

*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 – 0,400
Пятилетний импакт-фактор РИНЦ – 0,240**

*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 30.09.2025
Дата выхода номера 30.10.2025
Формат 60×90 1/8*

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

**Signed in print 30.09.2025
Release date 30.10.2025
Format 60×90 8.1**

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

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

*Распространяется по свободной цене
Тираж 1000 экз. Заказ НО 2025/3
Подписной индекс в электронном каталоге
«Почта России»: ПА494
© ООО НИЦ «Академия Естествознания»*

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

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



М.М. Филиппов (M.M. Philippov)

С 2014 года издание журнала возобновлено
Академией Естествознания
**From 2014 edition of the journal resumed
by Academy of Natural History**

Главный редактор: Н.Ю. Стукова
Editor in Chief: N.Yu. Stukova

НАУЧНОЕ ОБОЗРЕНИЕ • БИОЛОГИЧЕСКИЕ НАУКИ

SCIENTIFIC REVIEW • BIOLOGICAL SCIENCES

www.science-education.ru

2025 г.



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

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

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

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

СОДЕРЖАНИЕ

Биологические науки

СТАТЬИ

ВЛИЯНИЕ ОБОГАЩЕНИЯ РАЦИОНА БРОЙЛЕРНЫХ КУР ГИДРОПОННОЙ ПШЕНИЦЕЙ НА ГЕМАТОЛОГИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ И ПОКАЗАТЕЛИ СУТОЧНОГО ПРИРОСТА <i>Абдисаламова М.А., Кузиев М.С.</i>	7
К ХАРАКТЕРИСТИКЕ ПОЧВЕННОГО ПОКРОВА ПУСТЫННОЙ ЗОНЫ УЗБЕКИСТАНА В ПРЕДЕЛАХ ТЕРРИТОРИИ БУХАРСКОЙ ОБЛАСТИ <i>Бурханова Н.Х., Ахмедов А.У., Турдалиев Ж.М., Эгамбердиев Ж.А., Санакулов С.Ф., Баходиров З.А.</i>	12
АГРОХИМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ОРОШАЕМЫХ ЛУГОВЫХ АРЗЫКОВЫХ ПОЧВ ТЕРРИТОРИЙ, ПРИЛЕГАЮЩИХ К ЦЕНТРАЛЬНО-ФЕРГАНСКОМУ ВОДОХРАНИЛИЩУ <i>Исаков В.Ю., Акбаров С.Б.</i>	19
НЕКОТОРЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ КРОВИ ПРИ АЛЛОКСАНОВОМ ДИАБЕТЕ У КРЫС <i>Кучкарова Л.С., Ачилов Р.Х.</i>	27
КОЛИЧЕСТВЕННАЯ ОЦЕНКА СОДЕРЖАНИЯ ЧАСТИЦ МИКРОПЛАСТИКА ДИАМЕТРОМ 500 НМ В ПОЧКАХ КРЫС <i>Репина Э.Ф., Валова Я.В., Ахмадеев А.Р., Гизатуллина А.А., Мухаммадиева Г.Ф., Смолянкин Д.А., Рябова Ю.В., Каримов Д.О.</i>	33
ГЕОХИМИЯ БИОМИКРОЭЛЕМЕНТОВ В ОРОШАЕМЫХ ПОЧВАХ ФЕРГАНСКОЙ ДОЛИНЫ <i>Турдалиев А.Т., Ахмаджонов А.А., Мусаев И.И., Мухаммадов Е.Х.</i>	39
ЭПИФИТНЫЕ ЛИШАЙНИКИ СЕВЕРНОЙ МЕЩЕРЫ В ЛОКАЛЬНОМ ЭКОМОНИТОРИНГЕ <i>Зыков И.Е.</i>	45
РАЦИОНАЛЬНЫЙ ДИЗАЙН ПЛАЗМИДНОГО ВЕКТОРА <i>Полякова Е.Д., Жаббарова А.Ш.</i>	51
ИЗМЕНЕНИЕ МЕХАНИЧЕСКОГО СОСТАВА ОРОШАЕМЫХ ПОЧВ ПОД ВЛИЯНИЕМ АНТРОПОГЕННЫХ ФАКТОРОВ (НА ПРИМЕРЕ ГИЖДУВАНСКОГО РАЙОНА) <i>Салимова Х.Х.</i>	58

Сельскохозяйственные науки
СТАТЬЯ

ДЕЙСТВИЕ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ПРЕПАРАТОВ
НА ПРОДУКТИВНОСТЬ РАСТЕНИЙ МОГАРА СОРТА
СТЕПНОЙ МАЯК

Сухарева Л.В. 67

Биологические науки
СТАТЬИ

КИПРЕЙ УЗКОЛИСТНЫЙ – ИСТОЧНИК БИОЛОГИЧЕСКИ
АКТИВНЫХ ВЕЩЕСТВ

Лукашук С.П., Сергеева Е.Б., Папаяни А.В. 73

НОВЫЕ СВЕДЕНИЯ О ВИДАХ РОДА *CYTOSPORA*
В УЗБЕКИСТАНЕ

Мардонов Ш.У., Маллаев М.Х., Турабоев М.Б., Мустафаев И.М. 78

ВЫДЕЛЕНИЕ, ОЧИСТКА И ХАРАКТЕРИСТИКА БИОЛОГИЧЕСКИ
АКТИВНОГО ПОЛИПЕПТИДА ИЗ СУХИХ ДРОЖЖЕЙ
SACCHAROMYCES CEREVISIAE S288C

Набиева Ф.С. 83

ГЕНЕТИЧЕСКИЕ И БИОХИМИЧЕСКИЕ ФАКТОРЫ В РАЗВИТИИ
ОНКОЛОГИЧЕСКИХ ГИНЕКОЛОГИЧЕСКИХ ЗАБОЛЕВАНИЙ
У ЖЕНЩИН

Ойдинова З.Р., Кан С.В., Душанова Г.А. 90

МОРФОЛОГИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ КРОВИ КРОЛИКОВ
ПРИ ПРИМЕНЕНИИ ПРОБИОТИЧЕСКОЙ ДОБАВКИ
«ОЛИН» К КОРМУ

Рахматова Н.Б. 99

ИСТОРИЯ ИЗУЧЕНИЯ, ФОРМИРОВАНИЕ И СОВРЕМЕННЫЙ
СОСТАВ ИХТИОФАУНЫ НИЖНЕГО ТЕЧЕНИЯ РЕКИ НАРЫН

Умаров Ф.А., Мукимов М.А., Назаров М.Ш. 105

ИЗМЕНЕНИЯ СОДЕРЖАНИЯ АМИНОКИСЛОТ В ПОЧВАХ
ВЕРТИКАЛЬНЫХ И ГОРИЗОНТАЛЬНЫХ ЗОН ФЕРГАНСКОЙ
ДОЛИНЫ УЗБЕКИСТАНА

Исомиддинов З.Ж. 111

CONTENTS

Biological sciences

ARTICLES

EFFECT OF ENRICHING BROILER CHICKEN DIETS
WITH HYDROPONIC WHEAT ON HEMATOLOGICAL
PARAMETERS AND DAILY GROWTH RATES

Abdisalamova M.A., Kuziev M.S. 7

ON THE CHARACTERISTICS OF THE SOIL COVER
OF THE DESERT ZONE OF UZBEKISTAN WITHIN
THE TERRITORY OF BUKHARA REGION

*Burkhanova N.Kh., Akhmedov A.U., Turdaliev Zh.M.,
Egamberdiev Zh.A., Sanakulov S.F., Bakhodirov Z.A.* 12

