесс направлен на снижение жесткости воды. Используется сильнокислотный катионит в R-Na-форме. Химизм процесса:



Результат: ионы жесткости (Ca^{2+} , Mg^{2+}) замещаются ионами натрия. Это предотвращает образование отложений солей $CaCO_3$ и $CaSO_4$ на поверхности мембраны.

Тонкая очистка (5-микронный полипропиленовый картридж). Относится к микрофильтрации. Механизм: глубинная фильтрация с порогом удержания $\sim 5 \text{ мкм}$. Функция: удержание остаточных взвесей, мелкого песка, ржавчины и угольной пыли. Оптимизирует показатель мутности и индекс плотности ила (SDI), что критически важно для долговечности мембраны [12, 13].

Обратный осмос (RO-мембрана). Ключевой этап системы, основанный на мембранном разделении под высоким давлением. Физическая сущность: в отличие от естественного осмоса, где растворитель перемещается в сторону большей концентрации, в процессе RO под воздействием внешнего давления, превышающего осмотическое, вода проходит через полупроницаемую мембрану в обратном направлении. Принцип действия: полупроницаемая мембрана пропускает молекулы воды, но задерживает 95–99 % растворенных солей. Выход: разделение исходного потока на пермеат (опресненная вода) и концентрат (рассол, направляемый в дренаж) [11, 14].

Сравнительный химический анализ исходной (дренажной) воды и пермеата установки обратного осмоса позволил оценить эффективность очистки по основным показателям.

Сравнительный анализ показал, что установка обратного осмоса обеспечила снижение общей минерализации (TDS) исходной дренажной воды с 4061,0 до 1035,0 мг/л, что соответствует степени очистки около 74,5 % (табл. 1).

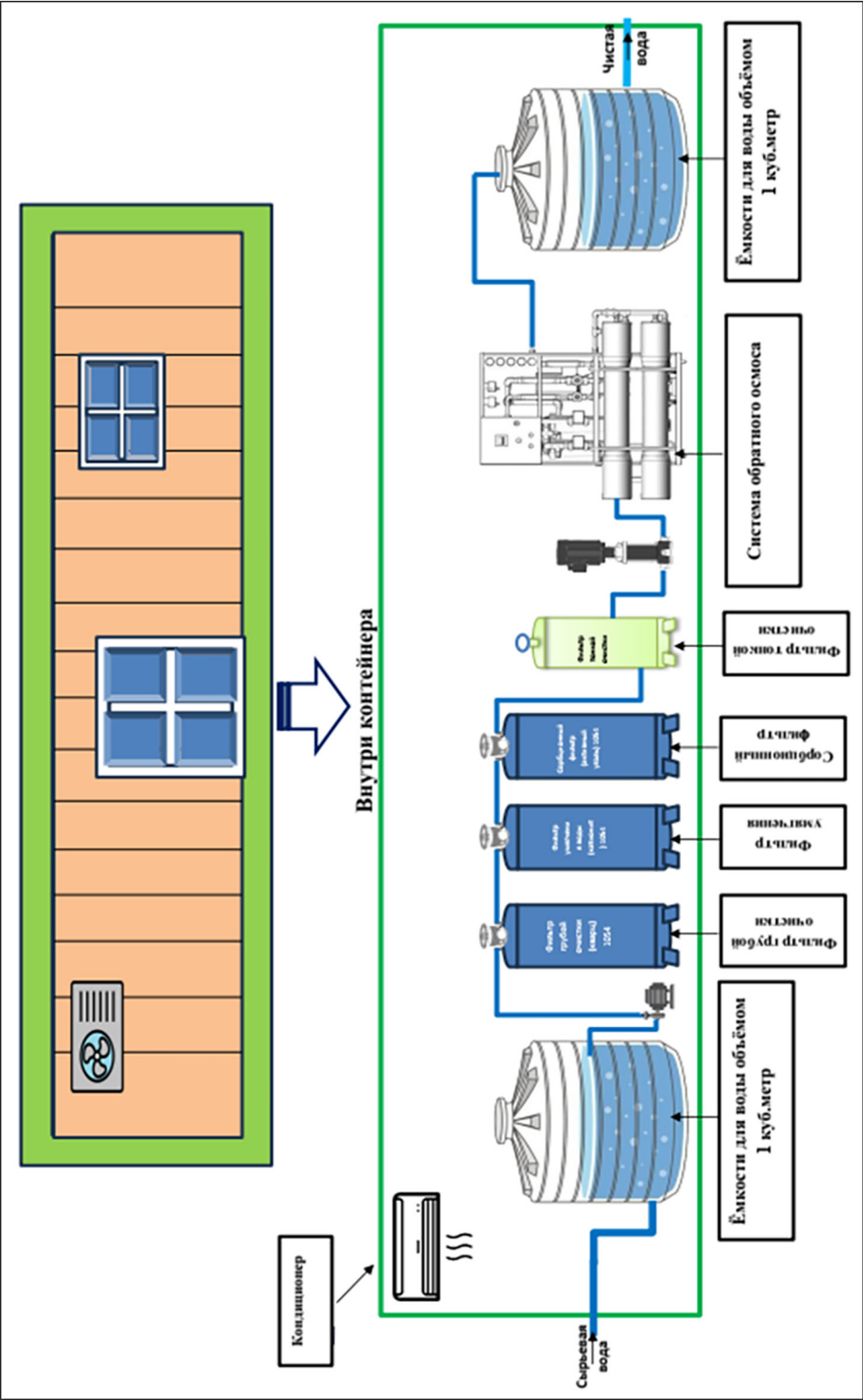


Рис. 1. Технологическая схема мобильной установки обратного осмоса серии «ТК» производительностью 500 л/ч
Примечание: составлен авторами на основе данных ООО «Титон Комплекс»

Таблица 1

Химический состав исходной (дренажной) воды
и пермеата установки обратного осмоса

Показатель	Дренажная вода (коллектор Туранги-сака)	Пермеат RO
Сухой остаток, г/л	4,187	1,159
HCO ₃ ⁻ , г/л	0,547	0,378
Cl ⁻ , г/л	0,681	0,108
SO ₄ ²⁻ , г/л	1,698	0,302
Ca ²⁺ , г/л	0,118	0,092
Mg ²⁺ , г/л	0,347	0,108
Na ⁺ , г/л	0,670	0,047
SAR	7,02	0,79
Общая жесткость, ppm	1722,4	674,0
TDS, г/л	4,061	1,035

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

Наиболее выраженное снижение отмечено по содержанию хлоридов (с 681,0 до 108,0 мг/л, на 84,1 %) и сульфатов (с 1698,0 до 302,0 мг/л, на 82,2 %). Показатель SAR (Sodium Adsorption Ratio) снизился с 7,02 до 0,79, что отражает существенное уменьшение натриевой нагрузки на почву и снижает риск осолонцевания при использовании пермеата для промывки.

Снижение показателя SAR с 7,02 до 0,79 согласуется с современными критериями оценки качества оросительной воды [15], согласно которым более низкие значения SAR соответствуют снижению риску осолонцевания почв. Образующийся при опреснении концентрат (рассол) требует отдельного контролируемого управления во избежание вторичного засоления территории при его сбросе в дренажную сеть [16].

На орошаемых землях накопление солей под воздействием антропогенных факторов и возникновение процессов вторичного засоления, а также степень их интенсивности напрямую зависят от ряда факторов. К ним относятся: качество поливных вод; концентрация почвенного раствора; состояние и параметры грунтовых вод; рельеф местности и геоморфолого-литологические условия; степень дренированной территории; ирригационно-хозяйственные условия; виды сельскохозяйственных культур и нормы орошения. Динамика гидрогеологических параметров и химический состав грунтовых вод находятся в прямой зависимости от синергетического воздействия вышеуказанных факторов, что проявляется в сезонной флуктуации уровня минерализации.

Результаты исследований авторов по применению интегрированных техноло-

гий борьбы с первичным засолением, проведенных на опытных полях Хорезмского филиала, показали, что уровень залегания грунтовых вод колебался в пределах 150–165 см. При этом степень минерализации составила 3,308–3,654 г/л, что согласно классификации минерализации вод В. А. Приклонского (в модификации О. К. Комилова и А. У. Ахмедова) позволило классифицировать их как группу среднеминерализованных (3–10 г/л) грунтовых вод. В пробах воды, отобранных из почвенных разрезов, содержание иона HCO₃ варьировалось в пределах 0,473–0,511 г/л, иона Cl 0,517–0,597 г/л, иона SO₄ 1,214–1,449 г/л. Содержание легкорастворимого Ca в воде на разрезах опытных участков составило 0,194–0,282 г/л (табл. 2).

Установлено, что минерализация дренажных вод коллектора Туранги-сака, обеспечивающего опытный участок, составляет 4,187 г/л, что относится к группе среднеминерализованных вод (3–10 г/л). Минерализация оросительных вод левобережной системы Амударьи (А-22:03-3641) классифицируется как слабая (1–3 г/л) с содержанием сухого остатка 1,124 г/л. Тип засоления во всех случаях определен как хлоридно-сульфатный, а в катионном составе преобладают магний и кальций.

Сравнительный анализ среднего содержания солей в слое почвы 0–100 см до и после применения технологии обратного осмоса показал значительную эффективность метода. Исходное содержание сухого остатка в почве опытных участков варьировалось в пределах 0,217–0,722 %, а после проведения промывки опресненной водой составило 0,168–0,626 %.

Таблица 2

Глубина залегания грунтовых вод, степень минерализации и химический состав дренажных и оросительных вод на орошаемых землях учебных опытных участков Хорезма

Разрез №	Глубина, см	Сухой остаток	Общий HCO ₃	Cl	SO ₄	Ca	Mg	Na	По анионам	По катионам	Степень минерализации
		г/л							тип		
Грунтовые воды											
2V	150-165	3,420	0,478	0,522	1,324	0,282	0,201	0,449	Cl-SO ₄	Mg-Ca	Средняя
6V	150-165	3,308	0,511	0,557	1,214	0,258	0,245	0,376	Cl-SO ₄	Mg-Ca	Средняя
7V	150-165	3,654	0,500	0,597	1,449	0,214	0,288	0,480	Cl-SO ₄	Mg-Ca	Средняя
12V	150-165	3,399	0,473	0,517	1,313	0,279	0,199	0,445	Cl-SO ₄	Mg-Ca	Средняя
22V	150-165	3,458	0,476	0,556	1,320	0,194	0,220	0,534	Cl-SO ₄	Mg-Ca	Средняя
Дренажные воды											
Туранги-сака		4,187	0,547	0,681	1,698	0,118	0,347	0,670	Cl-SO ₄	Mg-Ca	Средняя
Оросительные воды											
А-22:03-3641 Амударьинская ирригационная система		1,124	0,378	0,108	0,302	0,092	0,108	0,047	Cl-SO ₄	Mg-Ca	Слабая

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

Таблица 3

Результаты расчета и сравнительного анализа влияния технологии обратного осмоса на мелиоративное состояние орошаемых лугово-аллювиальных почв учебного опытного участка

Разрез №	Глубина, см (средние значения)	Период исследования	Сухой остаток	HCO ₃	Cl	SO ₄	Ca	Mg	Na	Засоление	
			%								Тип
Участки, на которых проводилась промывка почв водой, очищенной методом обратного осмоса											
2V	0–100	До	0,722	0,022	0,084	0,397	0,109	0,035	0,061	X-C	Средняя
		После	0,626	0,022	0,077	0,334	0,107	0,035	0,029	X-C	Средняя
Снижение (%)		Σ	13,2	–	7,4	16,0	1,4	–	52,5	X-C	Средняя
6V	0–100	До	0,217	0,018	0,020	0,104	0,011	0,003	0,051	X-C	Слабая
		После	0,168	0,016	0,017	0,072	0,009	0,003	0,035	X-C	Слабая
Снижение (%)		Σ	22,7	6,9	12,7	30,4	14,2	–	30,1	X-C	Слабая
7V	0–100	До	0,399	0,027	0,049	0,198	0,056	0,015	0,044	X-C	Средняя
		После	0,321	0,026	0,043	0,161	0,048	0,014	0,032	X-C	Средняя
Снижение (%)		Σ	19,5	4,6	12,5	18,8	14,1	5,0	26,8	X-C	Средняя
12V	0–100	До	0,546	0,022	0,063	0,300	0,061	0,039	0,049	X-C	Средняя
		После	0,413	0,020	0,051	0,225	0,047	0,030	0,037	X-C	Средняя
Снижение (%)		Σ	24,3	8,3	19,6	24,9	23,0	22,2	24,0	X-C	Средняя
22V	0–100	До	0,469	0,026	0,072	0,204	0,078	0,007	0,052	X-C	Средняя
		После	0,375	0,024	0,061	0,169	0,064	0,006	0,045	X-C	Средняя
Снижение (%)		Σ	20,0	7,7	15,3	17,3	17,7	9,3	14,9	X-C	Средняя
Участки с традиционным способом промывки											
29V Участки с использованием оросительных и дренажных вод		До	0,918	0,033	0,140	0,431	0,019	0,007	0,274	X-C	Средняя
		После	1,042	0,030	0,138	0,506	0,016	0,007	0,312	X-C	Сильная
Снижение (%)		Σ	-13,5	8,8	1,2	-17,5	13,9	8,1	-13,9	X-C	Сильная

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

При этом наблюдалось пропорциональное снижение содержания всех остальных химических элементов. В сравнении с участками, где промывка осуществлялась обычными оросительными и дренажными водами, использование воды, очищенной методом обратного осмоса, продемонстрировало более высокую мелиоративную эффективность.

Согласно полученным результатам, на всех опытных участках, где проводилась промывка почв водой, опресненной с использованием технологии обратного осмоса, наблюдалось устойчивое снижение содержания сухого остатка. В частности, было установлено уменьшение минерализации в разрезе 2V с 0,722 до 0,626 %, в разрезе 6V – с 0,217 до 0,168 %, в разрезе 7V – с 0,399 до 0,321 %, в разрезе 12V – с 0,546 до 0,413 %, а на участке 22V содержание сухого остатка снизилось с 0,469 до 0,375 %.

При сравнении эффективности технологии обратного осмоса на контрольных участках была зафиксирована обратная тенденция. В частности, на участке 29V отмечено увеличение содержания сухого остатка с 0,918 до 1,042 %. Данный факт при сопоставлении с опытными вариантами указывает на наличие существенной разницы в динамике солевого режима и подтверждает высокую мелиоративную значимость применения опресненной воды (табл. 3).

Статистический анализ данных показал, что среднее содержание солей в почве после промывки опресненной водой снизилось на 18,9 %. При этом уменьшение стандартного отклонения (с 0,186 до 0,166) указывает на выравнивание солевого режима по всему опытному участку (табл. 4).

Для более наглядного представления изменений содержания сухого остатка в почве под воздействием технологии обратного осмоса, средние значения и их распределение были отображены на диаграмме. Как видно из представленных данных, после применения обратного осмоса содержание сухого остатка существенно снизилось. Применение парного t-критерия Стьюдента для пяти опытных делянок (2V, 6V, 7V, 12V, 22V) подтвердило статистическую значимость снижения содержания сухого остатка после промывки опресненной водой ($t = 6,59$; $df = 4$; $p \approx 0,003$), что указывает на устойчивый, неслучайный характер наблюдаемого эффекта в пределах исследованной выборки. При этом следует учитывать, что контрольный вариант (29V) был представлен лишь одной делянкой, что не позволяет провести формальное статистическое сравнение между опытной и контрольной группами; сопоставление с контролем носит описательный характер и требует подтверждения на расширенной выборке в последующих исследованиях.

Таблица 4

Статистические показатели изменения содержания сухого остатка в почве

Период исследования	Среднее значение	Стандартное отклонение	Минимальное значение	Максимальное значение
Участки с применением технологии				
До промывки (Сухой остаток, %)	0,470	0,186	0,217	0,722
После промывки (Сухой остаток, %)	0,381	0,166	0,168	0,626

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

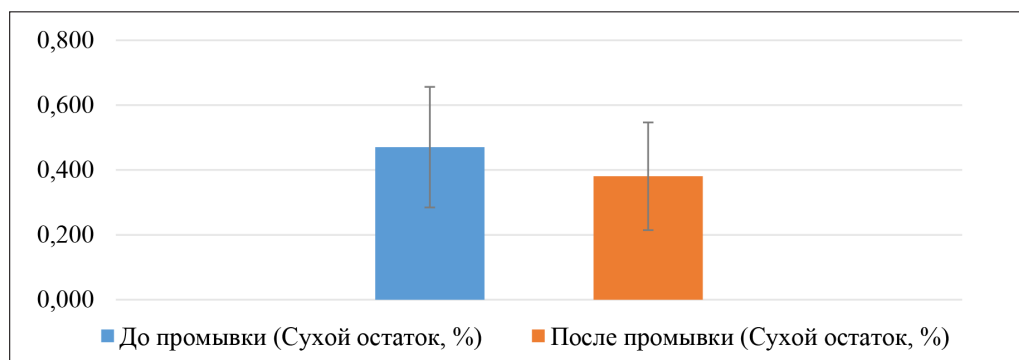


Рис. 2. Динамика изменения содержания сухого остатка в почве до и после промывки опресненной водой

Примечание: составлен авторами по результатам данного исследования

Полученные результаты предварительно свидетельствуют о потенциальной эффективности технологии обратного осмоса в снижении содержания солей в почве (рис. 2).

Ограничения исследования. Представленные результаты носят предварительный характер и получены на ограниченной выборке (пять опытных делянок и одна контрольная, без внутريدеляночной повторности), в течение одного промывного цикла, на одном опытном участке Ургенчского района. Гидравлические и энергетические параметры установки (рабочее давление, recovery rate, удельный расход энергии), а также данные по урожайности и экономической эффективности применения технологии не были включены в рамки данного этапа исследования и подлежат уточнению в последующих публикациях.

Заключение

На основании проведенных исследований установлено следующее.

Эффективность опреснения. Технология обратного осмоса предварительно продемонстрировала высокую эффективность в подготовке промывных вод – содержание общей минерализации (TDS) исходной дренажной воды снизилось с 4061,0 до 1035,0 мг/л (на 74,5 %). Это позволяет рассматривать местные минерализованные подземные и дренажные воды как потенциальный ресурс для мелиорации в условиях дефицита пресной воды.

Мелиоративный эффект. Промывка почв опресненной водой привела к существенному снижению содержания сухого остатка в слое 0–100 см – в среднем на 18,9 %. В частности, зафиксировано снижение минерализации на опытных участках с исходных 0,470 до 0,381 %.

Преимущество перед традиционными методами. В отличие от опытных участков, на контрольных вариантах (без применения РО-технологии) наблюдалась тенденция к вторичному засолению, где содержание сухого остатка увеличилось с 0,918 до 1,042 %. Это подтверждает, что использование воды с высокой минерализацией для промывки может быть неэффективным и приводить к ухудшению состояния почв.

Список литературы

1. Honarparvar S., Zhang X., Chen T., Alborzi A., Afroz K., Reible D. Frontiers of Membrane Desalination Processes for Brackish Water Treatment: A Review // *Membranes*. 2021.

Vol. 11. Is. 4. P. 246. URL: <https://www.mdpi.com/2077-0375/11/4/246> (дата обращения: 21.06.2026). DOI: 10.3390/membranes11040246.

2. Somashekara V., Vivek Anand A., Hariprasada V., Elsehly E. M., Kapulu M. Advancements in saline water treatment: a review // *Water Reuse*. 2023. Vol. 13. Is. 3. P. 475–491. DOI: 10.2166/wrd.2023.065.

3. Alqaed S., Mustafa J., Almeahmadi F. A. Design and Energy Requirements of a Photovoltaic-Thermal Powered Water Desalination Plant for the Middle East // *International Journal of Environmental Research and Public Health*. 2021. Vol. 18. Is. 3. Article 1001. DOI: 10.3390/ijerph18031001.

4. Панкова Е. И. Засоление орошаемых почв среднеазиатского региона: старые и новые проблемы // *Аридные экосистемы*. 2016. Т. 22. № 4 (69). С. 21–29.

5. Аринушкина Е. В. Руководство по химическому анализу почв. 2-е изд., перераб. и доп. М.: Изд-во МГУ, 1970. 489 с.

6. Доспехов Б. А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). М.: Агропромиздат, 1985. 351 с.

7. Рузметов М. И., Ахмедов А. У., Мырзамбетов А. Б., Турдалиев Ж. М. Причины засоления и современное почвенно-экологическое состояние орошаемых земель низовьев Амударьи // *Научное обозрение. Биологические науки*. 2019. № 3. С. 37–41. URL: <https://science-biology.ru/ru/article/view?id=1159> (дата обращения: 23.06.2026).

8. Kdirbaeva G. U. Suv tanqisligi sharoitida qishloq xo'jaligi ixtisoslashuvini takomillashtirish orqali yerdan samarali foydalanish // *O'zbekiston Zamini = Земля Узбекистана = Land of Uzbekistan*. 2025. № 2. С. 50–54. URL: <https://uzzamin.uz/uz/magazines/2-2025-2025-uzzamin.pdf> (дата обращения: 23.06.2026).

9. Cao Y., Taghvaie Nakhjiri A., Ghadiri M. Membrane desalination for water treatment: recent developments, techno-economic evaluation and innovative approaches toward water sustainability // *European Physical Journal Plus*. 2022. Vol. 137. Art. 763. DOI: 10.1140/epjp/s13360-022-02999-8.

10. Hafiz M. A., Hawari A. H., Yasir A. T., Alfahel R., Hassan M. K., Altaee A. Impact of High Turbidity on Reverse Osmosis: Evaluation of Pretreatment Processes // *Desalination and Water Treatment*. 2020. Vol. 208. P. 96–103. DOI: 10.5004/dwt.2020.26476.

11. Bolisetty S., Peydayesh M., Mezzenga R. Sustainable Technologies for Water Purification from Heavy Metals: Review and Analysis // *Chemical Society Reviews*. 2019. Vol. 48. Is. 2. P. 463–487. DOI: 10.1039/C8CS00493E.

12. Fayaz S. M. H., Mafigholami R., Razavian F., Ghasemi-panah K. Control of Silt Density Index of Osmosis Membranes Through Chlorine Injection and Its Effect on Cartridge Filter Replacement Period // *Jundishapur Journal of Health Sciences*. 2019. Vol. 11 (1). P. e84966. DOI: 10.5812/jjhs.84966.

13. Anis S. F., Hashaikh R., Hilal N. Reverse osmosis pretreatment technologies and future trends: A comprehensive review // *Desalination*. 2019. Vol. 452. P. 159–195. DOI: 10.1016/j.desal.2018.11.006.

14. Jones E., Qadir M., van Vliet M. T. H., Smakhtin V., Kang S. M. The State of Desalination and Brine Production: A Global Outlook // *Science of the Total Environment*. 2019. Vol. 657. P. 1343–1356. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2018.12.076.

15. Anyango G. W., Bhowmick G. D., Bhattacharya N. S. A Critical Review of Irrigation Water Quality Index and Water Quality Management Practices in Micro-Irrigation for Efficient Policy Making // *Desalination and Water Treatment*. 2024. Vol. 318. Art. 100304. DOI: 10.1016/j.dwt.2024.100304.

16. Valdés H., Saavedra A., Flores M., Vera-Puerto I., Aviña H., Belmonte M. Reverse Osmosis Concentrate: Physicochemical Characteristics, Environmental Impact, and Technologies // *Membranes*. 2021. Vol. 11. Is. 10. Art. 753. DOI: 10.3390/membranes11100753.

Конфликт интересов: Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

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

Финансирование: Работа выполнена в рамках прикладного проекта AL-9124093960 «Разработка интегрированной агротехнологии борьбы с засолением почв».

Financing: This work was supported by the applied research project AL-9124093960 "Development of integrated agrotechnology for combating soil salinization".



БИОЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ И ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗНАЧЕНИЕ ДОМАШНЕГО СВЕРЧКА *ACHETA DOMESTICUS* (LINNAEUS, 1758) (ORTHOPTERA, GRYLLIDAE)

Уралова Д. А. ORCID ID 0009-0008-5698-5597,
Рахимов М. Ш. ORCID ID 0009-0004-9872-3318

Национальный университет Узбекистана имени Мирзо Улугбека, Ташкент, Узбекистан,
e-mail: dildorauralova554@gmail.com

В данной статье представлены результаты исследования морфологических особенностей, жизненного цикла и выживаемости домашнего сверчка *Acheta domesticus* (Linnaeus, 1758) в лабораторных условиях в Ташкентской области. Материал был собран в природных условиях и содержался в лаборатории в зимний, весенний, летний и осенний периоды 2025 года, а также в зимний и весенний периоды 2026 года. Основные эксперименты проводились в лабораторных условиях, где насекомые содержались в пластиковых контейнерах с фильтровальной бумагой и увлажнённым субстратом. Были определены морфометрические показатели имаго, продолжительность развития яиц при различных сочетаниях температуры и влажности, а также процент вылупления. Оценивались продолжительность стадий нимф L1–L5 и выживаемость имаго при четырёх различных рационах питания. Наиболее высокий показатель вылупления яиц составил 85–95% при температуре 30 °C и относительной влажности 65%. Общая продолжительность стадий L1–L5 составила 40–45 суток, а период от откладки яиц до появления имаго 47–55 суток. Наиболее высокая выживаемость (95%) была отмечена при рационе, состоящем из 35% пшеничных отрубей, 30% варёного куриного мяса и 35% кабачка или листьев салата. Полученные результаты ограничиваются условиями проведённого эксперимента; пищевая ценность, безопасность пищевых продуктов, а также безопасность использования вида в качестве корма для животных или пищи для человека в данном исследовании не оценивались.

Ключевые слова: *Acheta domesticus* (Linnaeus, 1758), домашний сверчок, биоэкология, морфология, жизненный цикл, выживаемость, Gryllidae

Благодарности. Авторы выражают искреннюю благодарность кафедре зоологии Национального университета Узбекистана за предоставленную возможность проведения исследований, а также всем сотрудникам, оказавшим консультативную и организационную поддержку в ходе выполнения работы. Авторы также благодарят специалистов и коллег, принимавших участие в сборе и обработке материала.

BIOECOLOGICAL FEATURES AND PRACTICAL SIGNIFICANCE OF THE HOUSE CRICKET *ACHETA DOMESTICUS* (LINNAEUS, 1758) (ORTHOPTERA, GRYLLIDAE)

Uralova D. A. ORCID ID 0009-0008-5698-5597,
Rakhimov M. Sh. ORCID ID 0009-0004-9872-3318

Mirzo Ulugbek National University of Uzbekistan, Tashkent, Uzbekistan,
e-mail: dildorauralova554@gmail.com

This article presents the results of a study on the morphological characteristics, life cycle, and survival of the house cricket *Acheta domesticus* (Linnaeus, 1758) under laboratory conditions in the Tashkent Region. The material was collected under natural conditions and maintained in the laboratory during the winter, spring, summer, and autumn periods of 2025, as well as during the winter and spring periods of 2026. The main experiments were conducted under laboratory conditions, where the insects were maintained in plastic containers containing filter paper with a moistened substrate. The morphometric parameters of adults, the duration of egg development under different combinations of temperature and humidity, and the hatching rate were determined. The duration of the L1–L5 nymphal stages and adult survival under four different diets were evaluated. The highest egg hatching rate was 85–95% at a temperature of 30 °C and a relative humidity of 65%. The total duration of the L1–L5 stages was 40–45 days, while the period from egg laying to adult emergence was 47–55 days. The highest survival rate (95%) was recorded with a diet consisting of 35% wheat bran, 30% boiled chicken meat, and 35% zucchini or lettuce leaves. The results are limited to the conditions of the experiment; nutritional value, food safety, and the safety of using the species as animal feed or human food were not evaluated in this study.

Keywords: *Acheta domesticus* (Linnaeus, 1758), house cricket, bioecology, morphology, life cycle, survival, Gryllidae

Acknowledgements: The authors express their sincere gratitude to the Department of Zoology of the National University of Uzbekistan for providing the opportunity to conduct this research. The authors also thank all staff members who provided advisory and organizational support during the course of the study. Special thanks are extended to the specialists and colleagues who participated in the collection and processing of the research materials.

Введение

Домашний сверчок относится к отряду Orthoptera, семейству Gryllidae. В естественных условиях он встречается вблизи мест обитания человека, в теплицах, подвалах, отапливаемых помещениях и других местах с благоприятным микроклиматом. Вид питается различными органическими материалами и характеризуется относительно быстрым развитием [1].

Домашний сверчок имеет практическое значение как объект лабораторного разведения и потенциальный кормовой ресурс. Его биология, разведение и применение в пищевой промышленности изучаются в различных странах [2; 3]. Вместе с тем вопросы пищевой безопасности, микробиологических и токсикологических рисков, а также аллергенности требуют отдельной оценки [4; 5].

В Узбекистане проводятся исследования насекомых, в том числе представителей отряда Orthoptera. Однако исследования, посвящённые комплексному изучению биологических особенностей и выживаемости *Acheta domesticus* (Linnaeus, 1758) в условиях Узбекистана, остаются ограниченными [6; 7].

Цель исследования – изучение морфологических особенностей *Acheta domesticus* (Linnaeus, 1758), продолжительности основных этапов жизненного цикла, а также его выживаемости при различных условиях содержания и кормления в лабораторных условиях.

Материалы и методы исследования

Материал был собран в Ташкентской области в зимний, весенний, летний и осенний периоды 2025 года, а также в зимний и весенний периоды 2026 года. Основная часть экспериментов проводилась в специализированной лаборатории при кафедре зооло-

гии факультета биологии и экологии Национального университета Узбекистана имени Мирзо Улугбека (рисунок). В лаборатории поддерживались температура 25–30 °С, относительная влажность 50–60% и световой режим 12 часов света/12 часов темноты.

Координаты места проведения исследования: 41°20'51.7" северной широты, 69°12'12.1" восточной долготы (город Ташкент, Алмазарский район, улица Фараби, дом 4А).

При сборе особей *Acheta domesticus* (Linnaeus, 1758) использовали световые ловушки, энтомологический сачок диаметром 30–40 см, а также ручной сбор. Собранные особи доставлялись в лабораторию в пластиковых контейнерах. В дальнейшем они содержались в специальных пластиковых инсектариях, содержащих фильтровальную бумагу толщиной 1–3 см, картонные яичные лотки и пшеничные отруби. Фильтровальная бумага использовалась в качестве влагопоглощающего субстрата [8]. Для определения вида использовали морфологические определители и специализированные таксономические источники.

Морфометрические показатели – длину тела, ширину головы, длину груди, длину брюшка, длину усиков, длину ног, длину крыльев и массу тела – измеряли с помощью цифрового штангенциркуля (точность $\pm 0,01$ мм) и электронных весов (точность $\pm 0,001$ г). Каждое измерение проводили в трёх повторностях у 50 самцов и 50 самок. При описании полового диморфизма использовали собственные измерения и литературные данные [9; 10].

Стадии жизненного цикла – яйцо, нимфа и имаго – изучали соответственно на 100 яйцах, 100 нимфах и 100 имаго (50 самцов и 50 самок).



Acheta domesticus (Linnaeus, 1758)

Примечание: фото авторов

Яйца содержались при температурах 20, 25, 30 и 35 °C и различных сочетаниях относительной влажности в диапазоне 40–80%. Для каждого варианта определяли продолжительность развития яиц и процент вылупления. Развитие нимф наблюдали ежедневно, а возрастные стадии L1–L5 выделяли по размерам тела, развитию зачатков крыльев и пигментации [11; 12].

Для изучения влияния рационов на выживаемость 100 имаго (50 самцов и 50 самок) разделили на четыре группы по 25 особей в каждой: 1) оптимальный рацион; 2) углеводный рацион; 3) белковый рацион; 4) смешанный рацион. Основным показателем оценки была выживаемость.

Статистическую обработку проводили с использованием программы Microsoft Excel 2019. Морфометрические показатели представлены в виде среднего значения $\pm$ стандартной ошибки ($\text{mean} \pm \text{SE}$), а результаты по жизненному циклу и выживаемости – в виде диапазонов и процентов. Эксперименты проводили в трёх повторностях. В связи с тем, что исходные данные по индивидуальным повторным измерениям не были представлены в полном объёме, р-значения, доверительные интервалы и размеры эффекта не рассчитывались; поэтому различия между группами не интерпретировались как статистически значимые.

Результаты исследования и их обсуждение

Морфологические особенности

Тело *Acheta domesticus* (Linnaeus, 1758) состоит из трёх отделов: головы, груди

и брюшка. Окраска тела может варьировать от светло-жёлто-коричневой до тёмно-коричневой. Морфометрические показатели, определённые в ходе исследования, представлены в таблице 1.

По результатам описательного анализа самки в среднем были на 1,4 мм длиннее самцов и на 0,09 г тяжелее по массе тела. Длина усиков составляла приблизительно 50% длины тела. Показатель 7,5–7,7 мм, приведённый в таблице для задней ноги, относится ко всей задней ноге, а не только к её бедренной части. Различия в размерах тела между полами свидетельствуют о наличии полового диморфизма [13].

Голова округлая, несколько уплощённая с передней стороны. Ротовой аппарат грызущего типа состоит из лабрума, мандибул, максилл и лабиума. Глаза крупные, фасеточные; простых глазков – 3. Усики длинные, нитевидные, участвуют в выполнении сенсорных функций [14].

Половой диморфизм

Основные морфологические различия между самцами и самками представлены в таблице 2.

Мечевидный яйцеклад длиной 10–15 мм у самок является одним из важных признаков полового диморфизма. Он служит для размещения яиц в субстрате [15].

Жизненный цикл и особенности развития

Стадия яйца

Продолжительность развития яиц до выхода нимф зависела от сочетания температуры и влажности (табл. 3).

Таблица 1

Морфометрические параметры *Acheta domesticus* (Linnaeus, 1758)
(n=50, среднее $\pm$ SE)

Показатель	Самцы ♂	Самки ♀
Длина тела, мм	18,4 $\pm$ 0,3	19,8 $\pm$ 0,4
Ширина головы, мм	4,1 $\pm$ 0,1	4,3 $\pm$ 0,1
Длина груди, мм	5,2 $\pm$ 0,2	5,5 $\pm$ 0,2
Длина брюшка, мм	8,7 $\pm$ 0,2	9,6 $\pm$ 0,3
Длина усиков, мм	11,2 $\pm$ 0,5	10,8 $\pm$ 0,4
Длина передней ноги, мм	4,5 $\pm$ 0,1	4,6 $\pm$ 0,1
Длина средней ноги, мм	6,2 $\pm$ 0,2	6,3 $\pm$ 0,2
Общая длина задней ноги, мм	7,5 $\pm$ 0,2	7,7 $\pm$ 0,2
Длина крыла, мм	14,2 $\pm$ 0,3	13,9 $\pm$ 0,4
Масса тела, г	0,42 $\pm$ 0,02	0,51 $\pm$ 0,03

Примечание: составлено авторами.

Таблица 2

Особенности полового диморфизма *Acheta domesticus* (Linnaeus, 1758)

Признак	Самцы ♂	Самки ♀
Яйцеклад (овипозитор)	Отсутствует	Имеется, 10–15 мм, мечевидный
Последний сегмент брюшка	2 церка	Церки короткие, яйцеклад длиннее
Крылья	Обе пары крыльев полностью развиты	Крылья полностью развиты
Окраска	Тёмно-коричневая, на крыльях светлые полосы	Светло-коричневая, с желтоватым оттенком
Стридуляция	Имеется; для привлечения самки и отпугивания конкурентов	Отсутствует

Примечание: составлено авторами.

Таблица 3

Развитие яиц в зависимости от температуры и влажности

Температура, °C	Влажность, %	Развитие, суток	Вылупление, %
20	70	25–30	35–45
20	60	22–27	45–55
20	80	23–28	50–60
25	40	14–18	65–75
25	60	12–15	75–85
25	80	13–16	70–80
30	55	9–12	75–85
30	65	7–10	85–95
30	70	8–11	80–90
35	40	15–20	60–70
35	45	10–15	65–75
35	55	10–12	55–65

Примечание: составлено авторами.

Таблица 4

Продолжительность возрастных стадий нимф L1–L5

Возрастная стадия	Продолжительность, суток	Длина тела, мм	Особенности
L1 (1-й возраст)	7–8	2,5–3,5	Зачатки крыльев отсутствуют
L2 (2-й возраст)	7–8	4,0–5,5	Появляются зачатки крыльев
L3 (3-й возраст)	9–10	9,0–11,0	Зачатки крыльев увеличиваются
L4 (4-й возраст)	9–10	12,0–14,0	Зачатки крыльев хорошо заметны
L5 (5-й возраст)	8–9	15,0–17,0	Крылья почти полностью развиты

Примечание: составлено авторами.

Согласно данным таблицы 3, продолжительность эмбрионального развития изменялась в зависимости от сочетания температуры и влажности. Наиболее высокий показатель вылупления (85–95%) был от-

мечен при температуре 30 °C и относительной влажности 65%. Таким образом, среди испытанных вариантов именно данная комбинация была наиболее благоприятной для вылупления яиц.

Таблица 5

Выживаемость имаго *Acheta domesticus* (Linnaeus, 1758)
при различных рационах

Рацион	Выживаемость, %
Оптимальный: 35% пшеничных отрубей + 30% варёного куриного мяса + 35% кабачка или листьев салата	95
Углеводный: 35% моркови + 35% огурца + 30% овсяной крупы	40
Белковый: 35% варёного яичного белка + 30% рыбной муки + 35% костной муки	50
Смешанный: 35% пшеничных отрубей + 25% сухого корма для кошек + 40% тыквы	75

Примечание: составлено авторами.

Стадия нимфы

Общая продолжительность нимфальных стадий L1–L5 составила 40–45 суток. Наиболее высокая смертность нимф наблюдалась на стадиях L1 и L2 (30–35%); на последующих стадиях этот показатель снижался до 10–15%.

Следует уточнить, что период от яйца до появления имаго продолжительностью 47–55 суток относится к условиям, при которых эмбриональное развитие составляло 7–10 суток, то есть к варианту с температурой 30 °C и относительной влажностью 65%. С учётом продолжительности нимфальных стадий L1–L5 (40–45 суток) общий период от откладки яйца до появления имаго в данном варианте составил 47–55 суток.

Стадия имаго

После завершения стадии L5 появляется имаго с полностью развитыми крыльями. В настоящем исследовании продолжительность жизни имаго отдельно не определялась как самостоятельный показатель, поэтому данный параметр не используется для расчёта общего жизненного цикла.

Самки в течение жизни откладывали в среднем 200–250 яиц; за одну яйцекладку наблюдалось 35–45 яиц, а интервал между яйцекладками составлял 2–4 суток. Наиболее высокая яйцекладочная активность наблюдалась на 15–25-е сутки после появления имаго.

Период от яйца до появления имаго

На основании непосредственно наблюдавшихся стадий и наиболее благоприятного для вылупления варианта температуры и влажности период от откладки яйца до появления имаго был рассчитан следующим образом: эмбриональное развитие при 30 °C и относительной влажности 65% – 7–10 суток; нимфальные стадии L1–L5 – 40–45 суток.

Таким образом, в данном экспериментальном варианте общий период от откладки яйца до появления имаго составил 47–55 суток. Данное значение не распространяется на все температурно-влажностные варианты, представленные в таблице 3.

Спектр питания и выживаемость

Влияние различных рационов на выживаемость домашнего сверчка представлено в таблице 5. В данном исследовании основным показателем оценки была выживаемость.

В группе с оптимальным рационом выживаемость составила 95%, то есть смертность была 5%. В углеводной, белковой и смешанной группах выживаемость составила соответственно 40, 50 и 75%. Таким образом, именно в условиях данного эксперимента наиболее высокая выживаемость была отмечена при рационе, состоящем из 35% пшеничных отрубей, 30% варёного куриного мяса и 35% кабачка или листьев салата.

Выводы

- Самки *Acheta domesticus* в исследованной выборке были крупнее самцов: длина тела составила $19,8 \pm 0,4$ мм, масса тела $0,51 \pm 0,03$ г. Половой диморфизм проявлялся наличием яйцеклада, особенностями окраски и стридуляции.

- Среди исследованных вариантов температуры и влажности наиболее высокий показатель вылупления яиц (85–95%) наблюдался при температуре 30 °C и относительной влажности 65%. Продолжительность эмбрионального развития при данном сочетании условий составила 7–10 суток.

- Общая продолжительность нимфальных стадий L1–L5 составила 40–45 суток. При наиболее благоприятном для вылупления варианте (30 °C и 65% относительной влажности) общий период от откладки яйца до появления имаго составил 47–55 суток.

• Среди исследованных рационов наиболее высокая выживаемость (95%) была отмечена при рационе, состоящем из 35% пшеничных отрубей, 30% варёного куриного мяса и 35% кабачка или листьев салата.

Список литературы

1. Raximov M. Sh., Uralova D. A. Bioecological characteristics and practical importance of the house cricket *Acheta domestica* L. // Modern Biology and Genetics. 2025. № 1(11). P. 110–115. URL: modernbiologyandgenetics@gmail.com (дата обращения: 13.05.2026).
2. Uralova D., Raximov M. *Acheta domestica* L. – uy chirildog'ining morfologik tasnifi // O'zbekiston Milliy Universiteti Xabarlari. 2026. № 1. P. 119–124. URL: https://journals.nuu.uz/index.php/actanuuz/issue/view/230/724 (дата обращения: 10.02.2026).
3. Vale-Hagan W., Singhal S., Grigoletto I., Totaro-Fila C., Theodoridou K., Koidis A. Edible insects in mixed-sourced protein meals for animal feed and food: An EU focus // Food and Humanity. 2023. Vol. 1. P. 1180–1187. DOI: 10.1016/j.foohum.
4. Uralova D. A., Raximov M. Sh., Ochilov L. X. *Acheta domestica* (Linnaeus, 1758) – uy chirildog'ining rivojlanish sikliga ozuqa mahsulotlarining ta'siri // Xorazm Ma'mun Akademiyasi Axborotnomasi. 2025. № 12/1. P. 119. URL: https://mamun.uz (дата обращения: 15.01.2026).
5. Clifford C. W., Woodring J. P. Methods for rearing the house cricket, *Acheta domestica* (L.), along with baseline values for feeding rates, growth rates, development times, and blood composition // Journal of Applied Entomology. 1990. DOI: 10.1111/j.1439-0418.1990.tb00012.x.
6. Khalillayev S. A., Abdullaev I. I., Kholmatov B. R., Mirzaeva G. S. Taxonomic species composition of Orthoptera insects (Insecta: Orthoptera) in mountain and sub-mountain regions of Surkhandarya region and their distribution in agrocenoses // International Journal of Genetic Engineering. 2024. Vol. 12. № 6. P. 131–137. DOI: 10.5923/j.ijge.20241206.13. URL: http://article.sapub.org/10.5923/j.ijge.20241206.13.html (дата обращения: 04.04.2026).
7. Xusanova I. M., Usmonjonova O. K. Analysis of Orthoptera in the territory of Central Uzbekistan // Texas Journal of Agriculture and Biological Sciences. 2023. URL: https://zien-journals.com (дата обращения: 25.02.2026).
8. Kieruzel M. The selection of shelter place by the house cricket // Acta Neurobiol Exp (Wars). 1976. Vol. 36. № 5. P. 561–580. URL: https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/1007977/ (дата обращения: 04.04.2026).
9. Walker S. E., Roberts J. A., Adame I., Collins C. J., Lim D. Heads up: sexual dimorphism in house crickets (*Acheta domestica*) // Canadian Journal of Zoology. 2008. DOI: 10.1139/Z08-001.
10. del Castillo R. The quantitative genetic basis of female and male body size and their implications on the evolution of body size dimorphism in the house cricket *Acheta domestica* (Gryllidae) // Genetics and Molecular Biology. 2005. Vol. 28. № 4. P. 843–848. DOI: 10.1590/s1415-47572005000500030.
11. Clifford C. W., Roe R. M., Woodring J. P. Rearing methods for obtaining house crickets, *Acheta domestica*, of known age, sex, and instar // Annals of the Entomological Society of America. 1977. Vol. 70. № 1. P. 69. DOI: 10.1093/aesa/70.1.69. URL: https://academic.oup.com/aesa/article-abstract/70/1/69/8833 (дата обращения: 14.05.2026).
12. Liao G. Y., Dai S., Bae E., Singh S., Klug J., Pettan-Brewer C., Ladiges W. Morphological features of the domestic house cricket (*Acheta domestica*) for translational aging studies // GeroScience. 2025. Vol. 47. P. 6487–6511. DOI: 10.1007/s11357-025-01711-9.
13. Douan B. G., Doumbia M., Kwadjo K. E., Kra K. D. Morphological description of the house cricket (*Acheta domestica* Linnaeus, 1758; Orthoptera: Gryllidae) egg in captivity // International Journal of Tropical Insect Science. 2021. Vol. 41. № 3. DOI: 10.1007/s42690-020-00338-x.
14. Shields V. D., Weaver C. E., Farmer S. Functional morphology of sensory organs of the house cricket, *Acheta domestica* (L.): a morphological and physiological investigation // The FASEB Journal. 2022. Vol. 36. Is. S1. DOI: 10.1096/fasebj.2022.36.S1.R6108.
15. Tanis B. P., Bott B., Gaston B. J. Sex-based differences in anti-predator response of crickets to chemical cues of a mammalian predator // PeerJ. 2018. Vol. 6. e4923. DOI: 10.7717/peerj.4923.

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.



МАКРО- И МИКРОМОРФОЛОГИЧЕСКОЕ СТРОЕНИЕ МАКРОМИЦЕТА *LENTINUS TIGRINUS* (BULL.) FR.

¹Шерманова М. Н. ORCID ID 0009-0002-9319-0642,

¹Шеркулова Ж. П. ORCID ID 0000-0003-0588-9614,

²Узаков З. З. ORCID ID 0000-0001-6284-2383

¹Каршинский государственный университет, Карши, Республика Узбекистан;

²Каршинский государственный технический университет,

Карши, Республика Узбекистан, e-mail: uzakovzafar40@gmail.com

В настоящем исследовании проведено комплексное изучение макроморфологических, микроморфологических и культуральных особенностей макромицета *Lentinus tigrinus* (Bull.) Fr., собранного на территории Кашкадарьинской области Республики Узбекистан. Образцы гриба были собраны на стволах срубленных деревьев родов *Populus* spp. и *Salix* spp. и исследованы по комплексу признаков, включая внешнюю морфологию плодовых тел, морфометрические характеристики базидиоспор, микроморфологию поверхности плодового тела с использованием сканирующей электронной микроскопии, а также культуральные свойства чистого isolata. Установлено, что плодовые тела характеризуются воронковидной шляпкой, поверхность шляпки и ножки покрыта коричневыми чешуйками, а пластинки являются нисбегающими по ножке. Микроморфологический анализ показал, что базидиоспоры бесцветные, гладкостенные, эллипсоидальной или короткоцилиндрической формы. При морфометрическом анализе 30 базидиоспор ($n = 30$) определено, что их длина составила 6,0–10,4 мкм, ширина – 3,4–5,2 мкм; средняя длина составила $8,54 \pm 1,13$ мкм, средняя ширина – $4,47 \pm 0,50$ мкм. Исследование методом сканирующей электронной микроскопии выявило плотный, компактный и складчатый микрорельеф поверхности плодового тела. Культуральные исследования показали, что мицелий *L. tigrinus* на картофельно-декстрозном агаре формирует белые, плотные и воздушные колонии, тогда как в жидкой питательной среде образует гранулированные и ватообразные агрегаты. При культивировании при температуре 25–30 °C, pH 6,0 и скорости перемешивания 140 об./мин. выход мицелиальной биомассы в 100 мл питательной среды составил $0,44 \pm 0,04$ г ($n = 3$). Полученные результаты могут рассматриваться как исходная характеристика морфологических и культуральных особенностей isolata *L. tigrinus* и могут быть использованы при планировании последующих исследований его культуральных и биотехнологически значимых свойств.

Ключевые слова: *Lentinus tigrinus*, макроморфология, микроморфология, базидиоспоры, сканирующая электронная микроскопия, чистая культура, мицелий, биотехнология

Благодарности. Авторы выражают искреннюю признательность сотрудникам Каршинского государственного университета и Каршинского государственного технического университета за оказанную научно-методическую поддержку, содействие в проведении лабораторных исследований и консультации при обработке и интерпретации результатов исследования.

MACRO- AND MICROMORPHOLOGICAL STRUCTURE OF THE MACROFUNGUS *LENTINUS TIGRINUS* (BULL.) FR.

¹Shermanova M. N. ORCID ID 0009-0002-9319-0642,

¹Sherkulova J. P. ORCID ID 0000-0003-0588-9614,

²Uzakov Z. Z. ORCID ID 0000-0001-6284-2383

¹Karshi State University, Karshi, Uzbekistan;

²Karshi State Technical University, Karshi, Uzbekistan, e-mail: uzakovzafar40@gmail.com

This study presents a comprehensive investigation of the macromorphological, micromorphological, and cultural characteristics of the macrofungus *Lentinus tigrinus* (Bull.) Fr., collected in the Kashkadarya Region of the Republic of Uzbekistan. The fungal specimens were collected from the trunks of felled trees belonging to the genera *Populus* and *Salix* and examined based on a range of characteristics, including the external morphology of the fruiting bodies, morphometric characteristics of the basidiospores, the micromorphology of the fruiting body surface using scanning electron microscopy, and the cultural properties of a pure isolate. The fruiting bodies were characterized by a funnel-shaped pileus, a pileus and stipe surface covered with brown scales, and lamellae that were decurrent along the stipe. Micromorphological analysis showed that the basidiospores were hyaline, smooth-walled, and ellipsoidal or short-cylindrical in shape. Morphometric analysis of 30 basidiospores ($n = 30$) showed a length of 6.0–10.4 μm and a width of 3.4–5.2 μm ; the mean length was 8.54 ± 1.13 μm , and the mean width was 4.47 ± 0.50 μm . Examination by scanning electron microscopy revealed a dense, compact, and folded microrelief of the fruiting body surface. Cultural studies showed that the mycelium of *L. tigrinus* formed white, dense, and aerial colonies on potato dextrose agar, whereas in liquid nutrient medium it formed granular and cotton-like aggregates. When cultivated at a temperature of 25–30 °C, pH 6.0, and a shaking speed of 140 rpm, the mycelial biomass yield in 100 mL of nutrient medium was 0.44 ± 0.04 g ($n = 3$). The results obtained may be considered a baseline characterization of the morphological and cultural features of the *L. tigrinus* isolate and may be useful for planning further studies of its cultural and biotechnologically relevant properties.