AGROCHEMICAL PROPERTIES OF IRRIGATED MEADOW
ARZYK SOILS IN THE TERRITORIES ADJACENT
TO THE CENTRAL FERGANA RESERVOIR

Isakov V.Yu., Akbarov S.B. 19

SOME BLOOD PARAMETERS IN RATS WITH ALLOXAN-
INDUCED DIABETES

Kuchkarova L.S., Achilov R.Kh. 27

QUANTITATIVE ASSESSMENT OF THE CONTENT OF 500 NM
DIAMETER MICROPLASTIC PARTICLES IN RAT KIDNEYS

*Repina E.F., Valova Ya.V., Akhmadeev A.R., Gizatullina A.A.,
Mukhammadiyeva G.F., Smolyankin D.A., Ryabova Yu.V., Karimov D.O.* 33

GEOCHEMISTRY OF BIOMICROELEMENTS IN IRRIGATED
SOILS OF THE FERGANA VALLEY

Turdaliev A.T., Axmadzhonov A.A., Musaev I.I., Muhammadov E.Kh. 39

EPIPHYTIC LICHENS OF THE NORTHERN MESCHERA
IN LOCAL ECOMONITORING

Zykov I.E. 45

RATIONAL PLASMID VECTOR DESIGN

Polyakova E.D., Zhabbarova A.Sh. 51

CHANGES IN THE MECHANICAL COMPOSITION OF IRRIGATED
SOILS UNDER THE INFLUENCE OF ANTHROPOGENIC FACTORS
(ON THE EXAMPLE OF THE GIJDUVAN DISTRICT)

Salimova Kh.Kh. 58

Agricultural sciences
ARTICLE
**EFFECT OF EXPERIMENTAL PREPARATIONS
ON PRODUCTIVITY OF PLANTS OF MOGAR
SORSTA STEPPE LIGHTHOUSE**

Sukhareva L.V. 67

Biological sciences
ARTICLES
**NARROW-LEAVED CYPRESS IS A SOURCE
OF BIOLOGICALLY ACTIVE SUBSTANCES**

Lukashuk S.P., Sergeeva E.B., Papayani A.V. 73

**NEW DATA ON SPECIES OF THE GENUS
CYTOSPORA IN UZBEKISTAN**

Mardonov Sh.U., Mallaev M.Kh., Turaboev M.B., Mustafaev I.M. 78

**ISOLATION, PURIFICATION AND CHARACTERIZATION
OF A BIOLOGICALLY ACTIVE POLYPEPTIDE FROM
DRIED YEAST *SACCHAROMYCES CEREVISIAE* S288C**

Nabieva F.S. 83

**GENETIC AND BIOCHEMICAL FACTORS
IN THE DEVELOPMENT OF ONCOLOGICAL
GYNECOLOGICAL DISEASES IN WOMEN**

Oydinova Z.R., Kan S.V., Dushanova G.A. 90

**MORPHOLOGICAL INDICATORS OF RABBITS'
BLOOD WHEN USING THE PROBIOTIC ADDITIVE
“OLIN” TO THEIR FEED**

Rakhmatova N.B. 99

**HISTORY OF STUDY, FORMATION AND MODERN
COMPOSITION OF THE ICHTHYOFAUNA
OF THE LOWER REACH OF THE NARYN RIVER**

Umarov F.A., Mukimov M.A., Nazarov M.Sh. 105

**CHANGES IN AMINO ACID CONTENT IN SOILS
OF VERTICAL AND HORIZONTAL ZONES
OF THE FERGANA VALLEY OF UZBEKISTAN**

Isomiddinov Z.Zh. 111

СТАТЬИ

УДК 591.111

**ВЛИЯНИЕ ОБОГАЩЕНИЯ РАЦИОНА
БРОЙЛЕРНЫХ КУР ГИДРОПОННОЙ ПШЕНИЦЕЙ
НА ГЕМАТОЛОГИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ
И ПОКАЗАТЕЛИ СУТОЧНОГО ПРИРОСТА**

Абдисаламова М.А., Кузиев М.С.

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

Сегодня развитие животноводческой отрасли во всем мире показывает, что производство мяса птицы в животноводстве стремительно развивается, а производство безопасного и качественного мяса бройлеров является требованием современных потребителей. Для этого необходимо разработать научно обоснованные нормы кормов для птицы, уделить внимание обогащению качественного состава предоставляемых кормов. Целью данного исследования является определение влияния добавления в рацион гидропонной пшеницы на живую массу и показатели крови бройлеров. В качестве объекта исследования были выбраны цыплята-бройлеры породы Росс-308, идентичные по всем морфологическим показателям и выращиваемые на мясо. В экспериментах зерно пшеницы в обычном рационе бройлеров заменяли на зеленую пшеницу, выращенную на гидропонике, цыплята питались этим рационом в течение 42 дней, результаты фиксировались. По окончании эксперимента сравнивали изменения показателей крови и живой массы. Согласно полученным данным, добавление в рацион гидропонной зеленой пшеницы влияет на живую массу и показатели крови бройлеров. Представленная в статье информация поможет выбрать правильный подход к использованию пищевых добавок в кормлении бройлеров и уходе за ними, а также объяснить количественные изменения в крови.

Ключевые слова: бройлерные цыплята, Росс-308, кровь, гемоглобин, лейкоциты, эритроциты, суточный прирост, гидропонная пшеница

**EFFECT OF ENRICHING BROILER CHICKEN DIETS
WITH HYDROPONIC WHEAT ON HEMATOLOGICAL
PARAMETERS AND DAILY GROWTH RATES**

Abdisalamova M.A., Kuziev M.S.

*Samarkand State University named after Sharof Rashidov, Samarkand,
e-mail: abdisalomovamunisa@gmail.com*

Today, the development of the livestock industry around the world shows that poultry meat production in livestock farming is rapidly developing, and the production of safe and high-quality broiler meat is a demand of today's consumers. This requires the development of scientifically based feed standards for poultry feeding, and attention to enriching the quality composition of the feed provided. The purpose of this study is to determine the effect of adding hydroponic wheat to the feed ration on the body weight and blood parameters of broilers. Ross-308 broiler chicks, which are identical in all morphophysiological parameters and are raised for meat, were selected as the object of the study. In the experiments, wheat grain in the regular diet of broilers was replaced with hydroponic green wheat grown hydroponically, and the chicks were fed this diet for forty-two days, and the results were recorded. At the end of the experiment, changes in blood parameters and body weight were compared. According to the data obtained, adding hydroponic green wheat to the diet affects the body weight and blood parameters of broilers. The information presented in the article will help to choose the right approach to the use of nutritional supplements in feeding broilers and their care, and to explain quantitative changes in blood.