Keywords: *Lentinus tigrinus*, macromorphology, micromorphology, basidiospores, scanning electron microscopy, pure culture, mycelium, biotechnology

Acknowledgements. The authors express their sincere gratitude to the staff of Karshi State University and Karshi State Technical University for their scientific and methodological support, assistance in conducting the laboratory research, and valuable consultations during the processing and interpretation of the research results.

Введение

Род *Lentinus* относится к отделу *Basidiomycota* и представлен преимущественно сапротрофными грибами, участвующими в разложении древесных остатков [1]. В естественных условиях представители данного рода встречаются на сухостойных стволах деревьев, пнях и разлагающейся древесине [2; 3, с. 4]. Большинство видов распространено в тропических и субтропических регионах и характеризуется экологической пластичностью и способностью адаптироваться к различным условиям окружающей среды [2]. Плодовые тела отличаются плотной и прочной структурой, поверхность шляпки обычно покрыта чешуйками различных оттенков коричневого цвета. Пластинки имеют белую или светло-жёлтую окраску, при этом на поверхности ножки также могут наблюдаться чешуевидные образования [2; 3, с. 4].

Вид *Lentinus tigrinus* отличается от других представителей рода рядом характерных морфологических признаков. В частности, поверхность шляпки покрыта волокнистыми структурами, формирующими рисунок, напоминающий тигровую окраску. Ножка может располагаться центрально или несколько эксцентрично. Пластинки являются нисбегающими по ножке, что рассматривается как один из важных диагностических признаков при идентификации данного вида [3, с. 42].

В последние годы значительно возрос интерес к изучению морфологического разнообразия *L. tigrinus*. В ряде исследований показано наличие у данного вида двух морфологических форм плодовых тел – агарикоидной и секотиоидной. У агарикоидной формы гименофор представлен открытыми пластинками, тогда как у секотиоидной формы в процессе развития ткань плодового тела разрастается от краёв пластинок и постепенно окружает гименофор, в результате чего споры оказываются внутри замкнутой структуры. Наличие этих форм характеризует выраженный морфологический диморфизм *L. tigrinus* [4].

Геномное секвенирование *Lentinus tigrinus* позволило получить дополнительные сведения о генетических механизмах, связанных с формированием агарикоидной и секотиоидной форм плодовых тел, а также о генах, потенциально участвующих в их развитии. Полученные геномные и транскриптомные данные расширяют представления о биологии данного вида и создают основу для последующего изучения механизмов развития плодовых тел [4].

В Республике Узбекистан также проводятся исследования, посвящённые рас-

пространению и биотехнологическому потенциалу отдельных видов макромицетов, в частности *Trametes versicolor* [5]. Вместе с тем сведения о морфологических и культуральных особенностях локальных популяций *Lentinus tigrinus* в условиях Узбекистана остаются ограниченными. В связи с этим представляется актуальным комплексное изучение макро- и микроморфологических признаков, морфоанатомических особенностей и культуральных характеристик *Lentinus tigrinus*, включая особенности роста чистых культур на различных твёрдых и жидких питательных средах.

Цель исследования заключалась в комплексном изучении макроморфологических, микроморфологических и культуральных характеристик *Lentinus tigrinus*, выделенного из образцов, собранных на территории Кашкадарьинской области, исследовании микроструктуры плодового тела методом сканирующей электронной микроскопии (СЭМ), а также оценке особенностей развития его чистой культуры на твёрдых и жидких питательных средах.

Материалы и методы исследования

Исследование проводилось в 2024–2025 гг. на территории Кашкадарьинской области Республики Узбекистан. Материал собирали в марте, апреле и мае на территории села Лангар Камашинского района и города Бешкента Каршинского района. Образцы отбирали из плодовых тел *Lentinus tigrinus*, развивавшихся на стволах срубленных деревьев тополя (*Populus* spp.) и ивы (*Salix* spp.).

В ходе исследования было собрано всего 35 плодовых тел *L. tigrinus*. Из них 16 плодовых тел были собраны во время двух сборов в селе Лангар, а 19 плодовых тел – во время двух сборов на территории города Бешкента. Из 35 собранных образцов были выделены две чистые культуры. Для молекулярной идентификации один из выделенных изолятов – изолят 2 – был выбран для проведения ITS-анализа. Собранные образцы были исследованы в лабораторных условиях методом приготовления временных микроскопических препаратов [6, с. 25–28].

Гербарные материалы *Lentinus tigrinus* хранятся в научно-исследовательской лаборатории кафедры микробиологии и биотехнологии Каршинского государственного университета. Образцам присвоен гербарный ваучерный номер Lent Y. Изолят 2 (*Isolate 2*), использованный для ITS-анализа, зарегистрирован в базе данных GenBank под номером доступа PV815685; соответствующей чистой культуре присвоен код YT-Q8.

Микроскопические наблюдения проводили с использованием цифрового микроскопа модели B-382PHiALC DC6V 1000 mА. Исследование образцов методом сканирующей электронной микроскопии проводили в 2026 г. с использованием настольного сканирующего электронного микроскопа SNE-ALPHA (NanoEye, SEC Co., Ltd., Suwon, Республика Корея; серийный номер APH-03435).

Идентификацию вида осуществляли на основании современных микологических определителей и таксономической литературы [3, с. 15–20]. Молекулярную идентификацию исследуемых образцов осуществляли путём анализа последовательности участка ITS1–5.8S rRNA–ITS2 с дальнейшим сравнением полученных последовательностей с данными GenBank. Такой подход широко применяется для молекулярной идентификации представителей макромицетов [7–9]. По результатам сравнительного анализа последовательности и с учётом морфологических признаков исследованный изолят был идентифицирован как *Lentinus tigrinus*. Последовательность зарегистрирована в базе данных GenBank под номером доступа PV815685.

Для получения чистой культуры из стерильной внутренней ткани плодового тела вырезали фрагменты размером 5 × 5 мм и картофельно-декстрозный агар. Культуры инкубировали в стерильных условиях при температуре 25 ± 1 °С. Методика выделения и культивирования чистых культур основывалась на общепринятых микологических подходах [10, с. 42–48]. В процессе культивирования оценивали скорость роста колоний, их окраску и текстуру, а также микроморфологические особенности мицелия [11]. Для приготовления жидкой питательной среды 250 г тыквы варили в 1 л

дистиллированной воды, после чего полученный отвар фильтровали через фильтровальную бумагу. В стерильную коническую колбу Эрленмейера объёмом 250 мл вносили 100 мл профильтрованного тыквенного отвара. В качестве источника углерода добавляли 5 мл отвара, приготовленного из варёного риса, а в качестве источника азота – 5 мл отвара из отрубей. Минеральные соли не добавляли. Конечное значение pH питательной среды доводили до 6,0. Приготовленные питательные среды стерилизовали в автоклаве при температуре 121 °С, давлении 1,5 атм в течение 30 мин.

Результаты оценивали на основании трёх независимых экспериментов (n = 3). Полученные данные представлены в виде среднего арифметического значения ± стандартного отклонения. Стандартное отклонение рассчитывали на основании результатов трёх независимых экспериментов. Статистические расчёты выполняли с использованием программы Microsoft Excel.

Результаты исследования и их обсуждение

Плодовые тела *L. tigrinus* могут развиваться как поодиночке, так и образуя крупные группы на древесном субстрате (рис. 1б). Размер плодовых тел варьирует в зависимости от стадии развития; плодовое тело состоит из шляпки и ножки. Шляпка имеет воронковидную форму, её диаметр составляет 3,5–9,0 см. Поверхность шляпки имеет беловато-кремовую окраску и покрыта мелкими коричневыми чешуйками, при этом центральная часть характеризуется более тёмной окраской (рис. 1а). У молодых плодовых тел края шляпки загнуты внутрь, тогда как у зрелых экземпляров они становятся волнистыми и приобретают неправильную форму.

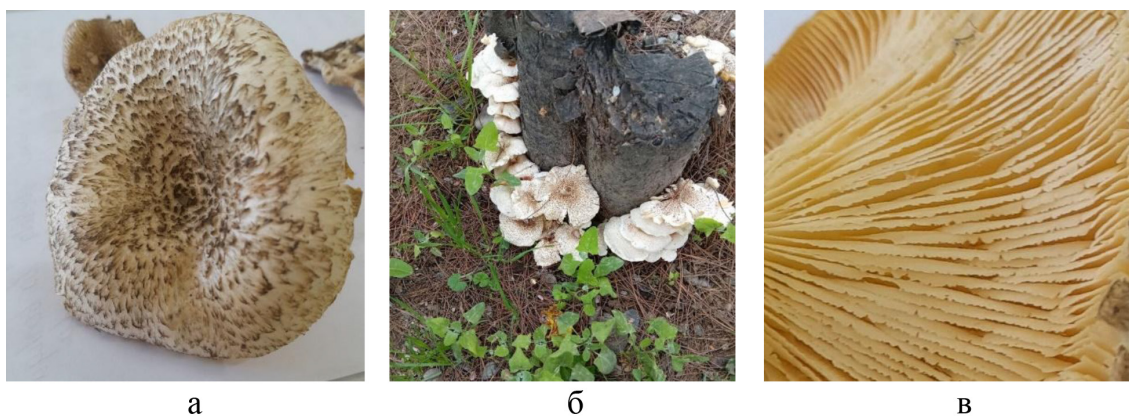


Рис. 1. Макроморфологические признаки *Lentinus tigrinus*: а – общий вид плодового тела; б – плодовые тела, развивающиеся на срубленном стволе *Populus spp.*; в – пластинки
Примечание: фото авторов

Ножка цилиндрическая, центральная или несколько эксцентричная, длиной 1,0–4,5 см; её поверхность покрыта мелкими коричневыми чешуйками, окраска варьирует от беловатой до светло-коричневой. Ткань ножки плотная, волокнистая, у зрелых экземпляров становится более твёрдой. Ножка прочно прикрепляется к субстрату. Совокупность выявленных морфологических признаков соответствует диагностическим признакам *L. tigrinus*, описанным в литературе [3, с. 42].

Lentinus tigrinus относится к пластинчатым макромицетам и формирует густо расположенные пластинки на нижней стороне шляпки (рис. 1в). Пластинки нисбегающие по ножке (decurrent), местами анастомозируют между собой. У молодых плодовых тел они имеют белую или светло-кремовую окраску, тогда как у зрелых экземпляров приобретают светло-жёлтый или кремовато-жёлтый оттенок (рис. 1в). На поверхности пластинок расположен гимениальный слой, в котором развиваются базидии и базидиоспоры.

При микроскопическом исследовании базидиоспоры *L. tigrinus* преимущественно имели эллипсоидальную или короткоцилиндрически-эллипсоидальную форму (рис. 2а). Споры были бесцветными, гладкостенными, тонкостенными и одноклеточными.

В ходе микроскопического исследования проведена морфометрическая оценка базидиоспор *L. tigrinus*. Всего было измерено 30 базидиоспор ($n = 30$). Длина спор составляла 6,0–10,4 мкм, ширина 3,4–5,2 мкм. Средняя длина базидиоспор составила $8,54 \pm 1,13$ мкм, средняя ширина $4,47 \pm$

0,50 мкм. Среднее отношение длины к ширине (L/W) составило $1,92 \pm 0,21$, при диапазоне значений 1,57–2,41 (табл. 1).

Таблица 1

Морфометрические характеристики базидиоспор *Lentinus tigrinus*

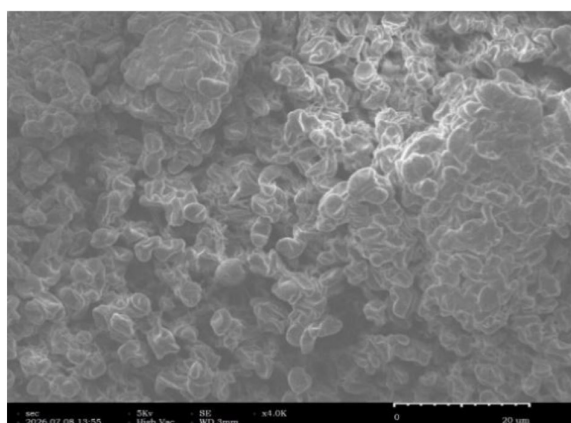
Показатель	Значение
Число измеренных спор (n)	30
Длина спор, мкм	6,0–10,4
Средняя длина, мкм	$8,54 \pm 1,13$
Ширина спор, мкм	3,4–5,2
Средняя ширина, мкм	$4,47 \pm 0,50$
Соотношение L/W	$1,92 \pm 0,21$
Диапазон L/W	1,57–2,41

Примечание: составлено авторами.

Поверхность плодового тела *L. tigrinus* исследовали методом сканирующей электронной микроскопии. При увеличении $\times 4000$ установлено, что внешняя поверхность плодового тела характеризуется плотным расположением взаимосвязанных складчатых микроструктур (рис. 2б). На поверхности наблюдалось множество складчатых и округлых микроструктур, формирующих плотный и компактный поверхностный слой. Микроструктуры характеризовались неравномерным складчатым микрорельефом и относительно равномерно распределялись по исследованным участкам поверхности.



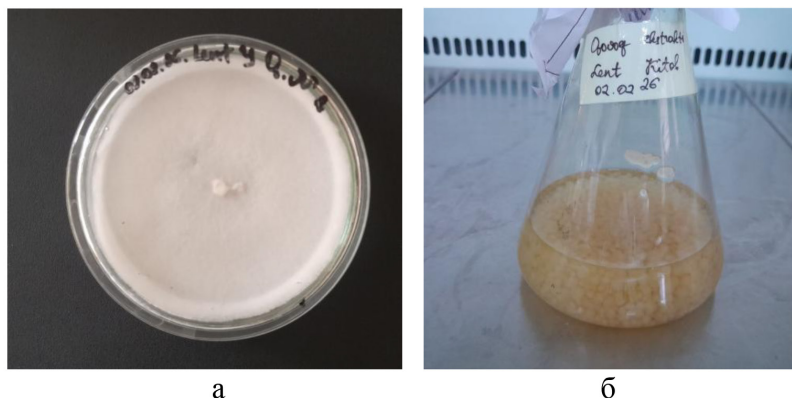
а



б

Рис. 2. Микроморфологические особенности плодового тела *Lentinus tigrinus*: а – базидиоспоры в световом микроскопе; б – поверхность плодового тела по данным сканирующей электронной микроскопии (СЭМ). При увеличении $\times 4000$ выявлены плотный складчатый микрорельеф и компактные микроструктуры наружной поверхности. Масштабная линейка – 20 мкм.

Примечание: фото авторов



а

б

Рис. 3. Чистая культура *Lentinus tigrinus*:
а – мицелиальная колония на картофельно-декстрозном агаре;
б – мицелиальная биомасса, выращенная в жидкой питательной среде
Примечание: фото авторов

Таблица 2

Условия жидкофазного культивирования и выход мицелиальной биомассы
Lentinus tigrinus

Показатель	Значение
Тыквенный отвар	100 мл
Рисовый отвар	5 мл
Отвар отрубей	5 мл
Минеральные соли	Не добавлялись
Конечное значение pH	6,0
Температура культивирования	25–30 °С
Скорость перемешивания	140 об./мин.
Продолжительность культивирования	12–14 суток
Число независимых опытов (n)	3
Выход мицелиальной биомассы	0,44±0,04 г

Примечание: составлено авторами.

Крупных трещин, признаков механических повреждений и выраженной деформации тканей не выявлено, что свидетельствует о сохранности исследованных образцов на момент проведения СЭМ-анализа. Полученные данные дополняют морфологическую характеристику *L. tigrinus* и могут быть использованы при дальнейшем изучении микроморфологических особенностей плодового тела.

На твёрдой питательной среде *L. tigrinus* формировал белый, плотный, хлопьевидно-ватообразный мицелий (рис. 3а). Колония равномерно разрасталась от центральной части в радиальном направлении и постепенно покрывала поверхность чашки Петри. Поверхность мицелия была относительно ровной, края колонии – хорошо выраженными. В процессе культивирования образования пигмента не наблюдалось.

В жидкой питательной среде мицелий *L. tigrinus* формировал различные морфологические структуры в зависимости от состава среды. Преимущественно наблюдались хлопьевидные и гранулярные формы роста. В жидкой питательной среде на основе тыквенного экстракта формировались гранулярные агрегаты (рис. 3б). Биомасса имела белую или светло-кремовую окраску; плотность и размеры агрегатов клеточной массы различались в зависимости от состава питательной среды.

Культивирование проводили на шейкере при скорости перемешивания 140 об./мин., температуре 25–30 °С и значении pH 6,0. Полученные результаты свидетельствуют о способности изолята *L. tigrinus* развиваться при указанных условиях культивирования. Продолжительность культивирования составляла 12–14 суток. Выход мицелиальной биомассы в 100 мл тыквенного экстракта

та составил $0,44 \pm 0,04$ г ($n = 3$; Mean $\pm$ SD) (табл. 2).

Выявленные в ходе исследования макро- и микроморфологические признаки *L. tigrinus* в целом соответствовали описаниям, представленным в таксономической литературе. В частности, развитие плодовых тел поодиночке или небольшими группами, формирование воронковидной шляпки и наличие мелких коричневых чешуек на её поверхности рассматриваются как характерные диагностические признаки данного вида [3, с. 42; 12, с. 10–12]. Согласно результатам проведённых наблюдений, диаметр шляпки варьировал в пределах 3,5–9,0 см, что соответствует морфометрическому диапазону, приведённому Pegler (1983) [3, с. 42–43]. Кроме того, установлено, что центральная часть шляпки имеет более тёмную окраску по сравнению с краями, а у молодых плодовых тел края шляпки загнуты внутрь. Данные признаки могут быть связаны с особенностями онтогенетического развития плодового тела данного вида.

Результаты исследования показали, что пластинки *L. tigrinus* расположены плотно, а в процессе созревания плодовых тел их окраска изменяется от белой или светло-кремовой до желтовато-кремовой. Указанные признаки относятся к характерным морфологическим особенностям представителей рода *Lentinus* и также отмечены в работах Corner (1981) и Pegler (1983) [12, с. 30–32; 3, с. 42].

Микроскопический анализ показал, что базидиоспоры преимущественно имеют эллипсоидальную или короткоцилиндрическую форму, являются бесцветными (гиалиновыми), тонкостенными и гладкостенными. Выявленные признаки в целом соответствуют данным, представленным в литературных источниках.

Изучение культуральных характеристик показало, что *L. tigrinus* на твёрдой питательной среде формирует белые, плотные, хлопьевидно-ватообразные колонии и развивается без образования пигмента. Согласно данным Berović и соавт. (2022), белый цвет вегетативного мицелия является характерным признаком ряда базидиомицетов, способных разлагать лигноцеллюлозные субстраты. Полученные результаты в целом согласуются с данными Dulaу и соавт. (2026) и Berović и соавт. (2022), согласно которым *Lentinus tigrinus* в условиях культивирования также формирует белый плотный мицелий [13; 14].

В жидкой питательной среде мицелий развивался в виде гранулярных (pellet) агрегатов и хлопьевидных структур. Полу-

ченные результаты согласуются с данными Dudekula и соавт. (2020), согласно которым морфология мицелия при глубинном культивировании зависит от состава питательной среды, степени аэрации и интенсивности перемешивания [15].

В целом полученные результаты имеют общие черты с данными других исследователей. При использованных условиях культивирования – температуре 25–30 °C и pH 6,0 – была зарегистрирована способность изолята *L. tigrinus* к росту.

Закключение

В результате проведённого исследования охарактеризованы макроморфологические, микроморфологические и культуральные признаки *Lentinus tigrinus*, распространённого на территории Кашкадарьинской области Республики Узбекистан. Плодовые тела преимущественно развивались одиночно или небольшими группами на стволах срубленных деревьев *Populus* spp. К характерным морфологическим признакам исследованных образцов относились воронковидная форма шляпки, покрытие её поверхности коричневыми чешуйками, а также плотно расположенные пластинки, нисбегающие по ножке. Микроморфологический анализ показал, что базидиоспоры бесцветные, гладкостенные, преимущественно эллипсоидальной или короткоцилиндрической формы. По результатам морфометрического анализа длина базидиоспор составляла 6,0–10,4 мкм, ширина 3,4–5,2 мкм, при среднем размере $8,54 \pm 1,13 \times 4,47 \pm 0,50$ мкм ($n = 30$). Среднее отношение длины к ширине (L/W) составляло $1,92 \pm 0,21$. SEM-анализ показал, что поверхность плодового тела характеризуется плотным, компактным и складчатым микрорельефом.

При культивировании на твёрдой питательной среде *L. tigrinus* формировал белые, плотные, хлопьевидно-ватообразные колонии без образования пигмента. В жидкой питательной среде наблюдалось формирование гранулярных (pellet) и хлопьевидных мицелиальных агрегатов. При температуре 25–30 °C, pH 6,0 и скорости перемешивания 140 об./мин. продолжительность культивирования составляла 12–14 суток, а выход биомассы в 100 мл тыквенного экстракта достигал $0,44 \pm 0,04$ г ($n = 3$; Mean $\pm$ SD).

Полученные результаты могут рассматриваться как исходная характеристика исследованного изолята *L. tigrinus* и могут быть использованы при планировании последующих исследований его культуральных и потенциально биотехнологически значимых свойств.

Список литературы

1. Karunarathna S. C., Tibpromma S., Karunarathna B. S., Dai D.-Q., Kumla J., Lu W., Perera R. H., Wang M., Priyadarshani T. D. C., Hapuarachchi K. K., Suwannarach N. Mushrooms in climate change mitigation: A comprehensive review // *Frontiers in Microbiology*. 2026. Vol. 16. Article 1727022. URL: <https://www.frontiersin.org/journals/microbiology/articles/10.3389/fmicb.2025.1727022/full> (дата обращения: 28.07.2026). DOI: 10.3389/fmicb.2025.1727022.
2. Fabros J. A., Dulay R. M. R., De Leon A. M., Kalaw S. P., Reyes R. G. Distribution, cultivation, nutritional composition, and bioactivities of *Lentinus* (Polyporaceae, Basidiomycetes): A review // *Current Research in Environmental & Applied Mycology* (Journal of Fungal Biology). 2022. Vol. 12. № 1. P. 170–219. URL: <https://www.creamjournal.org/article/distribution-cultivation-nutritional-composition-and-bioactivities-of-lentinus-polyporaceae-basidiomycetes-a-review> (дата обращения: 28.07.2026). DOI: 10.5943/cream/12/1/13.
3. Pegler D. N. The Genus *Lentinus*: A World Monograph // *Kew Bulletin. Additional Series*. 1983. Vol. 10. 281 p.
4. Wu B., Xu Z., Knudson A., Carlson A., Chen N., Kovaka S., LaButti K., Lipzen A., Pennacchio C., Riley R., Schackwitz W., Umezawa K., Ohm R. A., Grigoriev I. V., Nagy L. G., Gibbons J., Hibbett D. Genomics and Development of *Lentinus tigrinus*: A White-Rot Wood-Decaying Mushroom with Dimorphic Fruiting Bodies // *Genome Biology and Evolution*. 2018. Vol. 10. № 12. P. 3250–3261. DOI: 10.1093/gbe/evy246.
5. Шеркулова Ж. П., Мустафаев И. М., Узаков З. З. Распространение и инновационный потенциал лекарственного гриба *Trametes versicolor* (L.) Lloyd в Узбекистане // *Научное обозрение. Биологические науки*. 2025. № 4. С. 46–51. URL: <https://science-biology.ru/ru/article/view?id=1434> (дата обращения: 19.07.2026). DOI: 10.17513/srbs.1434.
6. Левинсон Л. Б., Роскин Г. И. Микроскопическая техника: учебное пособие для вузов. 3-е изд. М.: Советская наука, 1957. 467 с.
7. Dulay R. M. R., Cabrera E. C., Kalaw S. P., Reyes R. G. Nucleotide sequencing and identification of wild mushrooms from the Philippines // *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*. 2020. Vol. 27. Article 101666. DOI: 10.1016/j.bcab.2020.101666.
8. Dulay R. M. R., Cabrera E. C., Kalaw S. P., Reyes R. G. Nucleotide sequence-based identification of *Lentinus* isolates from Luzon Island, Philippines // *Journal of ISSAAS*. 2022. Vol. 28. № 1. P. 51–62. URL: <https://issaasphil.org/wp-content/uploads/2022/06/5.-Dulay-et-al.-2022.-Nucleotide-sequence-based-identification-FINAL.pdf>
9. Ishaq M., Galappaththi M. C. A., Khan M. B., Ullah S., Fiaz M., Khalid A. N. *Lentinus squarrosulus* an edible macro-fungus reported from Pakistan // *Studies in Fungi*. 2022. Vol. 7. Article 6. DOI: 10.48130/SIF-2022-0006.
10. Билай В. И. Методы экспериментальной микологии. Киев: Наукова думка, 1973. 243 с.
11. Dulay R. M. R., Cabrera E. C., Kalaw S. P., Reyes R. G., Hou C. T. Nutritional requirements for mycelial growth of three *Lentinus* species from the Philippines // *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*. 2020. Vol. 23. Article 101506. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1878818119319504> (дата обращения: 28.07.2026). DOI: 10.1016/j.bcab.2020.101506.
12. Corner E. J. H. The Agaric Genera *Lentinus*, *Panus*, and *Pleurotus* with Particular Reference to Malaysian Species // *Beihefte zur Nova Hedwigia*. 1981. Heft 69. 169 p.
13. Dulay R. M. R., Manzano E. M. Submerged fermentation of mycelial biomass and exopolysaccharide of Philippine *Lentinus tigrinus*: FTIR spectroscopy and bioactivity profiling // *Italian Journal of Mycology*. 2026. Vol. 55. № 1. P. 80–110. URL: <https://italianmycology.unibo.it/article/view/24237> (дата обращения: 28.07.2026). DOI: 10.60923/issn.2531-7342/24237.
14. Berovic M., Boh Podgornik B., Gregori A. Cultivation Technologies for Production of Medicinal Mushroom Biomass: Review // *International Journal of Medicinal Mushrooms*. 2022. Vol. 24. № 2. P. 1–22. URL: <https://www.dl.begell-house.com/download/article/648efc4c721cff46/IJM-42445.pdf> (дата обращения: 28.07.2026). DOI: 10.1615/IntJMedMushrooms.2021042445.
15. Dudekula U. T., Doriya K., Devarai S. K. A critical review on submerged production of mushroom and their bioactive metabolites // *3 Biotech*. 2020. Vol. 10. Article 337. URL: <https://link.springer.com/article/10.1007/s13205-020-02333-y> (дата обращения: 28.07.2026). DOI: 10.1007/s13205-020-02333-y.