Keywords: broiler chickens, Ross-308, blood, hemoglobin, leukocytes, erythrocytes, daily weight gain, hydroponic wheat

Введение

Согласно данным Продовольственной и сельскохозяйственной организации Объединенных Наций (ФАО), к 2050 г. численность населения Земли достигнет 9 млрд чел. и к тому времени две трети населения мира будет проживать в городах. Естественно, рост численности населения и изменение образа жизни делают особенно актуальными вопросы производства качественных и питательных продуктов питания, а также укрепления кормовой базы сельскохозяй-

ственных животных. В связи с этим во всем мире уделяется особое внимание поиску новых источников натуральных, высокоэффективных кормовых добавок, разработке рекомендаций по их применению и внедрению в практику.

Таким образом, производство безопасного и качественного мяса бройлеров становится актуальным требованием современного потребителя. В птицеводстве специалисты все чаще исследуют и внедряют в практику использование пробиотиков,

пребиотиков, подкислителей, различных лекарственных растений и трав, а также других натуральных добавок в качестве альтернативы традиционным антибиотикам, гормонам и химическим веществам [1].

На сегодняшний день для производства качественного мяса бройлеров все шире используется гидропонная зеленая пшеница (ГЗП) в качестве натуральной и безопасной кормовой добавки [2]. В процессе проращивания пшеничного зерна сложные соединения, особенно образующиеся в проросших зернах, превращаются в простые и биологически активные формы, что не только улучшает питательную ценность, но и снижает воздействие антипитательных факторов в корме для птицы [3]. Применение гидропонного метода для повышения кормовой ценности зерновых компонентов рациона позволяет увеличить биомассу кормов в 8–9 раз, а содержание витаминов – до 20 раз. При проращивании зерен растения минералы связываются с белками (в хелатной форме), что повышает их биологические функции. Также известно, что при проращивании активируются фитазные ферменты, которые нейтрализуют действие фитиновой кислоты.

Оптимальное проявление жизнедеятельности организма животных в первую очередь связано с состоянием крови и ее морфологическими характеристиками. Для поддержания нормальных показателей крови необходимо полноценное обеспечение животных питательными веществами [4]. Кровь не только обеспечивает связь между органами и частями тела животного, но также выводит из организма ненужные вещества [5]. Рацион питания, возраст, пол, порода, условия содержания, время года и другие факторы оказывают значительное влияние на состав крови животных [6].

Использование натуральных кормовых добавок в рациональном кормлении животных способствует повышению их продуктивности, а изучение состава крови позволяет оценить общее физиологическое состояние животных и отслеживать изменения, происходящие в их организме.

Цель исследования – определить влияние обогащения рациона кормления бройлерных кур породы Ross-308 зерном пшеницы, выращенным гидропонным методом, на гематологические показатели и суточный прирост массы тела.

Материалы и методы исследования

В качестве объекта исследования были отобраны бройлерные цыплята породы Ross-308, идентичные по всем морфофизиологическим показателям.

Экспериментальные животные содержались и кормились в соответствии с зоотехническими нормами. Суточный прирост измерялся электронными весами SF-400 с точностью $\pm 5,0$ г, а гематологические показатели – с помощью автоматического гематологического анализатора Mindray BC-5000 [7]. Образцы крови отбирались в вакуумные пробирки, содержащие 1 мл раствора ЭДТА (этилендиаминтетрауксусной кислоты). Полученные данные были обработаны, рассчитаны средние значения. Статистическая обработка результатов проводилась в программе Microsoft Excel 2013 (США), при этом использовались методы математической и статистической оценки: средние значения, отклонения и вероятностный анализ по методу Лакина [8, с. 37].

Условия содержания животных

Исследования проводились в птицеводческом хозяйстве Suyun bobo yuksalish в Пастдаргомском районе Самаркандской области, специализирующемся на производстве мяса птицы. Экспериментальные животные содержались в специально оборудованных клетках с вентиляцией, соответствующих зоотехническим требованиям. Кормление и поение осуществлялись согласно установленным нормам.

Цыплята были разделены на контрольную и опытную группы. Контрольной группе скормливался стандартный рацион хозяйства, а опытной – тот же рацион, но обогащенный гидропонной зеленой пшеницей, выращенной в количестве, эквивалентном объему зерна, входящего в рацион контрольной группы. Количество потребленного корма в обеих группах определялось путем простого расчета.

Выращивание пшеницы гидропонным методом

Для выращивания использовались специальные контейнеры и полки, термометры, ручные опрыскиватели и обычная вода. Контейнеры имели объем, соответствующий 1 кг семян, и 2–4 отверстия для слива лишней воды. Гидропонное выращивание продолжалось 7 дней, после чего зеленая масса использовалась как кормовая добавка (табл. 1).

Результаты исследования и их обсуждение

Качество и химический состав корма напрямую влияют на продуктивность бройлеров и активность физиологических процессов. В исследовании с целью повышения поедаемости корма, улучшения его переваримости и повышения эффективности конверсии кормов рацион был обога-

щен зеленой гидропонной пшеницей. Гидропонная пшеница обладает высокой питательной ценностью: содержание белка – 20–23 % (в пересчете на сухое вещество), сырой клетчатки – 11–14 %, жира – 2–3 %, золы – 8–9 %. Кроме того, она богата витаминами группы В, А, С и Е, а также микроэлементами [9]. При выращивании пшеницы гидропонным способом в течение 7 дней из 1 кг зерна можно получить до 8–9 кг зеленой биомассы.