Конфликт интересов: Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest: The authors declare that they have no conflict of interest.

Финансирование: Авторы заявляют об отсутствии внешнего финансирования.

Funding: The research was conducted without external funding.



ВЛИЯНИЕ ПРЕДВАРИТЕЛЬНОГО ВВЕДЕНИЯ БЕНЗОНАЛА НА СОСТОЯНИЕ УГЛЕВОДНОГО ОБМЕНА У КРЫС ПРИ РАЗВИТИИ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО САХАРНОГО ДИАБЕТА

Юлдашев Н. М. ORCID ID 0000-0003-3460-7444,
Нишантаев М. К. ORCID ID 0009-0002-2578-8597,
Абдурашидов А. Б.

*Ташкентский государственный медицинский университет,
Ташкент, Республика Узбекистан, e-mail: y_nosir@rambler.ru*

Целью исследования явилась оценка развития аллоксанового сахарного диабета у крыс при предварительном введении им индуктора монооксигеназной системы печени бензонала. Изначально 120 белых крыс были разделены на быстрые, средние и медленные метаболизаторы. Эксперименты проведены у средних метаболизаторов. Крысам опытной группы до моделирования диабета вводился бензонал в течение трех дней в дозе 50 мг/кг массы тела, перорально в крахмальном клейстере. У крыс контрольной и опытной групп сахарный диабет моделировался введением аллоксана моногидрата (Sigma, США) в дозе 150 мг/кг в 0,4 мл цитратном буфере, внутривенно однократно. Показатели углеводного обмена изучались до и на 7, 14 и 21-е сутки патологии. В плазме крови содержание глюкозы определялось с помощью реагентов Human (Германия) на автоматическом анализаторе Humastar 100, а содержание инсулина и С-пептида с помощью реагентов Rat Insulin, ELISA Kit и Rat C-Peptide ELISA Kit (США) на иммуноферментном анализаторе Mindray MR 96A (KHP). На основании полученных результатов оценивались индексы инсулинорезистентности – HOMA-IR, функциональная активность β -клеток (HOMA2-B%), Caro, QUICKI и TGI. Проведены глюкозотолерантный и инсулинотолерантный тесты. Выявлено, что на фоне предварительного введения бензонала наблюдается более благоприятное течение экспериментального сахарного диабета по сравнению с контрольной группой. Так, содержание глюкозы в крови крыс с предварительным введением бензонала оказалось сниженным на 26,7 и 49,6 % по сравнению со значениями контрольной группы на 14-е и 21-е сутки патологии. При этом предварительное введение бензонала способствовало улучшению как индексов инсулинорезистентности, так и результатов глюкозотолерантного и инсулинотолерантного тестов. Результаты позволяют предположить, что бензонал оказывает потенциальное протективное влияние в данной экспериментальной модели сахарного диабета.

Ключевые слова: аллоксановый сахарный диабет, бензонал, глюкоза, инсулин, С-пептид, индексы инсулинорезистентности, глюкозотолерантный тест, инсулинотолерантный тест

EFFECT OF PRELIMINARY ADMINISTRATION OF BENZONAL ON THE STATE OF CARBOHYDRATE METABOLISM IN RATS DURING THE DEVELOPMENT OF EXPERIMENTAL DIABETES MELLITUS

Yuldashev N. M. ORCID ID 0000-0003-3460-7444,
Nishantaev M. K. ORCID ID 0009-0002-2578-8597,
Abdurashidov A. B.

*Tashkent State Medical University, Tashkent, Republic of Uzbekistan,
e-mail: y_nosir@rambler.ru*

The aim of the study was to evaluate the development of alloxan-induced diabetes mellitus in rats following the preliminary administration of benzonol, an inducer of the hepatic monooxygenase system. Initially, 120 white rats were divided into fast, intermediate, and slow metabolizers. The experiments were performed on the intermediate metabolizers. Prior to diabetes induction, the rats in the experimental group were administered benzonol for 3 days at a dose of 50 mg/kg of body weight, orally in starch paste. In both the control and experimental groups, diabetes mellitus was induced by a single intraperitoneal injection of alloxan monohydrate (Sigma, USA) at a dose of 150 mg/kg in 0.4 ml of citrate buffer. Carbohydrate metabolism parameters were studied before the induction and on days 7, 14, and 21 of the pathology. In blood plasma, glucose levels were determined using HUMAN reagents (Germany) on a Humastar 100 automated analyzer, while insulin and C-peptide levels were measured using Rat Insulin ELISA Kit and Rat C-Peptide ELISA Kit reagents (USA) on a Mindray MR 96A enzyme immunoassay analyzer (China). Based on the obtained results, the following indices were evaluated: insulin resistance indices (HOMA-IR, HOMA2-B%, Caro, QUICKI) and β -cell functional activity. Glucose tolerance and insulin tolerance tests were performed. It was revealed that prior administration of benzonol results in a more favorable course of experimental diabetes mellitus compared to the control group. Thus, blood glucose levels in rats pre-treated with benzonol were found to be reduced by 26.7% and 49.6% compared to control group values on days 14 and 21 of the pathology. Furthermore, the preliminary administration of benzonol contributed to the improvement of both insulin resistance indices and the results of glucose and insulin tolerance tests. These results suggest that benzonol exerts a potential protective effect in this experimental model of diabetes mellitus.

Keywords: alloxan diabetes mellitus, benzonol, glucose, insulin, C-peptide, insulin resistance indices, glucose tolerance test, insulin tolerance test

Введение

На сегодняшний день взаимосвязь развития сахарного диабета СД 1 типа (СД1) и особенно 2 типа (СД2) с нарушением функции печени бесспорна. Это связано с тем, что печень, являясь «главной биохимической лабораторией» всего организма, непосредственно участвует практически во всех обменных процессах, и это отражается в той или иной степени на патогенетических звеньях развития заболеваний. Одной из главных функций печени является детоксицирующая функция, связанная с цитохром Р-450 зависимой монооксигеназной системой (МОС), локализованной в эндоплазматическом ретикулуле гепатоцитов. В этой системе протекает огромное количество метаболических реакций, направленных на изменения структуры как ксено-, так и эндобиотиков [1], поэтому ее активность должна играть существенную роль в развитии такой метаболической болезни, как СД. Причем в настоящее время даже появился термин «гепатогенный сахарный диабет» [2]. Известно, что инсулин выводится из циркулирующей крови от 50 до 80 % путем расщепления в печени. В то же время выявлена значительная вариабельность доли инсулина, выводимого печенью (от 20 до 80 %). В случае сниженного печеночного клиренса будет наблюдаться гиперинсулинемия, что в конечном итоге может привести к развитию СД2 [3]. Данные исследования указывают на связь между функциональным состоянием печени и развитием, а также степенью тяжести СД. Нас интересовал вопрос о степени тяжести СД в зависимости от фенотипа активности микросомальных оксидаз и было показано наличие такой связи: у быстрых метаболизаторов при аллоксановом СД степень нарушения углеводного обмена оказалась выше, чем у средних и медленных метаболизаторов [4]. В связи с индуцибельностью системы микросомальных оксидаз гепатоцитов возник закономерный вопрос о влиянии препаратов-индукторов микросомальных ферментов на риск развития и тяжесть течения СД.

Цель исследования – оценка степени развития аллоксанового диабета у крыс при предварительном введении индуктора монооксигеназных ферментов – бензонала (бензобарбитала).

Материалы и методы исследования

Для проведения экспериментов изначально были выбраны 120 белых крыс-самцов с исходной массой тела от 140 до 319 г (среднее $191 \pm 3,99$ г). Содержание живот-

ных и все остальные экспериментальные процедуры проводились согласно руководству «The ARRIVE guidelines 2.0: Updated guidelines for reporting animal research» [5]. Фенотипирование животных по активности МОС печени проводилось на основе оценки длительности нембуталового сна. Животным внутрибрюшинно вводили нембутал (пентобарбитал) в дозе 40 мг/кг массы тела. Время наркотического сна рассчитывали в минутах, и по результатам крыс разделили на быстрых, средних и медленных метаболизаторов. Для опытов, через месяц после фенотипирования, из группы животных с умеренной скоростью метаболизма формировали выборку из 24 крыс методом случайного отбора. У всех отобранных крыс брали кровь для исследований, по результатам которых определили интактный уровень показателей. Далее крысы были разделены на две группы. Опытная группа (12 крыс) – получала перорально через зонд бензонал в крахмальном клейстере (для равномерного распределения препарата, нерастворимого в воде) в дозе 50 мг/кг массы тела, в течение трех дней. Контрольная группа (12 крыс) в течение трех дней получала соответствующий объем крахмального клейстера. Экспериментальный СД у всех 24 крыс моделировался внутрибрюшинным введением аллоксана моногидрата (Sigma, США) в дозе 150 мг/кг в 0,4 мл цитратного буфера, однократно. Показатели углеводного обмена изучались до (исходный показатель) и на 7, 14 и 21-е сутки (опытные показатели) патологии. При взятии крови из хвостовой вены создавалась гиперемия, помещением хвоста крысы в воду с температурой 40–50 °С на несколько мин. Далее в хвостовую вену вводилась игла размером G-24, и кровь собиралась в пробирки с гепарином. Плазма выделялась центрифугированием крови в центрифуге ЕВА 200 (компания Hettich) в течение 15 мин со скоростью 3000 об/мин. В плазме крови содержание глюкозы определялось с помощью реагентов Human (Германия) на автоматическом анализаторе Humastar 100, а содержание инсулина и С-пептида с помощью реагентов Rat Insulin, ELISA Kit и Rat C-Peptide ELISA Kit (США) на иммуноферментном анализаторе Mindray MR 96A (Китай). На основании полученных результатов оценивалась инсулинорезистентность – HOMA-IR, Caro, QUICKI, TGI и функциональная активность β -клеток (HOMA2-B%) [6]. На 21-е сутки у все крыс проводился глюкозотолерантный тест (ГТТ): у животных, оставленных на ночь без корма, утром бралась кровь, через зонд вводился 20 % раствор глюкозы в дозе 2 г/кг веса. Содержание глюкозы в кро-

ви определялось с помощью глюкометра (Contour TS, Bayer) на 30, 60, 90 и 120 мин. На 24-е сутки у этих крыс проводился инсулинотолерантный тест (ИТТ): у животных, оставленных на ночь без корма, утром бралась кровь, далее подкожно вводился инсулин НовоРапид Пенфил (Novo Nordisk A/S, Дания) в дозе 0,75 ЕД/кг. Содержание глюкозы в крови определялось с помощью глюкометра (Contour TS, Bayer) на 15, 30, 60, 90 и 120 мин. Площадь под кривой «концентрация глюкозы – время» в обоих тестах (AUC) рассчитывалась линейно-логарифмическим трапецевидным методом (<https://www.certara.com/knowledge-base/calculating-auc-linear-and-log-linear/>). Коэффициент скорости утилизации глюкозы рассчитывали на основе ИТТ ($K_{ИТТ}$). Для расчета использовали формулу: $K = 0,693 \cdot 100 / t_{1/2}$, где 0,693 – $\ln 2$, величина, отражающая экспоненциальный распад, $t_{1/2}$ – период полувыведения глюкозы, рассчитанный из графика линейной регрессии и 100 – коэффициент перевода на проценты. $K_{ИТТ}$ выражали в % глюкозы/мин. Количественные характеристики выборок описывались посредством средней (М), медианы (Me), интерквартильного размаха (LQ 25 %; UQ 75 %). При сравнении двух независимых выборок использовали критерий Манна – Уитни. Критиче-

ский уровень статистической значимости принят $p < 0,05$.

Результаты исследования и их обсуждение

Для проведения исследований, учитывая различия животных по активности метаболизирующей функции печени, общая популяция крыс была разделена на быстрых, средних и медленных метаболизаторов с помощью теста наркотического сна. Из 120 животных была отбракована 1 крыса, так как она резко отличалась от остальных по длительности наркотического сна (спала всего 3 мин). Статистические показатели общей популяции и разных фенотипов крыс по метаболизирующей функции печени приведены в табл. 1. В выбранной выборке 77 крыс (64,7 %) оказались средними метаболизаторами.

Через месяц после разделения крыс на фенотипы, из группы средних метаболизаторов случайным образом были отобраны 12 крыс для контрольной и 12 крыс для опытной группы. Крысам опытной группы в течение трех дней перорально вводился бензонал в крахмальном клейстере в дозе 50 мг/кг веса. На 4-й день для оценки степени индукции МОС печени у крыс обеих групп проводился тест наркотического сна (табл. 2).

Таблица 1

Статистические показатели общей популяции и разных фенотипов крыс по метаболизирующей функции печени (М в мин)

Группы	Статистические показатели							
	n	М	σ	$\pm m$	p	Mediana	Min	Max
Общая популяция (1)	119	204,33	102	9,42		177	48	414
Быстрые метаболизаторы (2)	25	84,20	15	3,05	$P_{1-2} < 0,001$	82	48	102
Средние метаболизаторы (3)	77	205,53	69	7,90	$P_{1-3} = \text{н. д.}$ $P_{2-3} < 0,001$	192	118	330
Медленные метаболизаторы (4)	17	375,53	18	4,60	$P_{1-4} < 0,001$ $P_{2-4} < 0,001$ $P_{3-4} < 0,001$	367	354	414

Примечание: составлена авторами на основе полученных данных в ходе исследования.
Н. д. – недостоверно.

Таблица 2

Результаты наркотического сна крыс со средней скоростью метаболизма ксенобиотиков и на фоне введения бензонала

Группы	Статистические показатели							
	n	М	σ	$\pm m$	p	Mediana	Min	Max
Контроль (1)	12	180,92	34	10,18		175,5	132	246
Бензонал (2)	12	104,83	21	6,42	$P_{1-2} < 0,001$	113	68	135

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

Таблица 3

Показатели метаболизма углеводов в процессе развития аллоксанового диабета у крыс при предварительном введении бензонала

Индикатор Ме [25; 75]	Группы	Исходное (1)	7-е сутки (2)	14-е сутки (3)	21-е сутки (4)	P
Глюкоза (ммоль/л)	Контроль	5,60 [5,25; 6,00]	12,44 [10,91; 13,39]	12,73 [11,85; 13,65]	15,62 [14,25; 16,80]	P ₁₋₂ < 0,001 P ₁₋₃ < 0,001 P ₁₋₄ < 0,001 P ₂₋₃ = н. д. P ₂₋₄ < 0,001 P ₃₋₄ < 0,001
	Бензонал	5,14 [4,61; 5,70]	15,20 [12,38; 17,06]	9,33* [8,55; 10,21]	7,87* [6,54; 8,82]	P ₁₋₂ < 0,001 P ₁₋₃ < 0,001 P ₁₋₄ < 0,01 P ₂₋₃ < 0,001 P ₂₋₄ < 0,001 P ₃₋₄ < 0,05
Инсулин (пг/мл)	Контроль	3,49 [2,98; 3,87]	1,95 [1,75; 2,08]	1,70 [1,61; 1,79]	1,31 [1,28; 1,44]	P ₁₋₂ < 0,001 P ₁₋₃ < 0,001 P ₁₋₄ < 0,001 P ₂₋₃ < 0,05 P ₂₋₄ < 0,001 P ₃₋₄ < 0,001
	Бензонал	3,17 [2,67; 3,56]	1,96 [1,47; 2,39]	1,86 [1,33; 2,41]	1,54 [1,15; 1,89]	P ₁₋₂ < 0,001 P ₁₋₃ < 0,001 P ₁₋₄ < 0,001 P ₂₋₃ = н. д. P ₂₋₄ = н. д. P ₃₋₄ = н. д.
С-пептид (нг/мл)	Контроль	2,57 [2,05; 3,23]	2,32 [2,24; 2,40]	1,98 [1,85; 2,10]	1,64 [1,52; 1,79]	P ₁₋₂ = н. д. P ₁₋₃ < 0,05 P ₁₋₄ < 0,001 P ₂₋₃ < 0,001 P ₂₋₄ < 0,001 P ₃₋₄ > 0,001
	Бензонал	2,52 [2,31; 2,85]	2,32 [1,71; 2,79]	2,23 [1,59; 2,74]	1,82 [1,40; 2,20]	P ₁₋₂ = н. д. P ₁₋₃ = н. д. P ₁₋₄ < 0,001 P ₂₋₃ = н. д. P ₂₋₄ < 0,001 P ₃₋₄ < 0,001

Примечание: составлена авторами на основе полученных данных в ходе исследования.
* – P < 0,05 по сравнению с показателем контрольной группы.

Видно, что у крыс при введении бензонала длительность наркотического сна уменьшилась на 42,1 % (P₁₋₂ < 0,001). На следующий день у крыс брали кровь (для определения исходного уровня показателей углеводного обмена). Затем моделировался СД однократным внутривенным введением аллоксана моногидрата (Sigma, США) в дозе 150 мг/кг массы тела в 0,4 мл цитратного буфера. Показатели углеводного обмена у экспериментальных животных изучались на 7, 14 и 21-е сутки развития экспериментального СД. К 7-м суткам в кон-

трольной группе пали 2 крысы, а к 14-м – еще 1. Следовательно, из 12 крыс пали 3, смертность составила 25 %. У группы крыс, предварительно получавших бензонал, из 12 крыс до 7-х суток пали 2 крысы, смертность составила 16,7 %. Результаты изучения показателей углеводного обмена при экспериментальном СД на фоне предварительного введения бензонала приведены в табл. 3.

Из нее видно, что на 7, 14 и 21-е сутки аллоксанового СД содержание глюкозы в крови крыс оказалось повышенным по сравнению с исходным показателем на 122,1;

127,3 и 178,9 % соответственно. При этом содержание инсулина в крови крыс оказалось сниженным на 44,1; 51,3 и 62,5 % соответственно на 7, 14 и 21-е сутки аллоксанового СД. Наконец, содержание С-пептида в крови крыс на 7, 14 и 21-е сутки аллоксанового СД оказалось сниженным на 9,7; 23,0 и 36,2 % соответственно. При этом снижение содержания С-пептида на 9,7 % на 7-е сутки оказалось статистически незначимым ($P > 0,05$).

У крыс с предварительным введением бензонала на 7, 14 и 21-е сутки аллоксанового СД содержание глюкозы в крови оказалось повышенным по сравнению с исходным показателем на 195,7; 81,5 и 53,1 % соответственно. При этом повышенное содержание глюкозы в крови крыс с бензоном на 22,2 % по сравнению с контрольной группой оказалось статистически незначимым ($U_{\text{эмп}} = 27$, для $p \leq 0,01$ $U_{\text{кр}} = 19$ и $p \leq 0,05$ $U_{\text{кр}} = 27$), в то же время его снижение на 26,7 ($U_{\text{эмп}} = 2$, для $p \leq 0,01$ $U_{\text{кр}} = 16$ и $p \leq 0,05$ $U_{\text{кр}} = 24$) и 49,6 % ($U_{\text{эмп}} = 0$, для $p \leq 0,01$ $U_{\text{кр}} = 16$ и $p \leq 0,05$ $U_{\text{кр}} = 24$) на 14-е и 21-е сутки оказалось статистически значимым.

В содержании инсулина в крови у крыс с предварительным введением бензонала наблюдалось снижение на 38,2; 41,3 и 51,4 % по сравнению с исходным значением, соответственно срокам исследования. При этом значения инсулина статистически значимо не отличались от значений в контрольных группах ($U_{\text{эмп}} = 41$ и $U_{\text{эмп}} = 30$ на 14-е и 21-е сутки соответственно). В содержании С-пептида в крови у крыс с предварительным введением бензонала также наблюдалось снижение, однако, в отличие

от содержания инсулина, снижение его на 7,9 и 11,5 % по сравнению с исходным показателем на 7-е и 14-е сутки патологии оказалось статистически незначимым. Статистически значимое снижение его уровня на 27,8 % наблюдалось на 21-е сутки экспериментального СД. При этом значения С-пептида статистически значимо не отличались от значений в контрольных группах ($U_{\text{эмп}} = 41$ и $U_{\text{эмп}} = 36$ на 14-е и 21-е сутки соответственно).

Изучение индексов инсулинорезистентности показало, что у крыс контрольной группы НОМА-IR оказался повышенным от исходного значения на 25 % только на 7-е сутки патологии, на 14-е и 21-е сутки он не отличался статистически значимо от исходного значения (табл. 4). Вместе с тем индекс Саго оказался резко повышенным от исходного значения: на 291,4; 353,8 и 633,4 % соответственно на 7, 14 и 21-е сутки патологии. Индекс QUICKI изменился не сильно: наблюдалось его статистически значимое снижение только на 7-е сутки всего на 3,4 %. Неинсулиновый показатель TGI, аналогично индекса Саго, оказался повышенным от исходного значения: на 15,7; 17,4 и 20,7 % соответственно на 7, 14 и 21-е сутки патологии.

При предварительном введении бензонала индекс НОМА-IR оказался повышенным от исходного значения на 81,2 % на 7-е сутки, на 14-е сутки статистически значимого отличия от исходного значения не наблюдалось, и на 21-е сутки он оказался ниже исходного значения на 25,9 %. При этом по сравнению с контрольным значением он оказался выше на 23,2 % на 7-е сутки и ниже его на 40,6 % на 21-е сутки.

Таблица 4

Индексы инсулинорезистентности в процессе развития аллоксанового диабета у крыс и при предварительном введении бензонала

Группы	Показатели	Исходный	Сроки аллоксанового СД		
			7-е сутки	14-е сутки	21-е сутки
Контроль	НОМА-IR	1,00 ± 0,05	1,25 ± 0,08 ^a	1,12 ± 0,05	1,06 ± 0,07
	Саго	1,427 ± 0,104	5,585 ± 0,429 ^a	6,475 ± 0,376 ^a	10,466 ± 0,762 ^{a,b,c}
	QUICKI	0,384 ± 0,003	0,371 ± 0,004 ^a	0,377 ± 0,003	0,381 ± 0,004
	TGI	7,83 ± 0,09	9,06 ± 0,06 ^a	9,19 ± 0,08 ^a	9,45 ± 0,06 ^{a,b,c}
Бензонал	НОМА-IR	0,85 ± 0,07	1,54 ± 0,21 ^a	0,91 ± 0,13 ^b	0,63 ± 0,07 ^{a,b,c}
	Саго	1,445 ± 0,121	7,327 ± 0,916 ^a	4,786 ± 0,593 ^{a,b}	4,660 ± 0,459 ^{a,b}
	QUICKI	0,398 ± 0,006	0,364 ± 0,009 ^a	0,397 ± 0,009 ^b	0,421 ± 0,009 ^{a,b,c}
	TGI	7,94 ± 0,07	8,74 ± 0,14 ^a	8,73 ± 0,15 ^a	8,72 ± 0,21 ^a

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

a – $P < 0,05$ по сравнению с исходным показателем; b – $P < 0,05$ по сравнению с показателями, 7-е сутки; c – $P < 0,05$ по сравнению с показателями, 14-е сутки.

Индекс Саго оказался повышенным от исходного значения на 407,1; 231,2 и 222,5 % соответственно на 7, 14 и 21-е сутки патологии. По сравнению с контрольным значением его повышение на 31,2 % оказалось статистически незначимым ($P > 0,05$). На 7-е сутки он оказался ниже на 26,1, а на 21-е сутки на 55,5 % от контрольных значений. Индекс QUICKI изменился не сильно: наблюдалось его статистически значимое снижение только на 7-е сутки всего на 3,4 %. При предварительном введении бензонала данный индекс оказался выше контрольного значения на 10,5 % только на 21-е сутки. Неинсулиновый показатель TGI оказался повышенным от исходного значения на 10,1; 10,0 и 9,8 % соответственно на 7, 14 и 21-е сутки патологии. При введении бензонала он также оказался статистически значимо ниже от значений контрольной группы на 5,0 и 7,7 % на 14-е и 21-е сутки патологии.

Результаты индексов инсулинорезистентности оказались не совсем однозначными. Возможно, это связано с тем, что они в основном разработаны для СД2 у людей. В то же время в научной литературе имеются работы, где применены эти индексы у крыс [7–9] и собак [10]. Неоднозначность результатов заставила нас провести тест прямого определения чувствительности тканей к глюкозе – ГТТ и инсулину – ИТТ. ГТТ, проведенный на 21-е сутки патологии, все же показал значительные нарушения чувствительности к глюкозе при аллоксановом диабете (рис. 1). У крыс с аллоксановым диабетом исходный уровень глюкозы в крови был значительно по-

вышен после ночного голодания и во все интервалы времени после введения глюкозы (рис. 1, а). При экспериментальном СД с предварительным введением бензонала, хотя исходный уровень глюкозы крови был почти вдвое ниже, чем у контроля, однако ее содержание в крови во все интервалы времени после введения глюкозы практически не снижалось. При этом площадь под кривой при проведении ГТТ у крыс с предварительным введением бензонала была в 5,8 раза ниже по сравнению с контрольным значением (рис. 1, б).

По графику ИТТ видно (рис. 2), что концентрация глюкозы в крови крыс контрольной группы (аллоксановый СД) после введения инсулина максимально уменьшалась через 60 мин (до 7,44 ммоль/л), в крови крыс с предварительным введением бензонала – спустя 30 мин (до 2,7 ммоль/л). При этом площадь под кривой «концентрация глюкозы – время» при ИТТ в предварительном введении бензонала оказалась ниже на 31,3 % от значения контрольной группы (рис. 2, б).

Учитывая схожесть изменений кривых до 30 мин, была рассчитана константа скорости утилизации глюкозы на основании ИТТ ($K_{ИТТ}$) (рис. 3). При этом был выбран отрезок в 15 мин, учитывая строгое линейное снижение содержания глюкозы в этот период исследования (рис. 3, а). Показатель $K_{ИТТ}$ у интактных животных был равен 2,13 % глюкозы/мин, у животных контрольной группы (аллоксановый СД) он равнялся 1,21 % глюкозы/мин, тогда как при предварительном введении бензонала этот показатель был равен 4,57 % глюкозы/мин (рис. 3, б).

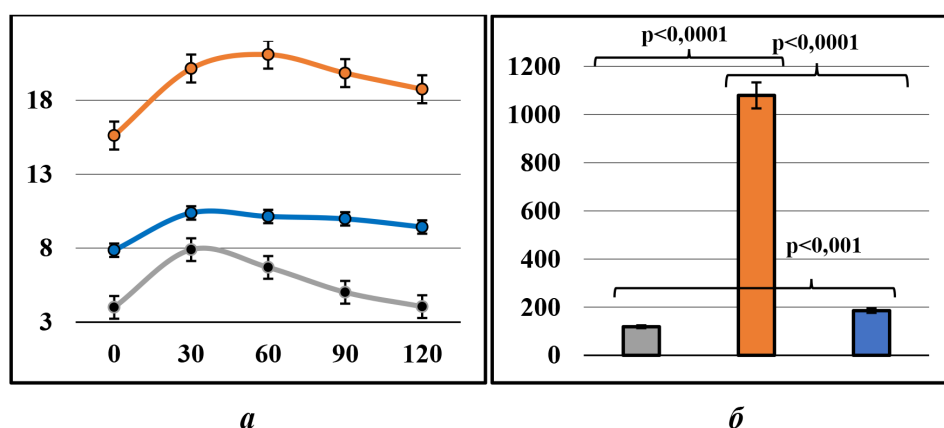


Рис. 1. Тест на толерантность к глюкозе у интактных крыс (серая кривая), крыс с аллоксановым диабетом (оранжевая кривая) и с предварительным введением бензонала (голубая кривая) (а): по оси абсцисс – время после введения глюкозы, мин; ось ординат – концентрация глюкозы в крови, ммоль/л; б – площадь под кривой «концентрация глюкозы – время» (ммоль·мин/л) при глюкозотолерантном тесте у интактных крыс (серый столбик), у крыс с аллоксановым диабетом (оранжевый столбик) и при предварительном введении бензонала (голубой столбик)
Примечание: составлен авторами по результатам данного исследования

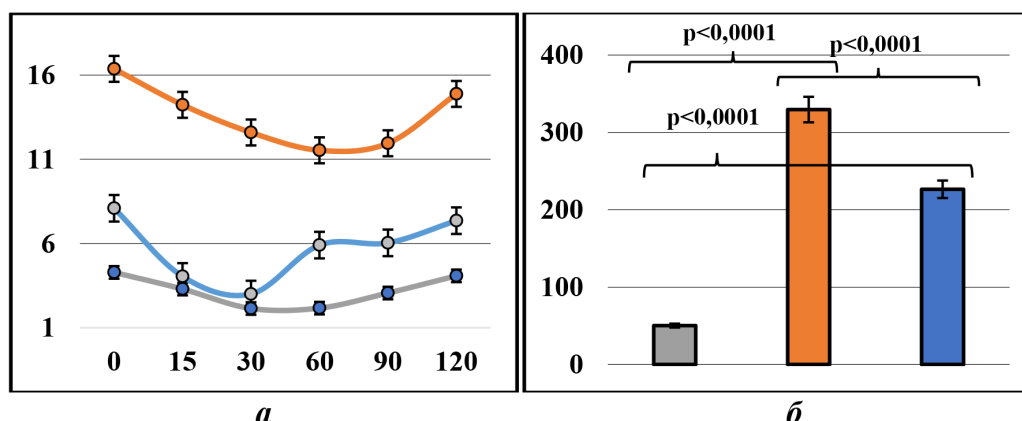


Рис. 2. Тест на толерантность к инсулину у intactных крыс (серая кривая), крыс с аллоксановым диабетом (оранжевая кривая) и с предварительным введением бензонала (голубая кривая) (а): по оси абсцисс – время после введения инсулина, мин; ось ординат – концентрация глюкозы в крови, ммоль/л; б – площадь под кривой «концентрация глюкозы – время» (ммоль·мин/л) при инсулинотолерантном тесте у intactных крыс (серый столбик), у крыс с аллоксановым диабетом (оранжевый столбик) и при предварительном введении бензонала (голубой столбик)
Примечание: составлен авторами по результатам данного исследования

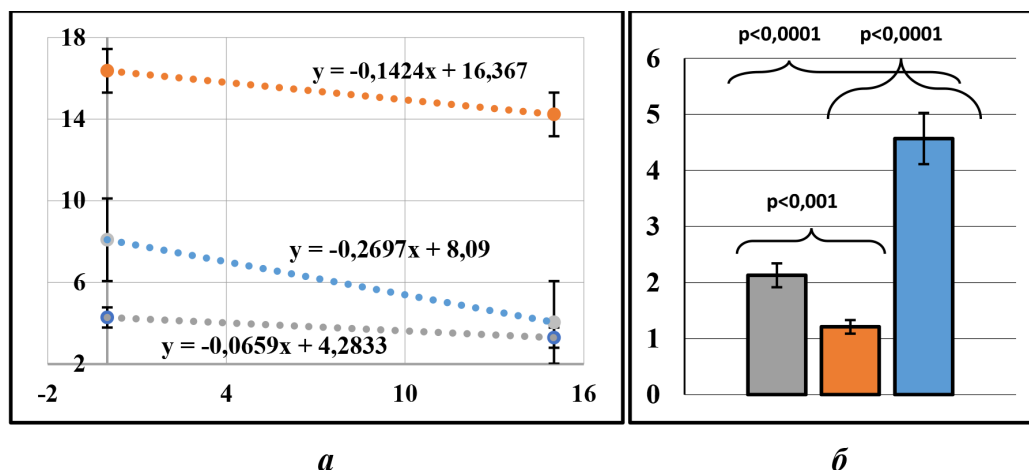


Рис. 3. Характер кривой при ИТТ в отрезке времени 0–15 мин у intactных (серая кривая), контрольных крыс (оранжевая линия) и крыс с предварительным введением бензонала (голубая кривая) (а): по оси абсцисс – время после подкожного введения инсулина, мин; ось ординат – концентрация глюкозы в крови, ммоль/л; константа скорости утилизации глюкозы на основании ИТТ ($K_{ИТТ}$) у intactных (серый столбик), контрольных крыс (оранжевый столбик) и крыс с предварительным введением бензонала (голубой столбик) (б): в % глюкозы/мин.
Примечание: составлен авторами по результатам данного исследования

Анализ результатов по изучению скорости утилизации ($K_{ИТТ}$) свидетельствует о развитии инсулинорезистентности у крыс с аллоксановым СД. Это несколько парадоксально, поскольку аллоксановый диабет 1 типа обусловлен дефицитом инсулина, а не резистентностью к нему. В то же время некоторые авторы показали, что аллоксан вызывает инсулинопенический диабет с нарушением толерантности к глюкозе и инсулинорезистентностью [10]. Возможно, реакция организма крыс с аллоксановым диабетом на введение инсулина не обусловлена

развитием истинной инсулинорезистентности. Это может быть реакцией измененного исходного статуса организма за счет первичного диабета, вызванного аллоксаном.

В литературе имеются данные о негативной роли в усугублении тяжести СД за счет глюкокортикоидных гормонов, которые повышаются при СД1 [11–13]. Известно, что они стимулируют процесс глюконеогенеза в печени и почках. Представляет интерес также довольно резкое повышение значения $K_{ИТТ}$ у крыс с предварительным введением бензонала.

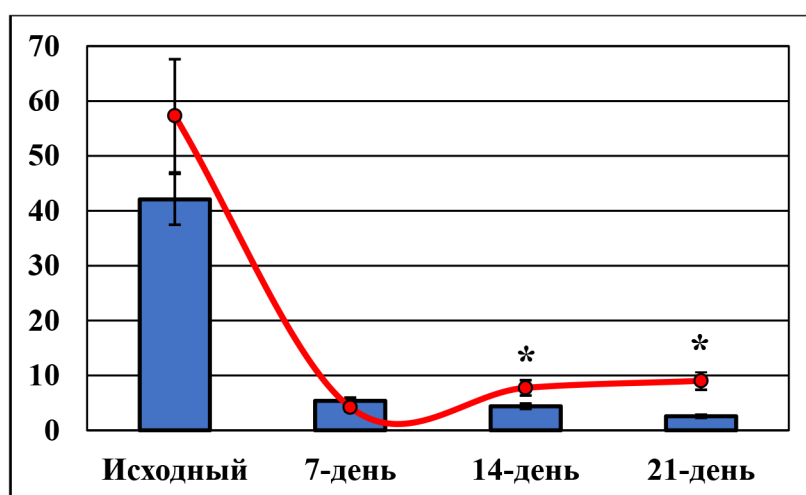


Рис. 4. Функциональная активность β -клеток в динамике развития аллоксанового сахарного диабета (столбики) и на фоне предварительного введения бензонала (кривая).

По оси ординат – функциональная активность β -клеток в усл. ед.,

* – $P < 0,05$ по сравнению со значениями контрольной группы

Примечание: составлен авторами по результатам данного исследования

Известно, что бензонал является мощным индуктором МОС печени. Можно предполагать, что на фоне индукции ферментов печени ускоряется метаболизм аллоксана, и это снижает его токсическое действие на β -клетки поджелудочной железы. Однако метаболизм аллоксана прямо не связан с ферментами системы цитохрома Р-450. Аллоксан детоксицируется на II фазе путем конъюгации его токсичных интермедиатов с восстановленным глутатионом при участии ферментов глутатионтрансфераз. В то же время известно, что фенобарбитал индуцирует глутатионтрансферазу [14, 15]. Тогда можно предполагать об усилении выведения аллоксана из организма при индукции его МОС предварительным введением бензонала. Это означает снижение количества токсичных интермедиатов аллоксана и менее существенное повреждение β -клеток поджелудочной железы. Изучение функциональной активности β -клеток показало, что введение аллоксана приводит к резкому ее снижению. Так, на 7, 14 и 21-е сутки она оказалась ниже исходного показателя на 87,2; 89,6 и 93,9 % (рис. 4). При предварительном введении бензонала функциональная активность β -клеток на 7, 14 и 21-е сутки исследования оказалась ниже исходного показателя на 92,7; 86,5 и 84,3 % от исходного значения. При этом сниженное значение этого показателя на 21,7 % от значения контрольной группы на 7-е сутки оказалось статистически незначимым

($P > 0,05$), а на 14-е и 21-е сутки оно оказалось выше на 76,1 и 251 % соответственно от значений контрольной группы.

Заключение

Таким образом, полученные результаты свидетельствуют о более благоприятном течении экспериментального аллоксанового диабета у крыс на фоне предварительного введения противоэпилептического препарата бензонала (бензобарбитала). Целью данного исследования была только оценка степени аллоксанового диабета у крыс при предварительном введении бензонала (бензобарбитала), и она не включала раскрытие механизмов положительного влияния его на течение патологии. Противоречивые данные в литературе о влиянии противоэпилептических препаратов на течение СД требуют дальнейших исследований этого вопроса с целью раскрытия механизмов положительного влияния бензонала на течение СД.

Список литературы

1. Esteves F., Rueff J., Kranendonk M. The Central Role of Cytochrome P450 in Xenobiotic Metabolism – A Brief Review on a Fascinating Enzyme Family // Journal of Xenobiotics. 2021. Vol. 11, Is. 3. P. 94–114. DOI: 10.3390/jox11030007.
2. Амосова М. В., Полубояринова И. В., Сальникова П. В., Жеребникова К. Ю., Фадеев В. В. Гепатогенный сахарный диабет: обзор литературы и описание трех клинических случаев // Проблемы Эндокринологии. 2025. Т. 71(2). С. 66–74 DOI: 10.14341/probl13443.

3. Bergman R. N., Piccinini F., Kabir M., Kolka C. M., Ader M. Hypothesis: Role of Reduced Hepatic Insulin Clearance in the Pathogenesis of Type 2 Diabetes // *Diabetes*. 2019. Vol. 68(9). P. 1709-1716. DOI: 10.2337/db19-0098. Erratum in: *Diabetes*. 2019. Vol. 68(12). P. 2350. DOI: 10.2337/db19-er12a.
4. Юлдашев Н. М., Мамазулунов Н. Х., Хабибуллаев С. М. Особенности развития экспериментального диабета у крыс с разным фенотипом по активности микросомальных оксидаз // *Научное обозрение. Биологические науки*. 2025. № 2. С. 51-57. DOI: 10.17513/srbs.1406.
5. Percie du Sert N., Hurst V., Ahluwalia A., Alam S., Avey M. T., Baker M., et al. The ARRIVE guidelines 2.0: Updated guidelines for reporting animal research // *PLoS Biol*. 2020. Vol. 18(7). № e3000410. DOI: 10.1371/journal.pbio.3000410.
6. Сорокина Ю. А., Занозина О. В., Постникова А. Д. Индексы инсулинорезистентности: возможность и необходимость их применения для оптимизации ведения больных сахарным диабетом 2-го типа // *Клиническая медицина*. 2020. № 98 (7). С. 529–535. DOI: 10.30629/0023-2149-2020-98-7-529-535.
7. Azubuike R. N., Sunday A. B., Atim B. A., Chibuzor S. A., Deborah E. I., Chidiebube S. O., Uduak A. I., Obinna O. U. Determination of Insulin Resistance, β -cell Function and Insulin Sensitivity Using Modified Homeostatic Model Assessment in Diabetic Rats Treated with Melatonin // *Arch Razi Inst*. 2025. Vol. 80(3). P. 665-673. DOI: 10.32592/ARI.2025.80.3.665.
8. Ojo O. A., Grant S., Amanze J. C., Oni A. I., Ojo A. B., Elebiyo T. C., et al. *Annona muricata* L. peel extract inhibits carbohydrate metabolizing enzymes and reduces pancreatic β -cells, inflammation, and apoptosis via upregulation of PI3K/AKT genes // *PLoS ONE*. 2022. Vol. 17(10). № e0276984. DOI: 10.1371/journal.pone.0276984.
9. Antunes L. C., Elkfury J. L., Jornada M. N., Foletto K. C., Bertoluci M. C. Validation of HOMA-IR in a model of insulin-resistance induced by a high-fat diet in Wistar rats // *Arch Endocrinol Metab*. 2016. Vol. 60(2). P. 138-142. DOI: 10.1590/2359-3997000000169.
10. Ader M., Richey J. M., Bergman R. N. Evidence for direct action of alloxan to induce insulin resistance at the cellular level // *Diabetologia*. 1998. Vol. 41(11). P. 1327-1336. DOI: 10.1007/s001250051073. PMID: 9833941.
11. Kuo T., McQueen A., Chen T. C., Wang J. C. Regulation of Glucose Homeostasis by Glucocorticoids // *Adv Exp Med Biol*. 2015. Vol. 872. P. 99-126. DOI: 10.1007/978-1-4939-2895-8_5.
12. Mosili P., Mkhize B. C., Sibiya N. H., Ngubane P. S., Khathi A. Review of the direct and indirect effects of hyperglycemia on the HPA axis in T2DM and the co-occurrence of depression // *BMJ Open Diabetes Research & Care*. 2024. Vol. 12. № e003218. DOI: 10.1136/bmjdc-2022-003218.
13. Maggie Chang, Jen-Chywan Wang. Hepatic Glucocorticoid Receptor Action and Glucose Homeostasis // *Endocrine Reviews*. 2026. Vol. 47, Is. 1. P. 52–74. DOI: 10.1210/edrev/bnaf030.
14. Okuda H., Potter B. J., Blades B., McHugh T. A., Jacobs L. N., Berk P. D. Dose-related effects of phenobarbital on hepatic glutathione-S-transferase activity and ligandin levels in the rat // *Drug Metab Dispos*. 1989. Vol. 17(6). P. 677-682. PMID: 2575507.
15. Cantiello M., Carletti M., Giantin M., Gardini G., Capolongo F., Cascio P., Pauletto M., Girolami F., Dacasto M., Nebbia C. Induction by Phenobarbital of Phase I and II Xenobiotic-Metabolizing Enzymes in Bovine Liver: An Overall Catalytic and Immunochemical Characterization // *Int J Mol Sci*. 2022. Vol. 23(7). № 3564. DOI: 10.3390/ijms23073564.

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.



ИЗУЧЕНИЕ ОНКОГЕННЫХ ТИПОВ ВИРУСА ПАПИЛЛОМЫ ЧЕЛОВЕКА, АССОЦИИРОВАННЫХ С РАКОМ ШЕЙКИ МАТКИ И ЕЕ ЦИТОПАТОЛОГИЕЙ, В ПОПУЛЯЦИИ ЖЕНЩИН САМАРКАНДСКОЙ ОБЛАСТИ

Ярмухамедова Г. Х. ORCID ID 0009-0001-5762-2113,

Кан С. В. ORCID ID 0000-0002-6740-7611,

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

*Самаркандский государственный университет имени Шарофа Рашидова,
Самарканд, Республика Узбекистан, e-mail: gulruhya@gmail.com*

Анализ специфики распределения генотипов вируса папилломы человека и ассоциированных с ними цитологических изменений в популяции женщин Самаркандской области необходим для оптимизации региональных программ скрининга и первичной профилактики. Изучены онкогенные типы вируса папилломы человека у женщин в Самаркандской области, ассоциированные с раком шейки матки и ее цитопатологией. Для исследования были использованы метод полимеразной цепной реакции с генотипированием, традиционная цитология с окрашиванием по Папаникоу и жидкостная цитология. Обнаружено, что наиболее часто встречаются комплекс инфекций и вирус папилломы человека 16 типа, обладающий наиболее выраженным потенциалом к инициации начальных цитопатологических изменений. В данной малой выборке наблюдались случаи ASC-H/HSIL, ассоциированные с генотипами 68, 58 и 73, что говорит о необходимости их включения в приоритетный список при проведении генотипирования. Высокий процент нормальных показателей цитологического заключения среди женщин, положительных на вирус папилломы человека, указывает на необходимость повторного тестирования через 6 или 12 месяцев для дифференциации персистирующей инфекции. Анализ связи вируса папилломы человека с цитопатологией шейки матки является важным в установлении персистенции его высокоонкогенных типов, являющихся причиной развития цервикальных интраэпителиальных неоплазий и инвазивного рака.

Ключевые слова: вирус папилломы человека, сочетание генотипов, цитопатология, дисплазия

Благодарности: Авторы выражают признательность всем коллегам за помощь в организации исследования и ценные советы в процессе работы над статьей.

STUDY OF ONCOGENIC HUMAN PAPILLOMAVIRUS TYPES ASSOCIATED WITH CERVICAL CANCER AND ITS CYTOPATHOLOGY IN THE FEMALE POPULATION OF THE SAMARKAND REGION

Yarmuhamedova G. Kh. ORCID ID 0009-0001-5762-2113,

Kan S. V. ORCID ID 0000-0002-6740-7611,

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

*Samarkand State University named after Sharof Rashidov,
Samarkand, Republic of Uzbekistan, e-mail: gulruhya@gmail.com*

The analysis of the specific distribution of human papillomavirus genotypes and associated cytological changes in the population of women in the Samarkand region is essential for optimizing regional screening programs and primary prevention strategies. Oncogenic types of human papillomavirus associated with cervical cancer and cervical cytopathological changes were studied among women in the Samarkand region. The study employed polymerase chain reaction with genotyping, conventional cytology with Papanicolaou staining, and liquid-based cytology methods. It was found that complex infections and human papillomavirus type 16 were the most prevalent, with HPV-16 demonstrating the highest potential for initiating early cytopathological changes. In this small sample, cases of ASC-H/HSIL associated with genotypes 68, 58, and 73 were identified, indicating the need to include these genotypes in the priority list during HPV genotyping. The high proportion of normal cytological findings among HPV-positive women highlights the importance of repeated testing after six or twelve months to differentiate transient infections from persistent HPV infection. The analysis of the association between human papillomavirus infection and cervical cytopathology is crucial for identifying the persistence of high-risk oncogenic HPV types responsible for the development of cervical intraepithelial neoplasia and invasive cervical cancer.

Keywords: human papillomavirus, mixed infections, cytopathology, dysplasia

Acknowledgements: The authors are grateful to all colleagues for their support in organizing the study and for their valuable advice during the preparation of this paper.

Введение

Одним из наиболее значимых инфекционных факторов, участвующих в возникновении онкологических заболеваний, является вирус папилломы человека. По оценкам Всемирной организации здравоохранения (ВОЗ), в мире каждый двадцатый случай рака связан с вирусом папилломы человека (ВПЧ), при этом большинство ВПЧ-ассоциированных поражений затрагивают репродуктивную систему как женского, так и мужского населения. На сегодняшний день выявлено более 200 различных типов ВПЧ и доказана роль ВПЧ-инфекции в развитии гинекологического рака, аногенитального рака и некоторых других видов рака, включая рак головы и шеи. Число ВПЧ-ассоциированных случаев рака может превышать 700 тыс. среди мужского и женского населения ежегодно, ВПЧ является причиной 1 из 20 новых случаев рака во всем мире [1–3].

Рак шейки матки занимает одно из ведущих мест в структуре онкологической заболеваемости у женщин репродуктивного возраста. Практически все случаи РШМ этиологически связаны с персистенцией высокоонкогенных типов ВПЧ. Исследование связи онкогенных типов вируса папилломы человека с раком шейки матки и ее цитопатологией является одной из самых приоритетных задач в современной гинекологии и онкологии [4].

Разные типы ВПЧ даже внутри группы высокого риска, такие как 16, 18, 31, 45, обладают различным потенциалом трансформации эпителия. Изучение онкогенных типов вируса, приводящих к тяжелым поражениям шейки матки в конкретной популяции, необходимо для точного прогнозирования рисков их появления. Анализ ассоциаций помогает определить, при каких генотипах вируса необходима немедленная кольпоскопия, а при каких возможна тактика наблюдения [5, 6].

Установление определенных связей между конкретными генотипами и морфологическими изменениями клеток помогает снизить процент ложноположительных и ложноотрицательных результатов цитологического исследования, позволяя проводить персонализированный подход к лечению женщин, снизить смертность от заболевания [7].

Научный интерес представляет выявление типов ВПЧ, которые чаще вызывают скрытую персистенцию, и тех, которые приводят к быстрой неоплазии, что необходимо для выделения групп «истинного риска». Взаимодействие или конкуренция разных

онкогенных типов вируса влияет на тяжесть цитопатологических изменений и дальнейшего прогрессирования болезни [8, 9].

Цель исследования – изучение онкогенных типов вируса папилломы человека в зависимости от стадии цитопатологии шейки матки в популяции женщин Самаркандской области.

Материалы и методы исследования

Проведено одномоментное (поперечное) наблюдательное исследование по изучению распространенности генотипов ВПЧ и их связи с цитологическими изменениями шейки матки у женщин Самаркандской области. Исследование выполнено на базе частной клиники INNOVA EXPERT (г. Самарканд, Республика Узбекистан) в период с января 2023 г. по декабрь 2025 г.

В исследование были включены 87 женщин в возрасте от 19 до 56 лет, проживающих в Самарканде и восьми районах Самаркандской области.

Критерии включения: при обследовании был выявлен ВПЧ методом полимеразной цепной реакции с генотипированием, наличие результата цитологического исследования шейки матки, подписанное добровольное информированное согласие на участие в исследовании.