В ходе исследования эксперимент был разделен на три возрастных периода

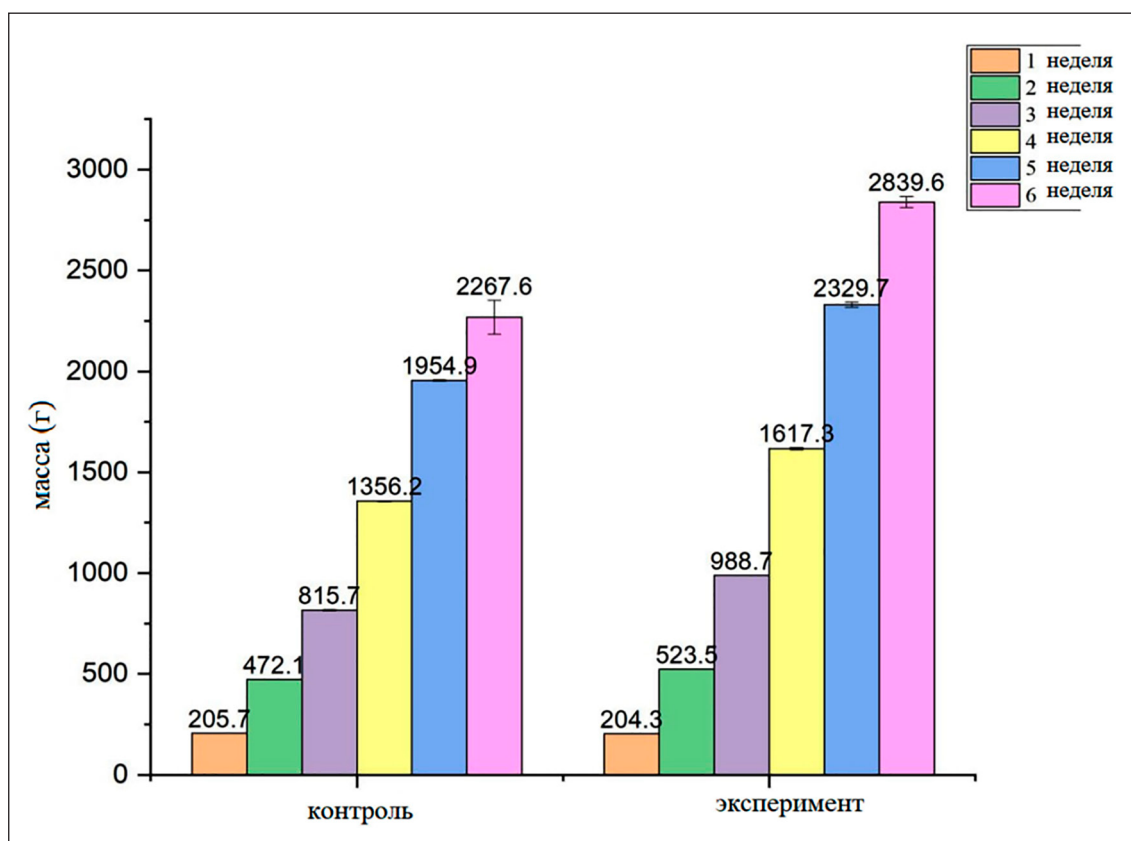
с учетом физиологических особенностей бройлеров, таких как питание, рост и развитие, а также интенсивность процессов пищеварения: период «Старт» (дни 1–14), период «Рост» (дни 15–28) и период «Финиш» (дни 29–42). На каждом этапе применялся специально разработанный рацион, отличающийся по составу, и кормление осуществлялось в соответствии с этими рациональными схемами. Полученные в конце каждого периода результаты были обобщены и использованы как данные исследования.

Таблица 1

Динамика суточного прироста биомассы пшеницы, выращенной гидропонным методом, г

№	День 1	День 2	День 3	День 4	День 5	День 6	День 7
1	1850	2620	3350	4380	5340	7140	8510
2	1990	2760	3490	4520	5480	7280	8700
3	1950	2740	3470	4590	5470	7150	8690
Общее	1930±29,4	2706,7±30,9	3436,7±30,9	4496,7±43,6	5430±31,9	7190±31,9	8633,3±43,6

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



Влияние кормов, обогащенных гидропонно выращенной пшеницей, на показатели суточного прироста
Источник: составлено авторами по результатам данного исследования

Куры контрольной группы получали стандартный корм на протяжении всего 42-дневного периода, тогда как куры опытной группы были вскармливаемы рационом, в котором часть корма была заменена гидропонной пшеницей. Масса птиц измерялась каждые 7 дней, и при сравнении результатов было установлено, что масса кур опытной группы, получавших обогащенный гидропонной пшеницей рацион, была выше по сравнению с контрольной группой.

Согласно полученным результатам у бройлерных кур, получавших рацион, обогащенный гидропонной пшеницей, суточный прирост массы тела значительно отличался от кур контрольной группы. Так, во 2-й неделе эксперимента прирост живой массы у кур опытной группы оказался на 9,75% выше, чем у контрольной группы; на 4-й неделе (период роста) – на 16,14% выше; а к 6-й неделе (финишный период) – на 20,15% выше. Полученные данные свидетельствуют о том, что значительное различие между контрольной и опытной группами объясняется улучшением поедаемости, переваримости и питательной ценности кормов за счет обогащения рациона гидропонной пшеницей.

При замене пшеничного зерна в рационе полностью гидропонной пшеницей и корм-

лении бройлеров соответствующим образом, в ходе анализа результатов были выявлены изменения морфологических показателей крови. На основании полученных данных можно заключить, что использование гидропонной зеленой пшеницы в рационе бройлерных цыплят оказывает положительное влияние на их рост и развитие (табл. 2).

В ходе эксперимента общее количество лейкоцитов в контрольной группе составило $23,5 \pm 0,6 \times 10^9/\text{л}$, а в опытной группе – $23,7 \pm 0,5 \times 10^9/\text{л}$. Этот показатель практически не изменился. Процентное соотношение нейтрофилов, лимфоцитов и моноцитов также осталось без существенных изменений и сохранялось в пределах физиологической нормы, что свидетельствует о том, что компоненты гидропонной пшеницы в рационе не нарушают стабильность иммунной системы.

Количество эритроцитов в опытной группе составило $2,4 \pm 0,04 \times 10^{12}/\text{л}$, что на 12,5% выше по сравнению с контрольной группой. Наряду с этим было зафиксировано значительное повышение уровня гемоглобина – с $123,5 \pm 2,5 \text{ г/л}$ до $132,4 \pm 2,1 \text{ г/л}$. Эти данные подтверждают, что включение в рацион гидропонной зеленой пшеницы активизирует процессы гемопоэза и транспортировки кислорода.

Таблица 2

Влияние кормов, обогащенных гидропонно выращенной пшеницей, на гематологические показатели

Показатели	Контрольная группа	Экспериментальная группа
Лейкоциты, $10^9/\text{л}$	$23,5 \pm 0,6$	$23,7 \pm 0,5^{**}$
Нейтрофилы, %	$34,2 \pm 1,1$	$34,5 \pm 1,0$
Лимфоциты, %	$56,3 \pm 0,9$	$56,6 \pm 0,8^*$
Моноциты, %	$4,1 \pm 0,2$	$4,2 \pm 0,2$
Эозинофилы, %	$3,5 \pm 0,2$	$3,9 \pm 0,3$
Базофилы, %	$1,2 \pm 0,1$	$1,3 \pm 0,1$
Эритроциты, $10^{12}/\text{л}$	$2,1 \pm 0,05$	$2,4 \pm 0,04$
Гемоглобин, г/л	$123,5 \pm 2,5$	$132,4 \pm 2,1$
Гематокрит, %	$39,2 \pm 1,1$	$42,6 \pm 0,9^*$
Средний объем эритроцита, фл	$185 \pm 4,2$	$179 \pm 3,8^{**}$
Среднее содержание гемоглобина в эритроците, пг	$59 \pm 1,8$	$55 \pm 1,7$
Распределение эритроцитов по объему, %	$17,5 \pm 0,5$	$16,8 \pm 0,4^*$
Тромбоциты, $10^9/\text{л}$	$200 \pm 8,5$	$220 \pm 7,9$
Средний объем тромбоцита, фл	$11,2 \pm 0,3$	$11,5 \pm 0,2$
Ширина распределения тромбоцитов, %	$18,0 \pm 0,6$	$19,1 \pm 0,5^{**}$
Тромбокрит, %	$0,25 \pm 0,01$	$0,28 \pm 0,01$

Примечание. * – $p < 0,01$; ** – $p < 0,005$.

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

Уровень гематокрита в опытной группе составил $42,6 \pm 0,9\%$, что на 8% выше, чем в контрольной группе, что указывает на улучшение общей кислородтранспортной способности крови. В опытной группе наблюдалась активизация процессов эритропоэза и гемопоэза, что свидетельствует о положительном влиянии биологически активных веществ, содержащихся в корме.

Показатели среднего объема эритроцита, среднее содержание гемоглобина в эритроците и распределение эритроцитов по объему также находились в пределах физиологической нормы, при этом в опытной группе они были незначительно улучшены по сравнению с контролем.

Заключение

Результаты проведенного исследования показали, что замена пшеничного зерна на гидропонную зеленую пшеницу в рационе бройлерных кур породы Ross-308 оказывает положительное влияние на прирост массы и гематологические показатели птицы. У бройлеров опытной группы было зафиксировано значительное увеличение количества эритроцитов, уровня гемоглобина, гематокрита и тромбоцитов по сравнению с контрольной группой.

В целом исследование авторов подтвердило, что гидропонная зеленая пшеница является эффективным средством для укрепления здоровья бройлеров, нормализации показателей крови и улучшения общего физиологического состояния организма.

Данный метод является экологически чистым, экономичным и высокоэффективным и может быть рекомендован для широкого применения в современной птицеводческой практике с целью повышения

качества рациона и продуктивности мясного направления.

Список литературы

1. Roy B.C., Chowdhury S.D., Kabir S.L. Effects of feeding *Bacillus subtilis* to heat stressed broiler chickens with or without an antibiotic growth promoter // *Asian Journal of Medical and Biological Research*. 2015. Vol. 1, № 1. P. 80–88. DOI: 10.3329/ajmbr.v1i1.25502.
2. El-Katcha M.I., Soltan M.A., El-Kaney H.F., Karwarie E.R. Growth performance, blood parameters, immune response and carcass traits of broiler chicks fed on graded levels of wheat instead of corn without or with enzyme supplementation // *Alexandria Journal of Veterinary Sciences*. 2014. Vol. 1, Is. 40. P. 95–111. DOI: 10.5455/ajvs.48232.
3. Fouad A.A., Rehab F.M. Effect of germination time on proximate analysis, bioactive compounds and antioxidant activity of lentil (*Lens culinaris* Medik.) sprouts // *Acta Scientiarum Polonorum Technologia Alimentaria*. 2015. Vol. 3, Is. 14. P. 233–246. DOI: 10.17306/J.AFS.2015.3.25.
4. Elif P., Danila C., Sukru G., Merve T., Esra C. Iron Absorption: Factors, Limitations, and Improvement Methods // *ACS Omega*. 2022. Vol. 7, № 1. P. 20441–20456. DOI: 10.1021/acsomega.2c01833.
5. Gelberg H.B. Alimentary System and the Peritoneum, Omentum, Mesentery, and Peritoneal Cavity // *Pathologic Basis of Veterinary Disease*. 2017. P. 324–411. DOI: 10.1016/B978-0-323-35775-3.00007-2.
6. Gao J., Yang D., Sun Z., Niu J., Bao Y., Liu S., Tan Z., Hao L., Cheng Y., Liu S. Changes in Blood Metabolic Profiles Reveal the Dietary Deficiencies of Specific Nutrients and Physiological Status of Grazing Yaks during the Cold Season in Qinghai Province of China // *Metabolites*. 2022. Vol. 11, Is. 12. P. 738. DOI: 10.3390/metabo12080738.
7. Khayitov D.G. Biological Sensitization of Blood Immune Cells of Rabbits to External Environmental Stress Factors (Temperature And Seasons) // *Bulletin of Pure and Applied Sciences-Zoology*. 2023. Vol. 42A, Is. 1. P. 163–169. DOI: 10.48165/bpas.2023.42A.1.15.
8. Лакин Г.Ф. Биометрия. М.: Высшая школа, 1990. 350 с. [Электронный ресурс]. URL: <http://bookshare.net> (дата обращения: 06.06.2025).
9. Sultana M., Chandra Das Sh., Bapon D., Abdus Salam Md. Effect of Hydroponic Wheat Sprout on the Growth Performance, Carcass Characteristics, and Lipid Profiles of Broilers // *Brazilian Journal of Poultry Science*. 2022. Vol. 24, Is. 3. 001-0082021. DOI: 10.1590/1806-9061-2021-1583.

УДК 631.4:631.6(575.1)

К ХАРАКТЕРИСТИКЕ ПОЧВЕННОГО ПОКРОВА ПУСТЫННОЙ ЗОНЫ УЗБЕКИСТАНА В ПРЕДЕЛАХ ТЕРРИТОРИИ БУХАРСКОЙ ОБЛАСТИ

Бурханова Н.Х., Ахмедов А.У., Турдалиев Ж.М.,
Эгамбердиев Ж.А., Санакулов С.Ф., Баходиров З.А.

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

Цель исследования – изучение природных и антропогенных факторов, вызывающих засоление почв, оценка почвенно-мелиоративного состояния орошаемых земель нижнего течения р. Зарафшан и разработка мероприятий по их улучшению. Для выявления современного состояния засоления авторами статьи проведены научные исследования на гидроморфных луговых аллювиальных и луговых пустынных почвах Каракульского и Каганского районов Бухарской области Республики Узбекистан. В полевых работах авторами заложены 20 основных разрезов до глубины 2,0 м, в каждом из них были взяты образцы почв для химических анализов. Полевые работы и лабораторно-аналитические анализы в исследованиях проводились по общепринятым методикам «Руководство к проведению химических и агрофизических анализов почв при мониторинге земель» и «Пособие и инструкции по проведению почвенных изысканий и составлению почвенных карт». В исследованиях выявлены и обсуждены причины и последствия того, что при весьма слабой дренированности территории изменились почвенно-мелиоративные условия, произошли существенные изменения водного и тесно связанного с ним солевого режима. В статье рассмотрены также процессы засоления и закономерности их проявления в разных частях орошаемых почв изученных массивов, выявлена степень проявления засоления и солончакового процесса. Доказано, что степень интенсивности засоления и соленакопления в почве находится в прямой зависимости от глубины залегания и минерализации грунтовых вод и искусственной дренированности территории. Проведена качественно-количественная характеристика луговых аллювиальных и луговых пустынных почв. Особое внимание в исследованиях уделено оценке почвенно-мелиоративного и экологического состояния орошаемых почв, даны некоторые рекомендации по их улучшению.