Критерии исключения: беременность на момент обследования, ранее проведенная конизация шейки матки или хирургическое лечение цервикальной неоплазии, наличие злокачественных новообразований шейки матки в анамнезе, недостаточное количество или неудовлетворительное качество биологического материала, отсутствие результатов одного из этапов обследования.

Забор материала осуществлялся из цервикального канала с использованием одноразовой цервикальной щетки (Cervex-Brush). Полученный материал использовали для проведения молекулярно-генетического исследования и цитологического анализа.

Выявление и генотипирование ВПЧ проводилось методом полимеразной цепной реакции в режиме реального времени (Real-Time PCR) с использованием диагностического набора «HPV квант-21», производитель: ООО «ДНК-Технология ТС» (Россия), для выявления 21 генотипа ВПЧ высокого (HPV 16, 18, 26, 31, 33, 35, 39, 45, 51, 52, 53, 56, 58, 59, 66, 68, 73, 82) и низкого (HPV 6, 11, 44) онкогенного риска. Каждая серия исследований сопровождалась постановкой положительного и отрицательного контроля, а также внутреннего контроля амплификации для оценки качества выделения ДНК и отсутствия ингибирования реакции.

Цитологическая оценка состояния эпителия шейки матки проводилась двумя методами:

- 1) традиционная цитология с окрашиванием мазков по Папаниколау;
- 2) жидкостная цитология с использованием технологии CellPrep для получения монослойных препаратов.

Интерпретация результатов выполнялась в соответствии с международной системой Bethesda System (TBS, 2014) с выделением следующих категорий: NILM (Negative for Intraepithelial Lesion or Malignancy); ASC-US (Atypical Squamous Cells of Undetermined Significance); ASC-H (Atypical Squamous Cells – cannot exclude HSIL); LSIL (Low-grade Squamous Intraepithelial Lesion); HSIL (High-grade Squamous Intraepithelial Lesion).

Все препараты оценивались врачами-цитологами, имеющими соответствующую квалификацию. Оценивались адекватность мазка, достаточность клеточного материала и наличие зоны трансформации согласно рекомендациям Bethesda System (2014).

Исследование проводилось в соответствии с принципами Хельсинкской декларации Всемирной медицинской ассоциации (2013 г.). Все участницы подписали добровольное информированное согласие на использование обезличенных результатов лабораторных исследований в научных целях. Исследование одобрено Локальным комитетом по биоэтике Самаркандского государственного университета имени Шарофа Рашидова (протокол № 8 от 2026 г.).

Ограничения исследования. Ограничением настоящей работы является отсутствие данных гистологического исследования и расширенной кольпоскопии для группы пациенток данного исследования. Это не позволило провести окончательную верификацию степени тяжести интраэпителиальных неоплазий и сопоставить их с выявленным сочетанием генотипов ВПЧ высокого риска.

Статистическая обработка данных выполнялась с использованием пакета IBM SPSS Statistics версии 23. Количественные данные представлены в виде абсолютных значений (n) и относительных величин (%). Для оценки связи между генотипами ВПЧ и цитологическими изменениями использовали критерий χ^2 Пирсона или точный критерий Фишера при ожидаемых частотах менее 5. Силу ассоциации оценивали путем расчета отношения шансов (OR) с 95% доверительными интервалами (95% ДИ). Для множественных сравнений применялась коррекция Бенджамини – Хохберга (FDR). Различия считались статистически значимыми при $p < 0,05$.

Результаты исследования и их обсуждение

Вирус папилломы человека является главным этиологическим фактором развития дисплазии шейки матки и рака шейки матки. В разных географических популяциях структура ВПЧ-инфекции существенно различается: в странах Восточной Азии или отдельных регионах РФ (Сибирь, Кавказ) частота встречаемости типов 52, 58 или 31 может быть сопоставима с типом 16. В Центральной Азии высокая частота распространения ВПЧ характерна не только для 16 и 18, но и для 31, 33, 45, 52 и 58 типов [10–12].

Исследование региональных ассоциаций позволяет выявить «доминирующие онкотипы» именно для определенной популяции. У женщин Самаркандской области восприимчивость эпителия ткани к конкретным типам ВПЧ может зависеть от генетического фона населения, устанавливая конкретный «нетипичный» генотип ВПЧ, способный вызывать тяжелую дисплазию чаще, чем в среднем по миру. При этом региональная специфика часто включает характерные сопутствующие факторы: особенности сексуального поведения, распространенность курения, структуру других инфекций, передаваемых половым путем. Изучение онкогенных типов вируса папилломы человека в зависимости от стадии дисплазии шейки матки является ключевым направлением в онкогинекологии, так как персистенция высокоонкогенных штаммов служит прямой причиной развития цервикальных интраэпителиальных неоплазий [13, 14].

Общепризнанным мировым стандартом оценки результатов цитологического исследования мазков с шейки матки является система Бетесда (The Bethesda System, TBS), которая делит результаты на несколько основных групп [15, 16]:

1. NILM (Negative for Intraepithelial Lesion or Malignancy) – норма. Интраэпителиальные поражения и злокачественные процессы не обнаружены. Образец состоит из нормальных эндоцервикальных, промежуточных и поверхностных плоских эпителиальных клеток (рис. 1).

2. ASC-US (Atypical Squamous Cells of Undetermined Significance) – клетки с признаками атипичии неясного значения. Самый частый неопределенный результат требует наблюдения или теста на ВПЧ). В образце можно встретить крупную эозинофильную клетку с увеличенным и неправильной формы ядром, дискератотического типа (рис. 2).

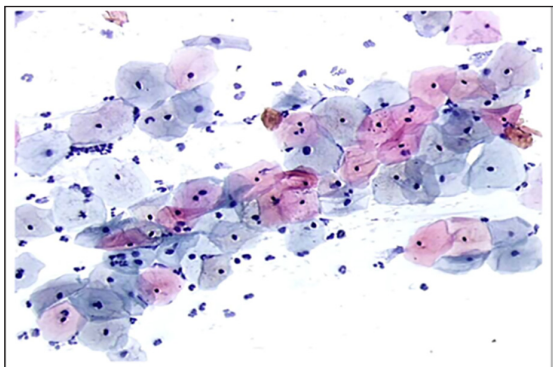


Рис. 1. Negative for Intraepithelial Lesion or Malignancy (интраэпителиальные поражения и злокачественные процессы не обнаружены)
Примечание: составлен авторами на основе источника: IARC Screening Group, Atlas of Cytopathology.
URL: https://screening.iarc.fr/atlascyto_detail.php?flag=0&lang=1&Id=cyto5940&cat=D1

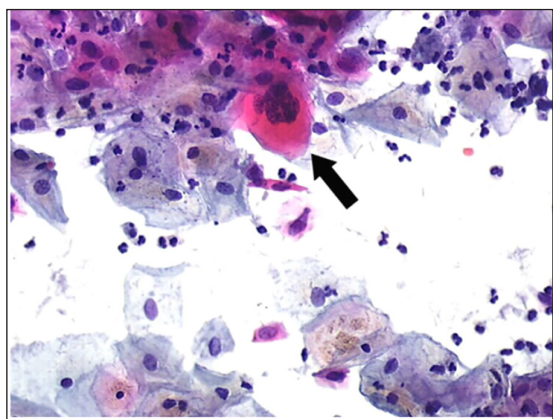


Рис. 2. Atypical Squamous Cells of Undetermined Significance (клетки с признаками атипии неясного значения)
Примечание: составлен авторами на основе источника: IARC Screening Group, Atlas of Cytopathology.
URL: https://screening.iarc.fr/atlascyto_detail.php?flag=0&lang=1&Id=cyto7885&cat=F1a1c

3. ASC-H (Atypical Squamous Cells, cannot exclude HSIL) – атипичные клетки, не позволяющие исключить HSIL (требует серьезного внимания).

4. LSIL (Low-grade Squamous Intraepithelial Lesion) – низкая степень повреждения клеток (обычно связана с активностью вируса ВПЧ и часто проходит сама).

5. HSIL (High-grade Squamous Intraepithelial Lesion) – высокая степень повреждения клеток. Это тяжелое поражение клеток, который требует обязательного лечения.

Образец представлен парабазаальными клетками с увеличением и неровными контурами ядра (рис. 3).

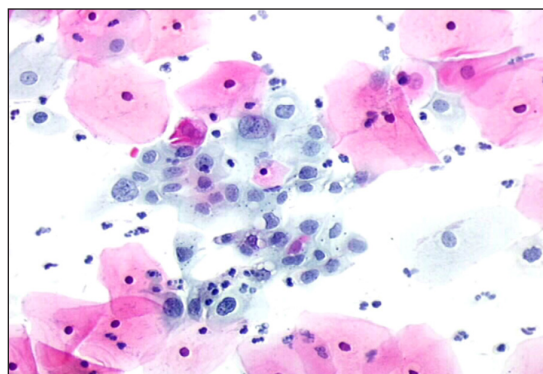


Рис. 3. High-grade Squamous Intraepithelial Lesion (высокая степень повреждения клеток)
Примечание: составлен авторами на основе источника: IARC Screening Group, Atlas of Cytopathology.
URL: https://screening.iarc.fr/atlascyto_detail.php?flag=0&lang=1&Id=cyto14873&cat=F1c2

Проведено исследование по изучению ассоциации онкогенных типов ВПЧ с тяжелой дисплазией у женщин Самаркандской области. Выявление связи вируса папилломы человека с цитопатологией шейки матки составляет основу современного скрининга рака шейки матки. В ходе исследования была проанализирована структура распределения генотипов вируса папилломы человека и их связь с цитологическими изменениями (табл. 1, рис. 4).

Из данных табл. 1 видно, что среди обследованных женщин Самаркандской области в 2023–2025 гг. выявлено широкое разнообразие генотипов вируса папилломы человека, причем частота их встречаемости и характер ассоциированных цитологических изменений существенно различались. Наиболее распространенным генотипом оказался ВПЧ 16 ($n = 15$), который составил наибольшую долю среди всех выявленных типов вируса. При этом у 40 % инфицированных данным генотипом женщин цитологическая картина соответствовала норме NILM, тогда как у 46,7 % наблюдались изменения, соответствующие LSIL.

Кроме того, в 13,3 % случаев регистрировался ASCUS. Полученные данные подтверждают высокую тропность ВПЧ 16 к эпителию шейки матки и его значимую роль в развитии интраэпителиальных поражений.

Таблица 1

Распределение генотипов вируса папилломы человека в зависимости от поражения шейки матки женщин Самаркандской области за 2023–2025 гг. (n = 87)

№	Генотип ВПЧ	Всего (n)	NILM		ASCUS		ASCH		LSIL		HSIL	
			abs	%	abs	%	abs	%	abs	%	abs	%
1	ВПЧ 16	15	6	40%	2	13,3%	0	0	7	46,7%	0	0
2	ВПЧ 51	4	1	25%	2	50%		0	1	25%		0
3	ВПЧ 56	8	5	62,5%	2	25%		0	1	12,5%		0
4	ВПЧ 52	3	1	33,3%	1	33,3%		0	1	33,3%		0
5	ВПЧ 39	2	1	50%	1	50%		0		0		0
6	ВПЧ 68	2		0		0		0	1	50%	1	50%
7	ВПЧ 45	5	4	80%		0		0	1	20%		0
8	ВПЧ 66	1	1	100%		0		0		0		0
9	ВПЧ 11	2	1	50%	1	50%		0		0		0
10	ВПЧ 18	1	1	100%		0		0		0		0
11	ВПЧ 44	6	3	50%	1	16,7%		0	2	33,3%		0
12	ВПЧ 73	2	1	50%		0	1	50%		0		0
13	ВПЧ 6	3	2	66,7%		0		0	1	33,3%		0
14	ВПЧ 53	5	4	80%		0		0	1	20%		0
15	ВПЧ 58	5		0	4	80%	1	20%		0		0
16	ВПЧ 35	1	1	100%		0		0		0		0
17	ВПЧ 33	2		0	1	50%		0	1	50%		0
18	Сочетание генотипов	20	11	55%	6	30%	1	5%	2	10%		0
	Итого	87	43	49,4%	21	24,1%	3	3,4%	19	21,8%	1	1,1%

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

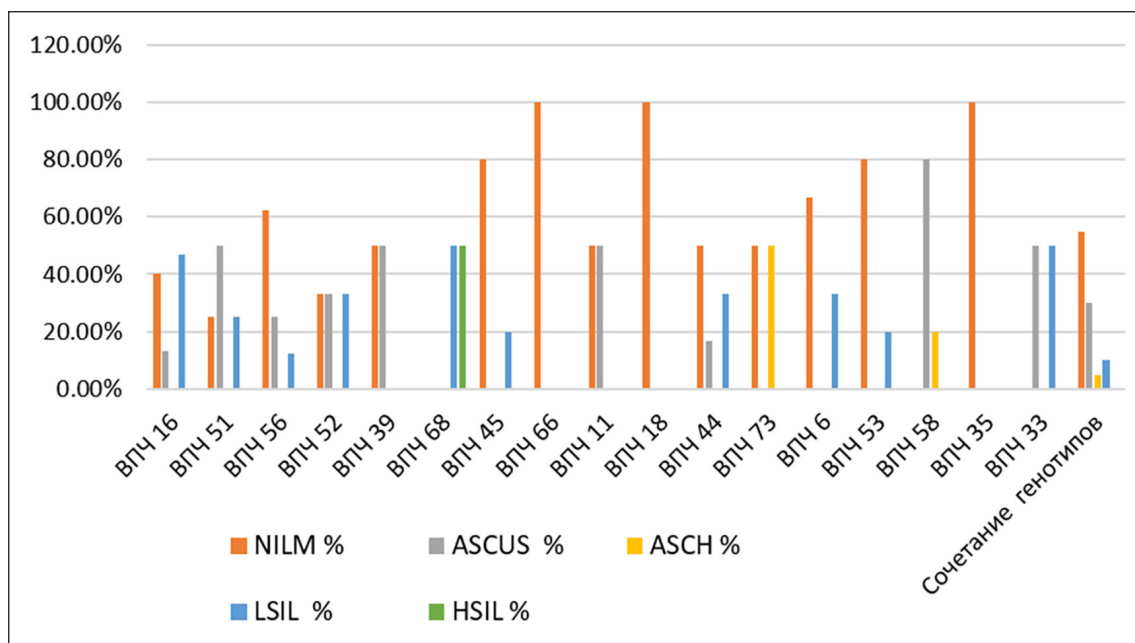


Рис. 4. Частота распределения типов вируса папилломы человека в зависимости от поражения шейки матки женщин Самаркандской области за 2023–2025 гг.

Примечание: составлен авторами по результатам данного исследования

Вторым по частоте выявления стал ВПЧ 56 ($n = 8$). Несмотря на преобладание нормальных цитологических результатов (62,5%), у 37,5% пациенток были обнаружены патологические изменения, включая ASCUS (25%) и LSIL (12,5%), что свидетельствует о его потенциальном участии в развитии цервикальной патологии.

Особого внимания заслуживает распределение ВПЧ 58 ($n = 5$). Ни в одном случае данный генотип не был выявлен при нормальной цитологической картине. Напротив, у большинства инфицированных женщин отмечались атипические изменения эпителия: ASCUS зарегистрирован в 80% случаев, а ASCH – в 20%. Такие результаты могут указывать на высокий онкогенный потенциал данного генотипа и его связь с ранними стадиями неопластической трансформации.

Схожая тенденция отмечалась при инфицировании ВПЧ 33 и ВПЧ 68. При ВПЧ 33 половина случаев сопровождалась ASCUS, а половина LSIL. В группе ВПЧ 68 отсутствовали случаи нормальной цитологии, причем в 50% наблюдений выявлялся LSIL и в 50% HSIL. Несмотря на небольшое число наблюдений, именно ВПЧ 68 оказался единственным генотипом, ассоциированным с высокоградусным поражением шейки матки в исследуемой выборке.

Для генотипов ВПЧ 51, 52, 44 и 39 была характерна смешанная структура цитологических результатов с сочетанием нормальных и патологических изменений различной степени выраженности. Так, при ВПЧ 51 патологические изменения выявлялись у 75% женщин, включая ASCUS (50%) и LSIL (25%), что позволяет рассматривать данный генотип как потенциально значимый фактор риска развития цервикальной неоплазии.

Низкоонкогенные генотипы ВПЧ 6 и 11 преимущественно ассоциировались с отсутствием выраженных цитологических нарушений. Однако в отдельных случаях ВПЧ 6 сопровождался LSIL (33,3%), а ВПЧ 11 ASCUS (50,0%), что согласуется с данными литературы о возможности развития доброкачественных и начальных диспластических изменений даже при инфицировании генотипами низкого онкогенного риска.

Следует отметить, что генотипы ВПЧ 18, 35 и 66 выявлялись единично и во всех случаях сопровождалась нормальной цитологической картиной. Однако малочисленность наблюдений не позволяет делать окончательные выводы относительно их клинического значения в исследуемой популяции. Отдельного внимания заслуживали комбинации нескольких генотипов ВПЧ, включая 16/51 (NILM); 16/11 (NILM)

2 случая); 16/11 (ASCUS); 16/6 (NILM); 16/6 (LSIL); 16/58 (ASCUS); 16/68/51 (ASCUS); 16/51/39/66/59 (ASCUS); 16/56 (NILM); 16/45/44 (ASCUS); 16/18/45 (ASCUS); 68/45/58/56 (ASCUS); 35/52 (NILM); 6/53 (NILM 2 случая); 53/56 (NILM); 51/56 (NILM); 11/66 (NILM); 16/59 (LSIL). Данные сочетания были выявлены у 20 женщин и являлись второй по численности группой после моноинфекции ВПЧ 16.

Более половины пациенток с сочетанным инфицированием имели нормальные цитологические показатели (55%), однако у 45% выявлялись различные патологические изменения, включая ASCUS (30%), ASCH (5%) и LSIL (10%). Это свидетельствует о возможном синергическом влиянии нескольких генотипов ВПЧ на процессы нарушения клеточной дифференцировки и пролиферации цервикального эпителия.

В целом анализ представленных данных показывает, что большинство случаев нормальной цитологии ассоциировано с ВПЧ 45, 53, 56, 6 и сочетанием генотипов, тогда как наиболее выраженная связь с патологическими цитологическими изменениями наблюдалась для генотипов ВПЧ 16, 58, 51, 33 и 68. Особое клиническое значение имеют ВПЧ 16 и ВПЧ 58 как наиболее распространенные высокоонкогенные типы, а также ВПЧ 68, ассоциированный с единственным случаем HSIL. Полученные результаты подтверждают важность генотипирования ВПЧ при проведении скрининга и прогнозировании риска развития предраковых поражений шейки матки у женщин Самарской области.

Исследования показали, что из 87 обследованных женщин у 43 (49,4%) патологических изменений эпителия не выявлено по категории NILM. Среди выявленных патологий обнаружены: атипия неопределенного значения ASCUS – 24,1% ($n = 21$) и поражения легкой степени LSIL – 21,8% ($n = 19$) соответственно. Тяжелые поражения составили соответственно HSIL-1,1% ($n = 1$) и подозрения на ASCH – 3,4% ($n = 3$).

Анализ распределения генотипов вируса папилломы человека в зависимости от цитологических изменений шейки матки показал неоднородное распределение отдельных типов ВПЧ среди женщин с различной степенью поражения эпителия. Наиболее часто встречался генотип ВПЧ 16 ($n = 15$), который выявлялся преимущественно у пациенток с LSIL (46,7%) и нормальной цитологической картиной (40%). Генотип ВПЧ 58 характеризовался высокой частотой атипических изменений: у 80% инфицированных женщин регистрировался ASCUS, а у 20% ASCH. Единственный случай HSIL был выявлен у пациентки, инфицированной ВПЧ 68.

Таблица 2

Связь генотипов ВПЧ с цитологическими изменениями шейки матки у женщин Самаркандской области (2023–2025 гг.)

Показатель	Значение
Общее число наблюдений	87
χ^2 Пирсона	97,06
Степени свободы (df)	68
p-value	0,012

Примечание: составлена авторами на основе полученных данных в ходе исследования. χ^2 Пирсона – критерий хи-квадрат Пирсона; df – число степеней свободы; p-value – уровень статистической значимости.

Сочетание нескольких генотипов было обнаружено у 20 обследованных женщин и сопровождалось патологическими цитологическими изменениями в 45 % случаев, включая ASCUS (30,0 %), ASCH (5,0 %) и LSIL (10,0 %).

Для оценки взаимосвязи между генотипом ВПЧ и цитологическим статусом был проведен χ^2 -анализ. Для данной выборки большинство генотипов представлены очень небольшим числом наблюдений ($n = 1-8$), поэтому использование классического χ^2 -теста для отдельных генотипов некорректно из-за малых ожидаемых частот. В этой ситуации предпочтителен точный критерий Фишера, а силу ассоциации следует оценивать через отношение шансов (OR) с 95 % доверительным интервалом. В качестве исхода были объединены все патологические цитологические изменения (ASCUS+ASCH+LSIL+HSIL) и сопоставлены с группой NILM.

Полученные результаты свидетельствуют о наличии статистически значи-

мой зависимости между типом вируса и характером цитологических изменений шейки матки ($\chi^2 = 97,06$; $df = 68$; $p = 0,012$) (табл. 2). Это указывает на различную онкогенную значимость отдельных генотипов ВПЧ и их неодинаковый вклад в развитие предраковых изменений эпителия шейки матки.

Дополнительно был рассчитан показатель отношения шансов для наиболее распространенного высокоонкогенного генотипа ВПЧ 16. Установлено, что вероятность выявления патологических цитологических изменений у женщин с ВПЧ 16 была в 1,59 раза выше по сравнению с носительницами других генотипов (OR = 1,59; 95 % ДИ 0,51–4,92) (табл. 3). Однако широкий доверительный интервал, включающий единицу, свидетельствует об отсутствии статистически значимого повышения риска, что, вероятно, связано с ограниченным объемом выборки.

Таким образом, полученные данные подтверждают наличие статистически значимой связи между генотипом ВПЧ и характером цитологических изменений шейки матки, при этом наибольший клинический интерес представляют высокоонкогенные генотипы ВПЧ 16, 58 и 68, ассоциированные с более выраженными патологическими изменениями цервикального эпителия.

Проведенные исследования показывают частоту распределения типов ВПЧ в зависимости от поражения шейки матки женщин Самаркандской области, где стадия NILM (интраэпителиальные поражения и злокачественные процессы не обнаружены) все еще превышает суммарный процент патологических состояний, но указывает на значительную прослойку пациенток с начальными изменениями ASCUS/LSIL.

Таблица 3

Оценка риска развития цитологических изменений при инфицировании ВПЧ 16

Генотип	Патологическая цитология (ASCUS+ASCH+LSIL+HSIL), n	NILM, n	OR	95 % ДИ
ВПЧ 16	9	6	1,59	0,51–4,92
Другие генотипы	35	37	Референс	–

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

OR – отношение шансов; 95 % ДИ – 95 % доверительный интервал; NILM – отрицательный результат на интраэпителиальные изменения или злокачественность; ASCUS – атипичные плоские клетки неопределенного значения; ASCH – атипичные клетки плоского эпителия, не исключающие HSIL; LSIL – плоскоклеточное интраэпителиальное поражение низкой степени; HSIL – плоскоклеточное интраэпителиальное поражение высокой степени. Референсная группа – другие генотипы ВПЧ.

Таблица 4

Связь генотипов ВПЧ с наличием цитологических изменений шейки матки

Генотип ВПЧ	n	OR	95 % ДИ	p	FDR-(p)
ВПЧ 58	5		0,65–226,18	0,055	0,856
ВПЧ 68	2	5,12	0,24–109,77	0,494	0,856
ВПЧ 33	2	5,12	0,24–109,77	0,494	0,856
ВПЧ 51	4	3,07	0,31–30,77	0,616	0,856
ВПЧ 52	3	2	0,18–22,91	1	1
ВПЧ 16	15	1,59	0,51–4,92	0,572	0,856
Сочетание генотипов	20	0,75	0,27–2,04	0,618	0,856
ВПЧ 44	6	0,98	0,19–5,12	1	1
ВПЧ 73	2	0,98	0,06–16,13	1	1
ВПЧ 39	2	0,98	0,06–16,13	1	1
ВПЧ 11	2	0,98	0,06–16,13	1	1
ВПЧ 56	8	0,56	0,12–2,49	0,484	0,856
ВПЧ 6	3	0,48	0,04–5,46	0,616	0,856
ВПЧ 66	1	0,32	0,01–8,03	0,494	0,856
ВПЧ 18	1	0,32	0,01–8,03	0,494	0,856
ВПЧ 35	1	0,32	0,01–8,03	0,494	0,856
ВПЧ 45	5	0,23	0,02–2,12	0,202	0,856
ВПЧ 53	5	0,23	0,02–2,12	0,202	0,856

Примечание: составлена авторами на основе полученных данных в ходе исследования. OR – отношение шансов; 95 % ДИ – 95 % доверительный интервал; p – точный критерий Фишера; FDR-(p) – значение (p), скорректированное по методу Бенджамини – Хохберга для контроля частоты ложных открытий при множественных сравнениях

Для оценки связи между генотипами ВПЧ и наличием цитологических изменений шейки матки ASC-US, ASCH, LSIL и HSIL был использован точный критерий Фишера с расчетом отношения шансов OR и 95 % доверительных интервалов. Наибольшая величина OR была выявлена для генотипа ВПЧ 58 (OR = 12,11; 95 % ДИ 0,65–226,18; p = 0,055), что свидетельствует о выраженной тенденции к ассоциации данного генотипа с патологическими цитологическими изменениями (табл. 4). Однако статистическая значимость не была достигнута вследствие малочисленности группы наблюдения. Повышенные значения OR также были обнаружены для ВПЧ 68 и ВПЧ 33 (OR = 5,12; 95 % ДИ 0,24–109,77), а также для ВПЧ 51 (OR = 3,07; 95 % ДИ 0,31–30,77), что может указывать на потенциальную связь указанных генотипов с развитием цервикальной патологии. Для наиболее распространенного высокоонкогенного генотипа ВПЧ 16 вероятность выявления цитологических изменений была выше в 1,59 раза по сравнению с остальными генотипами (OR = 1,59; 95 % ДИ 0,51–4,92; p = 0,572), однако статистически значимой ассоциации не выявлено.

После внесения поправки Бенджамини – Хохберга на множественные сравнения ни один из исследуемых генотипов не продемонстрировал статистически значимой связи с цитологическими изменениями шейки матки (FDR-p > 0,05). Полученные результаты следует интерпретировать с осторожностью ввиду ограниченного объема выборки и малого числа наблюдений для ряда генотипов ВПЧ.

Для табл. 2 ранее рассчитан критерий Пирсона $\chi^2 = 97,06$; df = 68; p = 0,012, что свидетельствует о статистически значимой зависимости между генотипом ВПЧ и характером цитологических изменений шейки матки в целом. Несмотря на отсутствие значимых различий для отдельных генотипов после коррекции на множественные сравнения, совокупное распределение генотипов достоверно различается между группами цитологических диагнозов. Это подтверждает неодинаковый вклад различных типов ВПЧ в формирование цервикальной патологии.

Ограничения исследования. При интерпретации полученных результатов следует учитывать ряд методологических ограничений данного исследования:

Малый объем выборки. Ограниченное число включенных клинических случаев ($n = 87$) снижает статистическую мощность исследования и ограничивает возможность экстраполяции результатов о распределении сочетающихся генотипов ВПЧ на общую популяцию, а также применение точных методов непараметрического анализа для выявления межгрупповых различий.

Клинический характер выборки. Формирование выборки носило клинический, а не популяционный (скрининговый) характер. В исследование были включены пациентки, уже обратившиеся за специализированной медицинской помощью, что обуславливает риск систематической ошибки отбора. Полученные частоты генотипов могут не отражать реальную структуру ВПЧ-инфекции в общей популяции.

Невозможность оценки персистенции ВПЧ. Отсутствие повторного тестирования в валидированные интервалы (6–12 месяцев) не позволяет различить транзитное носительство и истинную персистенцию высокоонкогенных штаммов ВПЧ, что ограничивает оценку их долгосрочного онкогенного потенциала.

Отсутствие контроля смешивающих факторов. Не проводился многофакторный анализ потенциальных конфаундеров, включая сопутствующие ИППП, гинекологический анамнез, курение, прием оральных контрацептивов и особенности локального иммунного статуса, что может влиять на результаты исследования.

Заключение

Проведенное исследование позволило определить ключевые особенности эпидемиологии и патогенетического потенциала папилломавирусной инфекции у женщин Самаркандской области. Мониторинг связи конкретных генотипов ВПЧ с цитопатологией шейки матки имеет решающее значение для оценки персистенции высокоонкогенных типов вируса. Прогнозирование развития цервикальных интраэпителиальных неоплазий на основе региональных особенностей позволит оптимизировать программы скрининга и снизить заболеваемость раком шейки матки в Самаркандской области.

Список литературы

1. Bruni L., Diaz M., Castellsagué X., Ferrer E., Bosch F. X., de Sanjosé S. Cervical human papillomavirus prevalence in 5 continents: meta-analysis of 1 million women with normal cytological findings // *Journal of Infectious Diseases*. 2010. Vol. 202. Is. 12. P. 1789–1799. DOI: 10.1086/657321.

2. Oltieva M. P., Alieva D. A., Abdusattorova S. B., Sharipova I. P., Juraev J. R., Shodiev T. S., Musabaev E. I., Baynazarov M. M., Odilov K. K., Jamoliddinov N. J., Mirzaev U. K. Epidemiology of high-risk HPV in Uzbekistan among 44,000 women – genotypes, risk profiles and screening needs in Uzbekistan // *BMC Infectious Diseases*. 2025. Vol. 25. Art. 1721. DOI: 10.1186/s12879-025-12096-7.

3. UNFPA Uzbekistan. HPV Primary Cervical Screening Pilot in the Republic of Uzbekistan: Analysis of Outcomes and Scale-up Strategies. Tashkent: UNFPA, 2026. [Электронный ресурс]. URL: <https://uzbekistan.unfpa.org/en/publications/hpv-primary-cervical-screening-pilot-republic-uzbekistan-analysis-outcomes-and> (дата обращения: 23.07.2026).

4. Куатбай А. Н., Габдильшимова З. Т., Хамидулина З. Г. Сравнительный анализ цитологического и гистологического исследования при аномальных кольпоскопических картинах: обзор литературы // *Репродуктивная медицина*. 2023. № 4. С. 52–57. DOI: 10.37800/RM.4.2023.52-57.

5. International Agency for Research on Cancer. Human Papillomavirus and Related Diseases Report: Uzbekistan // *ICO/IARC Information Centre on HPV and Cancer*. 2023. Summary Report. [Электронный ресурс]. URL: <https://hpvcentre.net/statistics/reports/UZB.pdf> (дата обращения: 28.07.2026).

6. Бегларзаде С. А., Мухаметова Р. Р., Жао Б. Перспективы комплексного скрининга и терапии рака шейки матки // *Креативная хирургия и онкология*. 2024. Т. 14. № 1. С. 60–68. DOI: 10.24060/2076-3093-2024-14-1-60-68.

7. Bolormaa E., Yusupov B., Akhmedova M., Yoo Y. J., Choe S.-A. Human papillomavirus knowledge and cervical cancer screening practice among Uzbekistan women // *Clinical and Experimental Obstetrics & Gynecology*. 2023. Vol. 50. Is. 1. P. 4. DOI: 10.31083/j.ceog5001004.

8. Rebolj M., Mathews C. S., Pesola F., Castañón A., Kitchener H. HPV Pilot Steering Group. Acceleration of cervical cancer diagnosis with human papillomavirus testing below age 30: observational study // *International Journal of Cancer*. 2022. Vol. 150. Is. 9. P. 1412–1421. DOI: 10.1002/ijc.33900.

9. Nayar R., Wilbur D. C. The Bethesda System for Reporting Cervical Cytology: Definitions, Criteria, and Explanatory Notes. 3rd ed. Springer, 2015 (updated 2020). 347 p. DOI: 10.1007/978-3-319-11074-5.

10. Stolnicu S. Role of human papillomavirus status in the classification, diagnosis, and prognosis of malignant cervical epithelial tumors and precursor lesions // *Pathologie (Heidelberg)*. 2026. Vol. 47. Suppl. 1. P. 97–103. DOI: 10.1007/s00292-025-01517-8.

11. Arbyn M., Simon M., Peeters E., Xu L., Meijer C. J. L. M., Berkhof J., Cuschieri K., Bonde J., Ostrbenk Vanlencak A., Zhao F.-H., Rezhake R., Gultekin M., Dillner J., de Sanjosé S., Canfell K., Hillemanns P., Almonte M., Wentzensen N., Poljak M. 2020 list of human papillomavirus assays suitable for primary cervical cancer screening // *Clinical Microbiology and Infection*. 2021. Vol. 27. Is. 8. P. 1083–1095. DOI: 10.1016/j.cmi.2021.04.031.

12. Ojha P. S., Maste M. M., Tubachi S., Patil V. S. Human papillomavirus and cervical cancer: an insight highlighting pathogenesis and targeting strategies // *VirusDisease*. 2022. Vol. 33. Is. 2. P. 132–154. DOI: 10.1007/s13337-022-00768-w.

13. Кравцова Е. А., Цыганов М. М., Литвяков Н. В., Ибрагимова М. К. ВПЧ-ассоциированный рак шейки матки: современное состояние и перспективы // *Acta Biomedica Scientifica*. 2023. Т. 8. № 3. С. 42–54. DOI: 10.29413/ABS.2023-8.3.4.

14. Jensen J. E., Becker G. L., Jackson J. B., Rysavy M. B. Human Papillomavirus and Associated Cancers: A Review // *Viruses*. 2024. Vol. 16. Is. 5. Art. 680. DOI: 10.3390/v16050680.

15. Zhou Y., Liu J., Chen S., Pan W., Lai Y., Xiao M., Shi Z., Xin X., Zhang L. Human papillomavirus genotyping and viral load as a predictor of cervical lesions: a prospective study // *Journal of Medical Virology*. 2025. Vol. 97. Is. 6. № e70386. DOI: 10.1002/jmv.70386.

16. Włoszek E., Krupa K., Skrok E., Budzik M. P., Deptała A., Badowska-Kozakiewicz A. HPV and cervical cancer-biology, prevention, and treatment updates // *Current Oncology*. 2025. Vol. 32. Is. 3. Art. 122. DOI: 10.3390/curroncol32030122.

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 ВЫХЛОПНЫХ ГАЗОВ АВТОТРАНСПОРТА НА СОДЕРЖАНИЕ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ В ПОЧВЕ

Холикулов Ш. Т., Нематов Х. М.

Самаркандский государственный университет имени Шарофа Рашидова, Самарканд,
Республика Узбекистан, e-mail: kholikulov48@mail.ru

В данной статье описывается загрязнение орошаемых луговых почв вокруг автомагистрали Ташкент – Термез тяжелыми металлами под воздействием автомобильных выхлопных газов. Эксперименты показали, что в орошаемых луговых почвах близ автомагистрали максимальное количество общей меди составляет 108,0 мг/кг (в 1,96 раза выше допустимой нормы, в 2,84 раза выше фонового показателя), свинца – 96,4 мг/кг (в 3 раза выше допустимой нормы, в 6,4 раза выше фонового показателя), цинка – 138,2 мг/кг (в 1,38 раза выше допустимой нормы и в 3 раза выше фонового показателя), никеля – 98,5 мг/кг (в 1,16 раза выше допустимой нормы, в 5,5 раза выше фонового показателя). Тяжелые металлы в основном накапливаются в верхнем слое почвы, в нижних слоях их меньше. На расстоянии 20–25 м от дороги количество тяжелых металлов постепенно уменьшается. Исследования показали, что почвы с правой стороны дороги Ташкент – Термез (то есть со стороны, ведущей из Ташкента в Термез) более загрязнены подвижными тяжелыми металлами, чем почвы с левой стороны (то есть со стороны, ведущей из Термеза в Ташкент).

Ключевые слова: орошаемая, луговая почва, тяжелые металлы, медь, свинец, цинк, никель, загрязнение, расстояние, фон

Благодарности: Авторы выражают искреннюю благодарность всем, кто оказал помощь в проведении данного исследования и подготовке статьи. Особая признательность выражается научным руководителям, коллегам и организациям за поддержку, ценные советы и содействие в выполнении работы.

THE INFLUENCE OF VEHICLE EXHAUST EMISSIONS ON THE HEAVY METAL CONTENT IN SOIL

Kholikulov Sh. T., Nematov Kh. M.

Samarkand State University named after Sharof Rashidov, Samarkand,
Republic of Uzbekistan, e-mail: kholikulov48@mail.ru

In this article, the contamination of irrigated meadow soils under the influence of automobile exhaust gases is described. Experiments have shown that in irrigated meadow soils near the highway, the maximum amount of total copper is 108.0 mg/kg (1.96 times higher than the permissible norm, 2.84 times higher than the background indicator), lead – 96.4 mg/kg (3 times higher than the permissible norm, 6.4 times higher than the background indicator), zinc – 138.2 mg/kg (1.38 times higher than the permissible norm and 3 times higher than the background indicator), nickel – 98.5 mg/kg (1.16 times higher than the permissible norm, 5.5 times higher than the background indicator). Heavy metals mainly accumulate in the upper layer of the soil and decrease from top to bottom. At a distance of 20–25 meters from the road, the amount of heavy metals gradually decreases. Studies have shown that soils on the right side of the Tashkent–Termez road (that is, on the side leading from Tashkent to Termez) are more contaminated with mobile heavy metals than soils on the left side (that is, on the side leading from Termez to Tashkent).

Keywords: irrigated, meadow soil, heavy metals, copper, lead, zinc, nickel, contamination, distance, background

Acknowledgements: The authors would like to express their sincere gratitude to all those who provided assistance in conducting this research and preparing the article. Special thanks are expressed to the scientific supervisors, colleagues and organizations for their support, valuable advice and assistance in carrying out the work.

Введение

Быстрый рост населения мира увеличивает спрос на продукты питания. Это означает необходимость надлежащего и рационального использования имеющихся земельных ресурсов. Использование различных пестицидов и минеральных удобрений в процессе интенсивного земледелия привели к загрязнению почвы различными вредными химическими веществами, включая тяжелые металлы.

Сегодня автомобили также являются причиной увеличения выбросов тяжелых металлов в почву в результате транспортной деятельности. К основным тяжелым металлам относятся свинец, ртуть, кадмий, медь, никель, хром, среди которых свинец является наиболее вредным. Загрязнение

почвы транспортными отходами происходит постепенно, в зависимости от количества транспортных средств, проезжающих по дорогам, и продолжается некоторое время даже после прекращения движения.

На сегодняшний день на планете в результате развития отраслей промышленного производства возрастает загрязнение окружающей среды и почв различными вредными отходами. Данное загрязнение происходит по цепочке «воздух – почва – вода – растение – живой организм». В современную эпоху индустриального развития тяжелые металлы являются одной из основных групп загрязнителей почв [1–4].

Конференция ООН по окружающей среде в 1973 г. определила свинец, кадмий и ртуть как наиболее опасные токсичные эле-

менты для окружающей среды. Позже к ним были добавлены такие элементы, как медь, олово, ванадий, хром, молибден, кобальт, никель, сурьма, мышьяк и селен [5–7].

В настоящее время тяжелые металлы по степени опасности делятся на три класса (чрезвычайно опасные, умеренно опасные и менее опасные элементы). К первому классу относятся мышьяк, кадмий, ртуть, селен, свинец, цинк; ко второму классу – кобальт, никель, молибден, медь, сурьма; а к третьему классу – барий, ванадий, вольфрам, марганец и стронций [7].

Согласно источникам, свинец, кадмий, ртуть и мышьяк являются токсичными элементами, которые не выполняют никаких важных биологических функций, хотя они всегда присутствуют в тканях растений, животных и человека [5, 7].

По результатам наблюдений, за сутки по этой дороге проезжает от 28 408 до 30 364 транспортных средств. Из них от 23 223 до 24 436 – легковые автомобили, а 5185–5928 – грузовые автомобили. Выбросы от этих транспортных средств оказывают специфическое негативное воздействие на почву и растительность вокруг дороги. Загрязнение почв, распространенных вдоль магистральных автомобильных дорог, различными вредными химическими соединениями, включая тяжелые металлы, в основном связано с выбросами, выделяющимися в процессе сгорания автомобильного топлива, износа шин и торможения [8, 9].

Загрязнение тяжелыми металлами различных почв вокруг автомагистралей в Узбекистане было изучено, например, в работах [10, 11]. Однако научных исследований в этой области недостаточно.

Цель исследования – изучение влияния автомобильных дорог на содержание тяжелых металлов в почве.

Материалы и методы исследования

Объектом исследования являются орошаемые лугово-сероземные почвы и тяжелые металлы, выделяемые автотранспортом.

М-39 Ташкент – Термез является одной из основных магистралей, которая проходит через Сырдарьинскую область Узбекистана.

Согласно многолетним данным Сырдарьинской региональной зональной гидрометеорологической станции, температура воздуха в регионе превышает 10 °С преимущественно с апреля по октябрь. Температура воздуха влияет на различные биологические, химические и физико-химические процессы в почве. Повышение температуры почвы увеличивает количество питательных веществ, необходимых для растений, за счет повышения активности полезных микроорганизмов. При этом наряду с макроэлементами, необходимыми для расте-

ний в почве, увеличивается и количество подвижных тяжелых металлов. Это оказывает специфическое воздействие на загрязнение почв региона.

Сырдарьинский регион расположен в зоне сильных ветровых движений, регион находится под сильным влиянием северных и восточных (Бекабадский район) ветров. Ветер в регионе дует преимущественно с востока в мае-июне. Средняя скорость ветра составляет 3,2 м/с [12]. Среднегодовой ветровой режим следующий: С – 11 %, СВ – 9 %, В – 20 %, ЮВ – 9 %, Ю – 15 %, ЮЗ – 8 %, З – 14 %, СЗ – 14 % (рис. 1).

Ветровой режим региона также играет значительную роль в загрязнении почв. Наиболее частые восточные (20 %) ветры вызывают распространение автомобильных выбросов с трассы М39 Ташкент – Термез на западную сторону дороги. В результате увеличивается загрязнение почв на западной стороне трассы различными выбросами, включая тяжелые металлы.

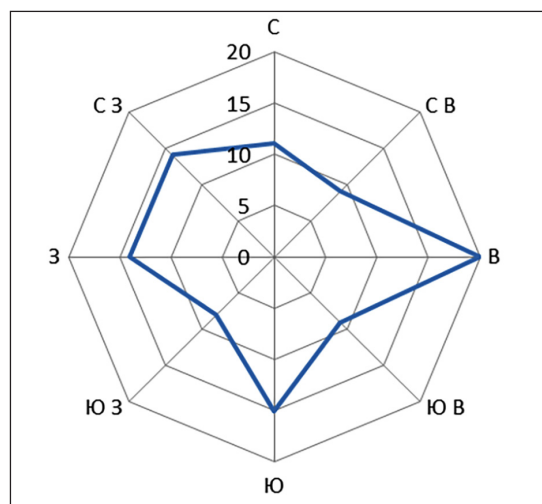


Рис. 1. График «Роза ветров»
Примечание: составлен авторами
на основе источника [13]

Исследуемая территория расположена в Туранской почвенно-климатической зоне и характеризуется разнообразием почвенного покрова. В регионе широко распространены гидроморфные и полугидроморфные почвы [12]. Исследованные участки, расположенные вдоль трассы М-39 Ташкент – Термез, в основном покрыты орошаемыми луговыми почвами. Растительность этого района чрезвычайно разнообразна, здесь произрастают различные растения, такие как ромашка, подбел, мак, пырей ползучий, солодка, тростник, верблюжья колючка, полынь, тамариск, эфемерные и эфемероидные растения. Также встречается множество видов кустарников и деревьев.

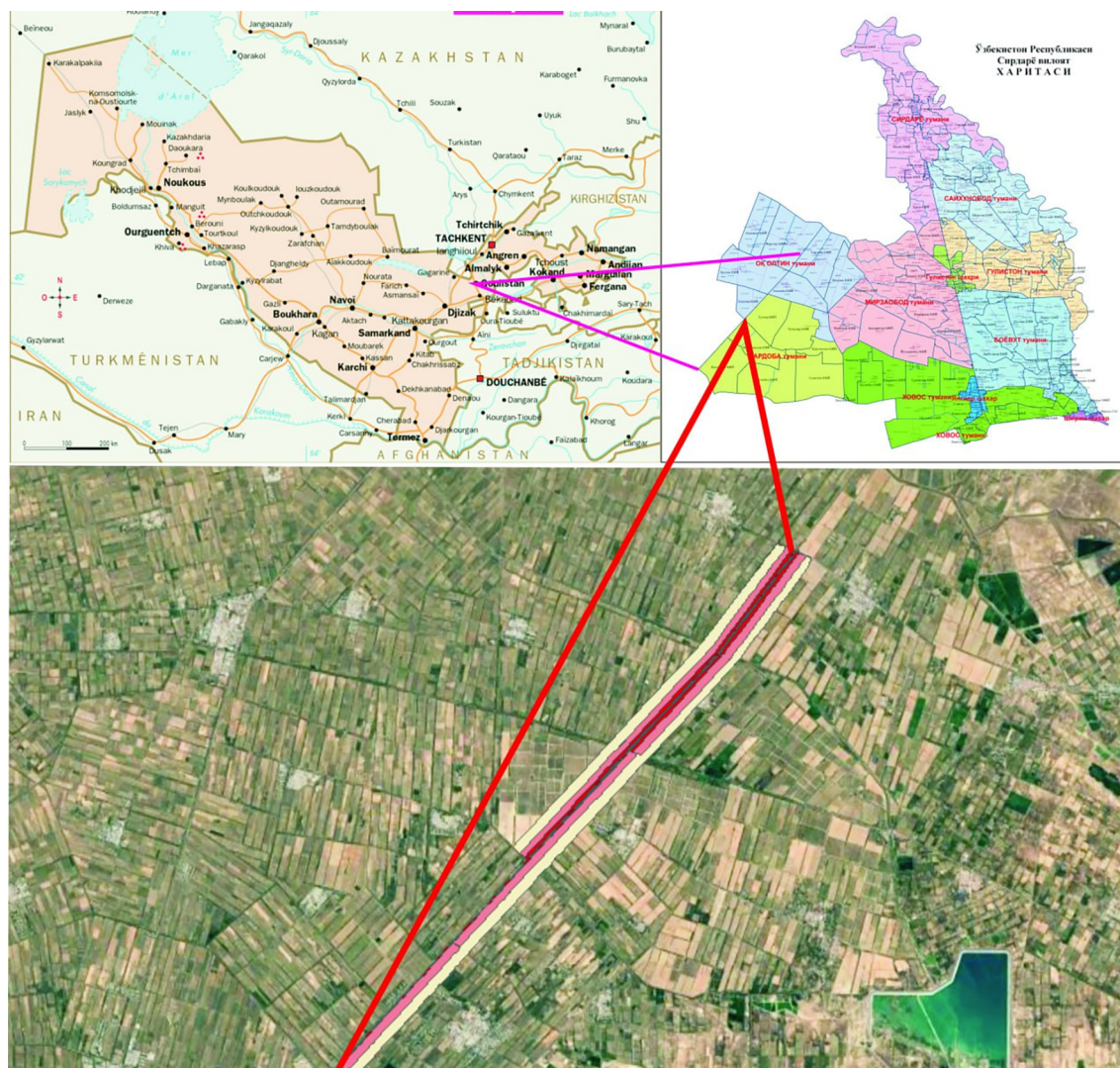


Рис. 2. Карта и спутниковые снимки исследуемой территории
Методы отбора и анализа почвы
Примечание: разработан Н. Умаровым в ArcGIS

На орошаемых почвах выращивают хлопок, пшеницу, рис, кукурузу и другие культуры.

Выбор участков основывался на почвенной карте региона масштаба 1:10000. Один из выбранных участков располагался справа (массив У. Насира Акалтынского района) от автомагистрали Ташкент – Термез, а три – слева (рис. 2). Пробы почвы с выбранных полей отбирались каждые 5 м от автомагистрали до 100 м, каждые 10 м до 200 м, каждые 25 м до 300 м, каждые 50 м до 500 м и каждые 100 м до 1000 м. Пробы перемешивались методом конвертов и усреднялись. Вес каждой усредненной пробы составлял 1000 г.

В общей сложности было отобрано 344 образца почвы из верхнего и нижнего слоев (0–30 и 30–50 см). Кроме того, был выбран

участок, типичный для этих почв и не подверженный воздействию тяжелых металлов, в 20 км от автомагистрали. Этот участок служил фоном для изучаемых сероземно-луговых почв. Также на исследуемых полях на расстоянии 75–80 м от автомагистрали были заложены 4 почвенных разреза. Проводилось описание разрезов. Из каждого слоя были отобраны образцы почвы. Образцы были подготовлены к анализу, были проведены соответствующие анализы.

В лабораторных условиях определяли гранулометрический состав почвы пипеточным методом Качинского; гумус – методом Тюрина; общий NPK – методом Мальцевой – Гриценко в одном образце; $N-NO_3$ – методом Грандвальда – Ляджу; $N-NH_4$ – реактивом Несслера; подвижный фосфор – методом Мачигина; обменный калий – методом Ма-

чигина – Протасова в пламенном фотометре; реакцию почвенной среды (рН) – потенциометрическим методом; тяжелые металлы в составе почвы определяли методом атомно-эмиссионной спектроскопии с индуктивно связанной плазмой [14]; статистический анализ экспериментальных результатов проводили методом В. А. Доспехова [15].

Результаты исследования и их обсуждение

Проведенные исследования показывают, что содержание гумуса в верхнем пахотном слое составляет около 0,5–1,2 %, уменьшаясь к нижним слоям. Эти почвы очень бедны и плохо обеспечены необходимыми для растений общими и подвижными питательными веществами. Общее содержание азота в пахотном слое исследованных почв составляет 0,08–0,15 %, фосфора – 0,07–0,014 %, а калия – 1,2–2,1 %. Почвы бедны подвижными питательными веществами: содержание подвижного фосфора составляет 8–40 мг/кг, а калия – 170–280 мг/кг. По механическому составу почвы классифицируются как легкие и средние суглинки. Грунтовые воды залегают на глу-

бине 3–4 м и периодически поднимаются. На некоторых полях наблюдается эрозия, вызванная орошением.