Ключевые слова: луговые аллювиальные и луговые пустынные почвы, климатические условия, механический состав, емкость поглощения, агрохимические свойства, грунтовые воды, засоление, почвенно-мелиоративное состояние почв, плодородие, мелиорация

ON THE CHARACTERISTICS OF THE SOIL COVER OF THE DESERT ZONE OF UZBEKISTAN WITHIN THE TERRITORY OF BUKHARA REGION

Burkhanova N.Kh., Akhmedov A.U., Turdaliev Zh.M.,
Egamberdiev Zh.A., Sanakulov S.F., Bakhodirov Z.A.

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

The aim of the study is to study natural and anthropogenic factors causing soil salinization, assess the soil-reclamation state of irrigated lands in the lower reaches of the Zarafshan River and develop measures to improve them. To identify the current state of salinization, the authors of the article conducted scientific research on hydromorphic meadow-alluvial and meadow desert soils of the Karakul and Kagan districts of the Bukhara region of the Republic of Uzbekistan. In the field work, the authors laid 20 main sections to a depth of 2.0 m, in each of which soil samples were taken for chemical analysis. Field work and laboratory-analytical analyses in the studies were carried out according to generally accepted methods: "Guide to conducting chemical and agrophysical analyses of soils during land monitoring" and "Manual and instructions for conducting soil surveys and compiling soil maps". The research identified and discussed the causes and consequences of the fact that, despite the very poor drainage of the territory, the soil and meliorative conditions changed, and significant changes occurred in the water and closely related salt regime. The article also examines the processes of salinization and the patterns of their manifestation in different parts of the irrigated soils of the studied areas, and identifies the degree of manifestation of salinization and the solonchak process. It has been proven that the degree of intensity of salinization and salt accumulation in the soil is directly dependent on the depth and mineralization of groundwater and the artificial drainage of the territory. A qualitative and quantitative characteristic of meadow alluvial and meadow desert soils was carried out. Particular attention in the studies was paid to the assessment of the soil-reclamation and ecological state of irrigated soils, and some recommendations were given for their improvement.

Keywords: meadow-alluvial and meadow-desert soils, climatic conditions, mechanical composition, absorption capacity, agrochemical properties, groundwater, salinization, soil-reclamation state of soils, fertility, reclamation

Введение

В последние годы рост засоленности орошаемых земель в Узбекистане и в Бухарской области в частности приобрел практи-

чески повсеместный характер. Как старые, так и новые оросительные системы несут тяжелые потери из-за растущей засоленности почв, с каждым годом наблюдается уси-

ление процесса вторичного засоления, снижение содержания органических веществ и элементов питания, падает плодородие и производительность почв, ухудшается мелиоративное качество земель.

В последнее время засоление активизируется, вторичное засоление охватило большую часть оазисных почв дельты, высокая опасность засоления сохраняется и в настоящее время [1, с. 187; 2, с. 415; 3, с. 57]. Тем не менее научные исследования по изучению почвенного покрова и эколого-мелиоративного состояния орошаемых почв дельты проводились нерегулярно. В работах некоторых авторов [4, с. 62; 5, с. 44; 6, с. 140] также отмечается, что почвенный покров и эколого-мелиоративное состояние региона изучены не в достаточной мере.

Резко изменившаяся ирригационно-мелиоративная обстановка региона создала необходимость тщательного и комплексного обследования орошаемых почв и почвенного покрова территории, что позволило по-новому отнестись к их оценке, особенно в вопросах плодородия, засоления, экологии и мелиорации, а также охраны и рационального использования орошаемых земель. В связи с вышесказанным на сегодняшний день борьба с засолением почв, улучшение почвенно-мелиоративного состояния орошаемых почв и разработка научно обоснованных мероприятий по устойчивому развитию сельского хозяйства является одной из важнейших задач.

Цель исследования – изучение в сравнительном порядке почвенных свойств и почвенно-мелиоративных особенностей почв, развитых в луговых условиях, оценка интенсивности и направленности солончакового процесса и разработка комплекса мероприятий, требующихся для каждого конкретного условия хозяйств (массивов), находит оптимальное решение, заключающееся в изменении их водно-солевого режима.

Материалы и методы исследования

Объектом исследования служили орошаемые луговые аллювиальные и луговые пустынные почвы пустынной зоны Узбекистана, расположенные в Каракульском и Каганском районах Бухарской области. Полевые исследования и лабораторно-аналитические работы проводились по общепринятым методикам [7, с. 260; 8, с. 48]. В полевых условиях было заложено 20 основных почвенных разрезов глубиной до 2,0 м. Из каждого разреза отобраны образцы почвы по каждому генетическому горизонту (всего 100 образцов) для проведения химических анализов, а также пробы грунтовых вод. В пробах грунтовых вод

определялись степень их минерализации и состав солей.

Результаты исследования и их обсуждение

По нашим данным, в верхнем полутораметровом слое почв содержание частиц крупной пыли составляет 33–50% от общего гранулометрического состава (табл. 1). Также отмечается заметная опесчаненность почв (фракции 0,1–0,05 мм) на уровне 15–38%.

По данным метеорологических станций «Каган» и «Каракуль» среднегодовая температура воздуха составляет 16,5–16,7 °С, а сумма осадков колеблется в пределах 119,7–133,3 мм. Из общего годового количества осадков примерно 40–45% приходится на весну, 25–35% на зиму и 15–20% на осень, в летние месяцы осадков почти не бывает [9, с. 44]. Снежный покров очень неустойчивый, его толщина обычно не превышает 3–5 см. Относительная влажность воздуха в годовом цикле составляет 49–50%, при 70–74% в зимние и 26–32% в летние периоды.

Среднегодовая скорость ветра в области 2,1–3,3 м/с, в июле – августе составляет 4,1–4,5 м/с, в отдельные дни года скорость ветра может быть от 20–25 до 40–45 м/с. Высокая температура, сухость воздуха и интенсивность солнечной радиации вызывают сильное испарение. Среднегодовое количество испарения на территории области составляет 2040–2117 мм. Продолжительность безморозного периода в среднем 218–234 дней, среднегодовая сумма температур воздуха за этот период выше 10 °С составляет 4680,7–4794,5 °С.

Сложная морфогенетическая обстановка, гидрогеологические условия и хозяйственная деятельность человека обуславливают развитие многочисленных почвенных образований, и природные особенности определили характер почвенного покрова Бухарской области. В пределах области выделяются орошаемые автоморфные, переходные (полугидроморфные) и гидроморфные почвы пустынной зоны. Среди орошаемых почв наибольшие площади (до 92%) приходятся на старо-и новоорошаемые, а среди генетических групп доминируют луговые почвы, формирующиеся в различных генезисах и возрастных отложениях, при сравнительно близких к поверхности грунтовых водах порядка 1–2 м, что создает предпосылки для развития солончакового процесса [10, с. 251].