Анализ показал, что отходы, образующиеся в результате эксплуатации автомагистрали Ташкент – Термез, оказали влияние на содержание тяжелых металлов в серых луговых почвах, распространенных в этом районе. Распределение тяжелых металлов в этих почвах зависит от расстояния автомагистрали, направления ветра, гранулометрического состава почвы и ряда других факторов. Согласно исследованию, автомобильные отходы оказали специфическое влияние на содержание меди в орошаемых луговых почвах (рис. 3).

Содержание общей меди в исследованных орошаемых луговых почвах постепенно увеличивалось до расстояния 20–25 м от автомагистрали, а максимальное значение было определено на участке 4. Содержание общей меди в образцах почвы, взятых на расстоянии 25 м от автомагистрали, составило 108,0 мг/кг. Этот показатель в 1,96 раза выше допустимого предела содержания меди (55 мг/кг) и в 2,84 раза выше фонового показателя (38 мг/кг).

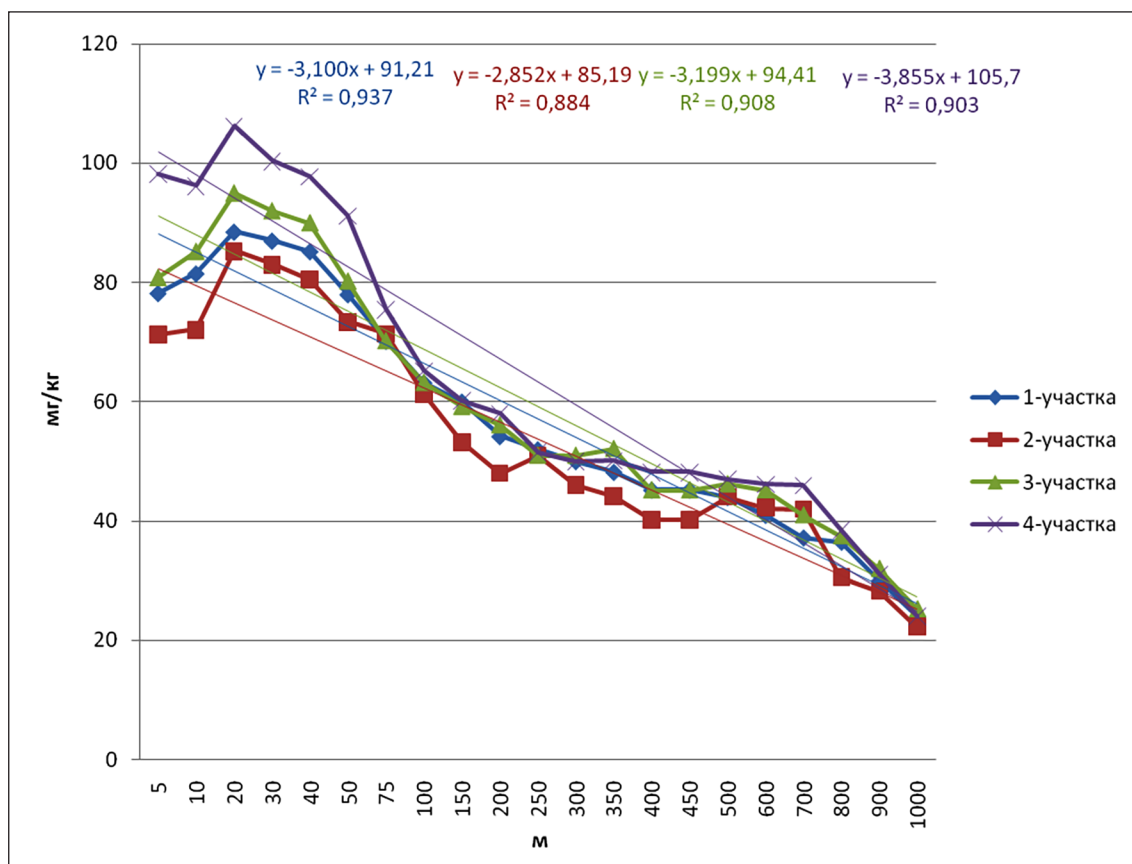


Рис. 3. Общее содержание меди
Примечание: составлен авторами по результатам исследования

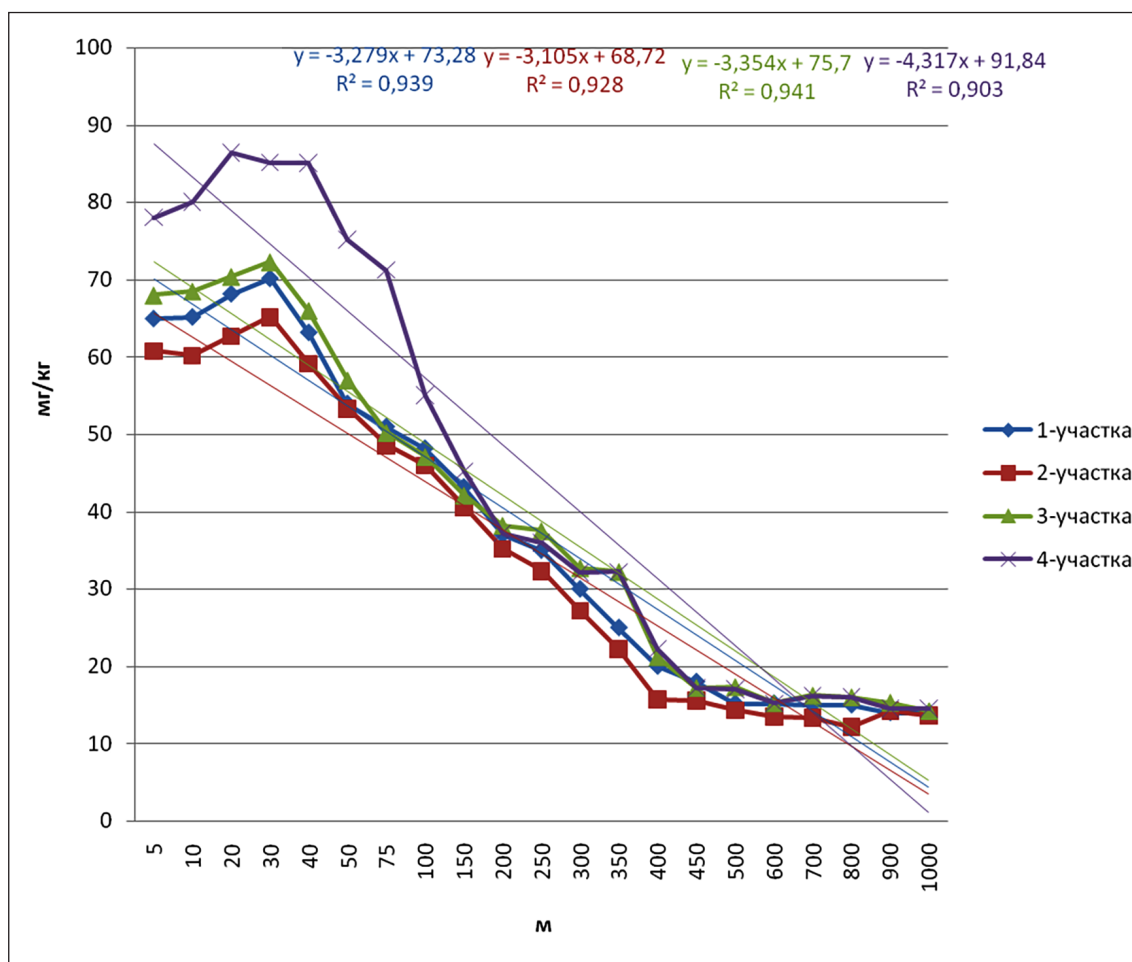


Рис. 4. Общее содержание свинца
Примечание: составлен авторами по результатам исследования

Содержание меди превышало 80 мг/кг на всех исследованных полях на расстоянии 30–40 м от автомагистрали. То есть количество меди в образцах почвы, взятых со всех полей на этих расстояниях, примерно в 1,5 раза превышает ПДК, а фоновый показатель более чем в 2 раза. Почвы, содержащие 60 мг/кг и более меди, были зафиксированы на всех полях на расстоянии 150 м. Почвы с содержанием меди менее ПДК (то есть 55 мг/кг) начинаются на расстоянии 200 м на поле 1 и 250 м на полях 3 и 4. Почвы с содержанием меди 40 мг/кг и более встречаются на расстоянии 600–650 м на первом поле и до 700–750 м на остальных полях. На указанных расстояниях концентрация меди в почве на всех участках, кроме участка 4, была ниже фонового уровня (38 мг/кг) (рис. 3).

Общее содержание свинца в почвах, расположенных вдоль автомагистрали Ташкент – Термез, также подвергалось влиянию автомобильных выбросов. Общее содержа-

ние свинца, как и меди, постепенно увеличивалось на расстоянии до 25–30 м от автомагистрали. Максимальное общее содержание свинца на исследуемых участках было зафиксировано на участке 4 на расстоянии 25 м от автомагистрали и составило 96,4 мг/кг. Этот показатель в 3 раза выше допустимого содержания свинца и в 6,4 раза выше фонового показателя (рис. 4).

Установлено, что общее содержание свинца в почве исследуемых полей на расстоянии до 50 м от автомагистрали составляет более 50 мг на 1 кг почвы. То есть общее количество свинца на всех участках до указанного расстояния в 2,3 раза выше ПДК и в 5 раз выше фонового уровня. Почвы, содержащие 40 мг/кг и более свинца, были обнаружены на расстоянии 150–175 м на всех исследуемых полях. Почвы, содержащие 30 мг/кг и более свинца, были зафиксированы на расстоянии до 300 м на участке 1, 250 м на участке 2 и 350 м на участке 3 и 4. На рассто-

янии от 300 м от автомагистрали количество свинца на всех участках было меньше допустимого предела (32 мг/кг). На расстоянии 400 м на поле 2, 500 м на участке 1 и 600 м на участке 3 и 4 количество общего содержания свинца равно фоновому уровню. На этих расстояниях на некоторых из них были обнаружены количества свинца, меньшие, чем фоновый индикатор (рис. 4).

Анализ показал, что максимальное общее содержание цинка в исследованных почвах было зафиксировано на участке 4, в 20 м от автомагистрали, и составило 138,2 мг/кг (рис. 5). Этот показатель в 1,38 раза выше допустимого предела содержания цинка (100 мг/кг) и в 3 раза выше фоновое значение (45 мг/кг).

На участках 1 и 2 на расстоянии до 50 м от дороги были обнаружены почвы, содержащие 75–100 мг/кг цинка, а на участке 3 и 4 – на расстоянии до 75 м, тогда как на участке 1 почвы, содержащие 50–75 мг/кг цинка, были обнаружены на расстоянии 250 м, на участке 2 – на расстоянии 150 м, а на участках 3 и 4 – на расстоянии до 300 м.

На этом расстоянии содержание цинка во всех исследованных почвах было близко

к фоновому значению или равно ему, а в некоторых случаях даже ниже.

При анализе влияния автомобильных выбросов на содержание никеля в почве было установлено, что на участке 4, в 5 м от автомагистрали, составило 98,5 мг/кг. На участке 1 содержание никеля оказалось выше допустимого предела (85 мг/кг) на расстоянии 40 м от дороги; на участке 3 содержание никеля оказалось выше допустимого предела на расстоянии до 40 м (рис. 5). Только на участке 2 содержание никеля было равно ПДК (85,2 мг/кг) на расстоянии 20 м. На остальных точках содержание никеля оказалось ниже ПДК.

Почвы, содержащие 50 мг/кг и более никеля, были обнаружены на расстоянии до 100 м на участке 1, 75 м на участке 2, 150 м на участке 3 и 200 м на участке 4. Почвы, содержащие 25–50 мг/кг никеля, были обнаружены только на расстоянии до 350 м на участке 2 и до 450 м на остальных участках.

Фоновое содержание никеля в этих почвах составляло 18 мг/кг. На исследованных полях оно было равно или меньше фоновое значение, начиная с расстояния 500–600 м от дороги (рис. 6).

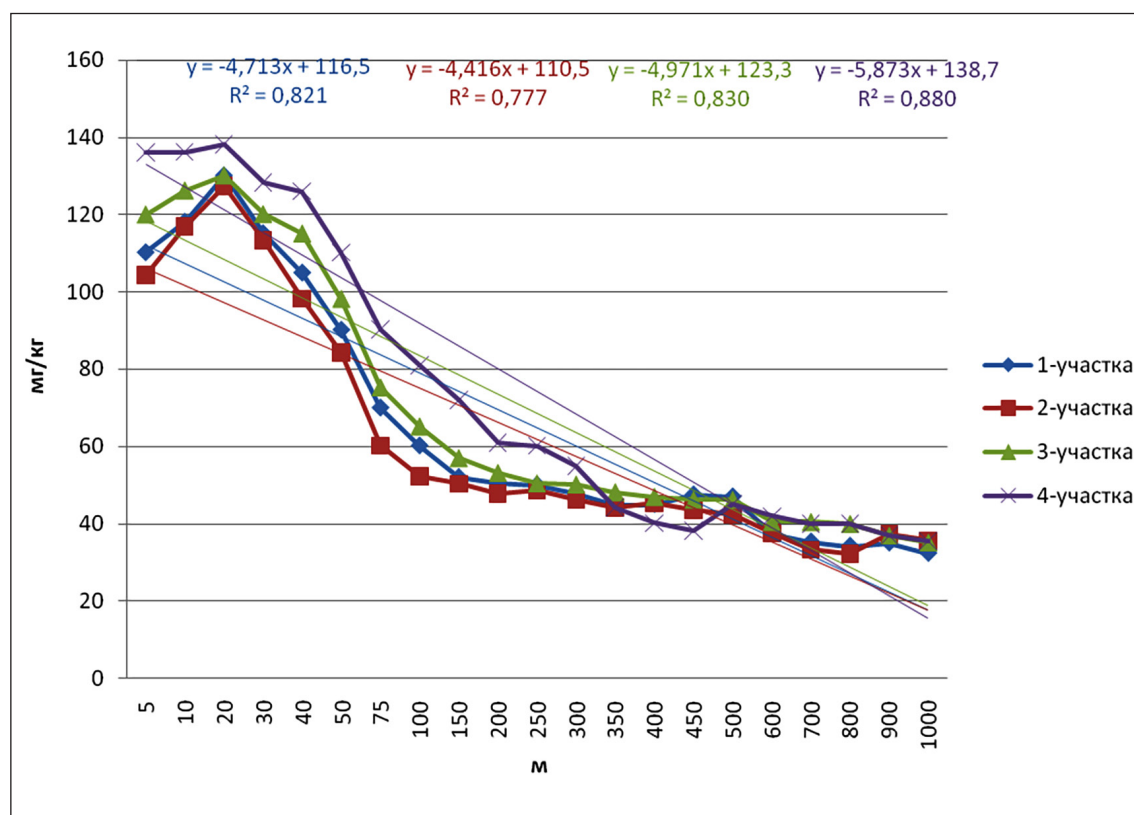


Рис. 5. Общее содержание цинка
Примечание: составлен авторами по результатам исследования

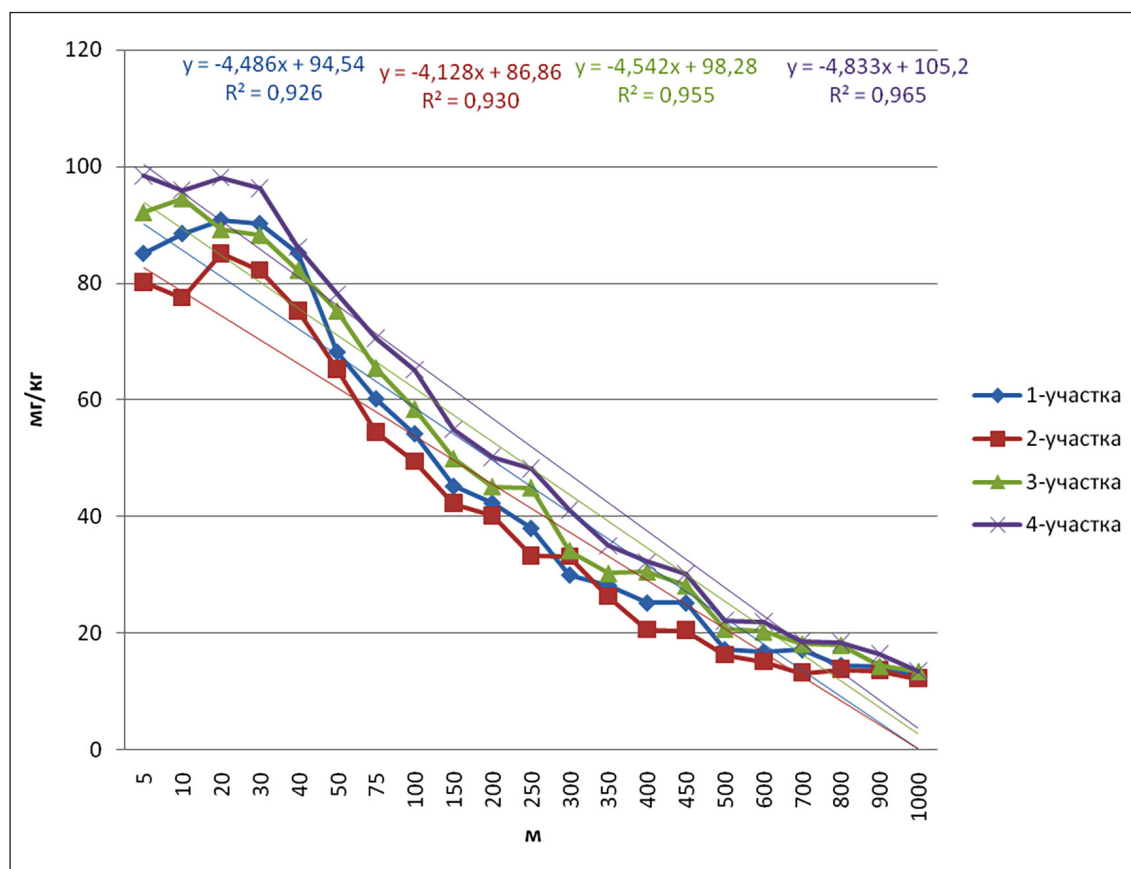


Рис. 6. Общее содержание никеля
Примечание: составлен авторами по результатам исследования

Именно поэтому почвы, расположенные на участке 4, расположенном справа от автомагистрали Ташкент – Термез, оказались более загрязнены тяжелыми металлами, чем другие участки. Основная причина этого – ветровой режим региона (рис. 1). Кроме ветрового режима на содержание тяжелых металлов оказывает гранулометрический состав почвы. Из остальных трех участков участок 2 оказался менее загрязненным. Основная причина этого заключается в том, что почвы этого участка имеют более легкий гранулометрический состав, чем почвы остальных участков. То есть меньшее количество глинистых частиц (частиц размером менее 0,01 мм) в верхних слоях почвы по сравнению с другими участками.

Также возможно, что количество гумуса в почве могло оказать специфическое влияние на загрязнение исследуемых почв тяжелыми металлами. Это связано с тем, что специфическое влияние количества гумуса в почве на распределение тяжелых металлов подчеркивалось в ряде литературных источников [16, 17].

Кроме того, на распределение тяжелых металлов в этом районе могли повлиять рельеф местности и местные дороги, а именно дороги, ведущие к населенным пунктам вокруг полей.

Заключение

Таким образом, орошаемые сероземно-луговые почвы, расположенные вдоль автомагистрали Ташкент – Термез, подвержены загрязнению тяжелыми металлами под воздействием выхлопных газов автотранспорта. Максимальное валовое содержание тяжелых металлов отмечается на расстоянии до 20–25 м от дороги, после чего их концентрация постепенно уменьшается. Почвы, расположенные с правой стороны автомагистрали Ташкент – Термез (по направлению движения из Ташкента в Термез), характеризуются более высоким содержанием тяжелых металлов, чем почвы на левой стороне. Основной причиной этого является ветровой режим региона: преобладающие восточные ветры переносят загрязняющие вещества в западном направлении, способствуя накоплению

элементов в почве. На содержание тяжелых металлов также оказывают влияние гранулометрический состав и количество гумуса в почве, рельеф местности, а также наличие локальных дорог, ведущих к населенным пунктам, расположенным вокруг исследуемых полей.

Список литературы

1. Головатый С. Е., Савченко С. В., Самусик Е. А. Формирование педогеохимических аномалий в зонах воздействия промышленных предприятий // Журнал Белорусского государственного университета. Экология. 2018. № 3. С. 94–103. URL: <https://journals.bsu.by/index.php/ecology/ru/article/view/2661> (дата обращения: 15.06.2026).
2. Головатый С. Е., Савченко С. В., Самусик Е. А. Кадмий, цинк и свинец в почвах в зоне воздействия промышленных предприятий // Журнал Белорусского государственного университета. Экология. 2017. № 4. С. 70–80. URL: <https://journals.bsu.by/index.php/ecology/ru/article/view/2616> (дата обращения: 15.06.2026).
3. Горшкова П. П., Лавреникова О. А. Загрязнение почв тяжелыми металлами // Символ Науки. 2023. № 2–1. С. 19–20. URL: <https://os-russia.com/SBORNIKI/SN-2023-02-1.pdf> (дата обращения: 15.06.2026).
4. Досалиев К. С., Жантасов К. Т., Босак В. Н. Перспективы применения техногенных отходов // Инновационные решения в технологиях и механизации сельскохозяйственного производства. Горки: БГСХА, 2018. Вып. 3. С. 20–22. ISBN 978-985-882-234-7.
5. Государственный доклад «О состоянии и об охране окружающей среды Российской Федерации в 2017 году» / под ред. сост. Сельковой и др. М.: Минприроды РФ; НПП «Кадастр», 2018. 888 с. [Электронный ресурс]. URL: gosdoklad.mnr.gov.ru. (дата обращения: 15.06.2026).
6. Селюкова С. В. Агроэкологическая оценка содержания свинца, кадмия, ртути и мышьяка в агроценозах лесостепной зоны Белгородской области // Современное состояние почвенного покрова, сохранение и воспроизводство плодородия почв: сборник трудов Всероссийской научно-практической конференции (г. Махачкала, 14–15 августа 2018 г.). Махачкала: ФГБНУ «Федеральный аграрный научный центр Республики Дагестан», 2018. С. 216–219.
7. Селюкова С. В. Тяжелые металлы в агроценозах // Достижения науки и техники АПК. 2020. Т. 34. № 8. С. 85–93. DOI: 10.24411/0235-2451-2020-10815.
8. Азимов Х. Г., Курбонов А., Мукимов И. Анализ проблем экологического загрязнения окружающей среды // Oriental Renaissance: Innovative, educational, natural and social sciences. 2022. Vol. 2. Is. 5. P. 984–993.
9. Бахранов Г. М. Загрязнение почвы тяжелыми металлами и его влияние на окружающую среду // Directory Indexing of International Research Journals-CiteFactor. 2021. Vol. 2. Is. 10. P. 193–196. DOI: 10.24412/2181-1385-2021-10-193-196
10. Холикулов Ш., Бобобеков И., Холбозоров И. Загрязнение почв тяжелыми металлами вдоль главной автомагистрали // Агрохимия защита и карантин растений. 2023. № 4. С. 99–100.
11. Бобобеков И. Содержание подвижных тяжелых металлов в лугово-серых почвах вокруг трассы М-39 // Агрохимия защита и карантин растений. 2024. № 2. С. 161–163.
12. Жаббаров О. А., Исмонов А. Ж., Каландаров Н. Н. Орошаемые сероземно-луговые почвы Пахтакорского района Джизакской области // Научное обозрение. Биологические науки. 2019. № 3. С. 57–62. URL: <https://science-biology.ru/ru/article/view?id=1163> (дата обращения: 11.06.2026).
13. Сырдарьинское территориальное управление по гидрометеорологии. Ежегодный отчет / информационный бюллетень о состоянии окружающей среды и метеорологических наблюдениях за 2023 год / Сырдарьинское управление Узгидромета. Гулистан: Агентство гидрометеорологической службы при Министерстве экологии, охраны окружающей среды и изменения климата Республики Узбекистан (Узгидрометр), 2023. [Электронный ресурс]. URL: <http://meteo.uz> (дата обращения: 11.08.2026).
14. ГОСТ ISO 22036–2014. Качество почвы. Определение микроэлементов в экстрактах почвы с использованием атомно-эмиссионной спектроскопии индуктивно связанной плазмы (ИСП-АЭС). М.: Стандартинформ, 2015. 30 с.
15. Доспехов В. А. Методика полевого опыта. М.: Агропромиздат, 1985. 351 с.
16. Бобобеков И. Н. Техноген ифлосланган типик бўз тупроклардаги огир металллар микдорини камайтиришга органик ва минерал ўғитларнинг таъсири (Самарқанд киме комбинати атрофи тупроклари мисолида). Номзодлик илмий даражасини олиш учун езилган диссертация. Самарқанд, 2006. 22 с. (Бобобеков И. Н. Влияние органических и минеральных удобрений на снижение содержания тяжелых металлов в типичных сероземах, подверженных техногенному загрязнению (на примере почв в районе Самаркандского химического завода): автореф. дис. ... канд. сельхоз. наук. Самарканд, 2006. 22 с.).
17. Холикулов Ш. Тяжелые металлы в почве. Ташкент: Мухаррир, 2018. 212. с. ISBN 978-9943-4615-4-3.

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.