По механическому составу описываемые орошаемые луговые аллювиальные и луговые пустынные почвы относятся в основном к группе среднесуглинистых

и легкосуглинистых, но иногда встречаются по профилю почв тяжелые суглинки (разр. 8), подстилаемые слоистыми отложениями (табл. 1). Содержание фракции физической глины ($< 0,01$ мм) в этих почвах варьирует от 26,4–29,8% в легких суглинках до 40,6–40,9% в средних. Механический состав этих почв отличается повышенным содержанием крупнопылеватых частиц (размером 0,05–0,01 мм). За исключением некоторых горизонтов разреза № 8, их доля в верхнем полутораметровом слое варьирует от 33–36 до 44–50% (табл. 1). Также отмечается заметная опесчаненность почв (фракции 0,1–0,05 мм), достигающая 15,9–37,7%.

Во всех слоях – независимо от их текстурного типа (супесь или суглинок) – преобладают частицы крупной пыли, составляющие 40–70% от общего состава. На втором

месте находятся мелкопылеватые фракции с содержанием 15–40%, а на третьем – глинистые компоненты, доля которых варьирует от 5 до 20%. Количество илистых частиц ($< 0,001$ мм) по почвенному профилю изменяется от 0,8–0,9 до 8,0–10,2% (табл. 1).

Емкость поглощения луговых аллювиальных и луговых пустынных почв колеблется в довольно широких пределах и всецело связана с механическим составом, содержанием гумуса и наличием илистой фракции (меньше 0,001 мм). Выявлено, что между описываемыми луговыми аллювиальными и луговыми пустынными почвами существенных отличий в величине емкости поглощения нет. В обоих случаях емкость остается почти одинаковой и колеблется от 9–11 до 14–15 мг-экв / 100 г почвы (табл. 2).

Таблица 1

Механический состав почв

№ разреза	Глубина, см	Размер частиц мм, содержание фракции, %							Физич. глина ($< 0,01$ мм)	Почва
		Песок			Пыль			Ил		
		0,25	0,25–0,1	0,1–0,05	0,05–0,01	0,01–0,005	0,005–0,001			
Орошаемая луговая аллювиальная пустынная, слабозасоленная, средне- и легкосуглинистая. Массив им. Й. Ахунбабаева Каракульского района										
1	0–30	3,2	0,8	15,8	40,6	11,5	24,1	3,9	39,6	Среднесуглинистая
	30–56	2,0	0,5	17,2	39,4	15,0	21,4	4,5	40,9	Среднесуглинистая
	56–80	4,4	1,1	11,3	44,4	13,8	19,0	6,0	38,8	Среднесуглинистая
	80–132	1,6	0,4	15,9	41,5	15,8	17,6	7,2	40,6	Среднесуглинистая
	132–183	2,0	0,5	13,9	43,6	21,2	12,9	5,9	40,0	Среднесуглинистая
8	0–30	8,4	2,1	34,9	27,0	11,5	15,3	0,8	27,6	Легкосуглинистая
	30–63	4,4	1,1	37,7	29,7	20,5	5,3	1,3	27,1	Легкосуглинистая
	63–100	8,0	2,0	20,0	37,8	25,2	4,4	2,6	32,2	Среднесуглинистая
	100–140	8,4	2,1	27,8	35,3	18,6	6,9	0,9	26,4	Легкосуглинистая
	140–175	5,6	1,4	17,1	21,7	39,2	12,6	2,4	54,2	Тяжелосуглинистая
Орошаемая луговая пустынная, средnezасоленная средне- и легкосуглинистая. Массив «Бустон» Каганского района										
45	0–30	2,4	0,6	29,9	33,2	18,9	13,0	2,0	33,9	Среднесуглинистая
	30–50	4,4	1,1	22,5	39,3	19,0	5,7	8,0	32,7	Среднесуглинистая
	50–90	4,0	1,0	23,4	40,7	17,5	3,2	10,2	30,9	Среднесуглинистая
	90–130	9,2	2,3	16,5	39,9	13,7	17,3	1,1	32,1	Среднесуглинистая
	130–180	3,6	0,9	26,0	36,3	16,1	14,3	2,8	33,2	Среднесуглинистая
46	0–30	8,0	2,0	6,9	53,2	11,0	15,4	3,4	29,8	Легкосуглинистая
	30–50	6,0	1,5	8,6	54,3	10,9	15,3	3,4	29,6	Легкосуглинистая
	50–80	4,4	1,1	18,3	48,7	10,8	12,4	4,3	27,5	Легкосуглинистая
	80–120	9,2	2,3	16,0	50,8	11,5	13,4	3,8	28,7	Легкосуглинистая
	120–190	8,0	2,0	14,5	47,5	17,4	4,5	6,1	28,0	Легкосуглинистая

Таблица 2

Емкость поглощения и состав поглощенных оснований
в луговых аллювиальных и луговых пустынных почвах

№ разреза	Глубина, см	мг/экв / 100 г почвы				Сумма мг/экв	% от суммы				Степень солонцеватости
		Ca	Mg	K	Na		Ca	Mg	K	Na	
1	0–30	4,2	4,0	0,1	1,3	9,60	43,75	41,67	1,04	13,54	Средняя
	30–56	4,0	6,0	0,07	0,87	10,94	36,57	54,84	0,64	7,95	Слабая
	56–80	7,8	5,0	0,10	1,04	13,94	55,95	35,87	0,72	7,46	Слабая
	80–132	6,4	6,6	0,09	1,35	14,44	44,32	45,71	0,62	9,35	Слабая
	132–183	6,8	6,4	0,11	1,74	15,05	45,18	42,52	0,74	11,56	Средняя
8	0–30	4,8	5,4	0,07	2,22	12,49	38,43	43,24	0,56	17,77	Средняя
	30–63	5,0	6,0	0,05	1,56	12,61	39,65	47,58	0,40	12,37	Средняя
	63–100	4,0	5,8	0,04	1,3	11,14	35,91	52,06	0,36	11,67	Средняя
	100–140	6,8	6,2	0,03	1,04	14,07	48,33	44,07	0,21	7,39	Слабая
	140–175	8,2	7,6	0,05	1,04	16,89	48,55	44,99	0,30	6,16	Слабая

Таблица 3

Содержание гумуса и питательных элементов в луговых аллювиальных
и луговых пустынных почвах Бухарской области

№ разреза	Глубина, см	Питательные вещества							
		Гумус, %	Общие, %			C: N	Подвижные, мг/кг		
			Азот	Фосфор	Калий		N-NO ₃	P ₂ O ₅	K ₂ O
Почвы староорошаемые луговые аллювиальные пустынные. Массив им. Й. Ахунбабаева									
1	0–30	0,836	0,059	0,42	0,662	8,2	17,82	23,11	201
	30–56	0,801	0,058	0,40	0,633	8,0	15,41	18,72	196
3	0–30	0,721	0,052	0,50	0,630	8,0	14,25	21,32	193
	30–70	0,645	0,051	0,39	0,561	7,3	12,25	19,87	186
5	0–30	0,748	0,052	0,39	0,504	8,3	21,55	19,38	189
	30–60	0,625	0,048	0,38	0,498	7,6	20,57	16,59	172
8	0–30	0,736	0,053	0,42	0,551	8,1	19,30	20,65	164
	30–63	0,687	0,051	0,39	0,519	7,8	17,40	18,79	143
Почвы староорошаемые луговые пустынные. Массив «Бустон»									
45	0–30	0,898	0,059	0,36	0,556	8,8	20,56	22,53	200
	30–50	0,763	0,053	0,32	0,529	8,3	19,11	18,76	189
46	0–30	0,815	0,055	0,40	0,533	8,6	20,65	22,36	220
	30–50	0,789	0,052	0,38	0,510	8,8	17,81	18,75	198
49	0–30	0,853	0,058	0,39	0,577	8,5	18,56	28,53	210
	30–70	0,721	0,055	0,38	0,576	7,6	15,23	25,71	196
50	0–30	0,869	0,054	0,38	0,550	9,3	22,38	31,27	223
	30–60	0,715	0,051	0,36	0,517	8,1	19,50	28,42	198

Емкость поглощения в верхнем пахотном слое не превышает 10–13 мг-экв /100 г почвы, а в составе поглощенных оснований на долю кальция приходится 38,4–43,7%, магния – 41,6–43,2%, калия – 0,56–1,0%.

Содержание поглощенного натрия в пахотном горизонте (0–30 см) составляет 13,5–17,7%, следовательно, описываемые почвы относятся к среднесолонцеватым (погл. Na 10–20%, табл. 2).

Описываемые луговые аллювиальные и луговые пустынные почвы бедны органическим веществом, то есть характеризуются низким содержанием гумуса. Распределение содержания гумуса по профилю определяется механическим составом, давностью орошения и характером засоления почв. В верхних пахотных слоях содержание гумуса не превышает 1,0%. В луговых

аллювиальных почвах его уровень составляет около 0,836%, а в луговых пустынных – около 0,898%. Отмечается постепенное снижение содержания гумуса по мере углубления горизонтов. Общее содержание азота в этих почвах также крайне низкое и варьируется от 0,052 до 0,059% в пределах верхних горизонтов почвенного профиля (табл. 3).

Таблица 4

Состав водной вытяжки, степень и типы засоления почв

№ разреза	Глубина, см	Плотный остаток	HCO ₃	Cl	SO ₄	Ca	Mg	Na	Засоление		pH
									Тип	Степень	
%%											
Характеристика засоления луговых аллювиальных почв массива им. Й. Ахунбабаева Каракульского района											
1	0–30	0,555	0,041	0,075	0,254	0,056	0,032	0,061	X-C	Средняя	7,52
	30–56	0,528	0,041	0,070	0,236	0,042	0,020	0,094	X-C	Средняя	7,51
	56–80	0,667	0,032	0,035	0,350	0,080	0,009	0,093	C	Слабая	7,43
	80–132	0,676	0,030	0,036	0,366	0,120	0,018	0,038	C	Слабая	7,50
	132–183	0,676	0,031	0,030	0,369	0,087	0,019	0,072	C	Слабая	7,39
3	0–30	0,532	0,055	0,041	0,255	0,043	0,040	0,044	X-C	Средняя	7,70
	30–70	0,698	0,051	0,055	0,355	0,045	0,057	0,065	X-C	Средняя	7,71
	70–90	0,631	0,043	0,050	0,325	0,050	0,051	0,050	X-C	Средняя	7,68
	90–120	0,792	0,052	0,058	0,415	0,060	0,067	0,060	C	Слабая	7,50
	120–170	0,819	0,043	0,070	0,425	0,070	0,062	0,067	X-C	Средняя	7,47
8	0–30	0,667	0,023	0,080	0,330	0,117	0,038	0,012	X-C	Средняя	7,30
	30–63	1,156	0,032	0,059	0,655	0,212	0,043	0,039	C	Средняя	7,32
	63–100	1,036	0,032	0,061	0,563	0,156	0,025	0,095	C	Средняя	7,27
	100–140	0,628	0,030	0,055	0,321	0,115	0,027	0,018	X-C	Средняя	7,38
	140–175	0,771	0,061	0,062	0,364	0,130	0,012	0,066	X-C	Средняя	7,41
Характеристика засоления луговых пустынных почв массива «Бустон» Каганского района											
45	0–30	0,448	0,063	0,082	0,140	0,100	0,012	0,006	X-C	Средняя	7,20
	30–50	0,572	0,075	0,063	0,226	0,100	0,013	0,038	X-C	Средняя	7,19
	50–90	0,510	0,051	0,058	0,210	0,090	0,005	0,045	X-C	Средняя	7,24
	90–130	0,513	0,053	0,062	0,212	0,078	0,012	0,049	X-C	Средняя	7,26
	130–180	0,585	0,070	0,079	0,220	0,090	0,014	0,053	X-C	Средняя	7,40
46	0–30	0,702	0,042	0,061	0,330	0,070	0,005	0,124	X-C	Средняя	7,30
	30–50	0,951	0,048	0,054	0,490	0,120	0,007	0,137	C	Слабая	7,24
	50–80	0,892	0,032	0,060	0,461	0,098	0,008	0,144	C	Слабая	7,12
	80–120	1,036	0,041	0,069	0,517	0,096	0,005	0,195	C	Сильный	7,08
	120–190	0,813	0,067	0,057	0,380	0,079	0,006	0,142	X-C	Средняя	7,17
49	0–30	0,689	0,045	0,061	0,320	0,070	0,006	0,118	X-C	Средняя	7,49
	30–70	0,929	0,048	0,055	0,476	0,120	0,008	0,129	C	Слабая	7,28
	70–100	0,878	0,035	0,060	0,450	0,100	0,009	0,136	C	Слабая	7,23
	100–140	0,974	0,043	0,078	0,480	0,100	0,007	0,169	X-C	Средняя	7,25
	140–180	0,875	0,067	0,058	0,371	0,080	0,007	0,135	X-C	Средняя	7,22

Почвы хорошо обеспечены валовым фосфором, и в верхних горизонтах содержание его колеблется в пределах 0,36–0,42%, а содержание валового калия сравнительно низкое – 0,504–0,662%. По содержанию подвижного фосфора и обменного калия почвы относятся к низко- и среднеобеспеченным.

Сложность геологического и литолого-геоморфологического строения описываемых территорий вызвала чрезвычайное разнообразие ее гидрогеологических условий. Грунтовые воды различных по давности освоения и строению почв имеют разные источники питания, глубину залегания, минерализацию, химизм засоления и т.д.

Отрицательно сказывается на почвенно-мелиоративном состоянии и недостаточная сеть дренажных сооружений в преобладающей части орошаемой площади. В связи с этим солевой баланс слабодренированных (бездренажных) оросительных систем меняется в неблагоприятную сторону соленакопления, так как испарение близко залегающих минерализованных вод приносит сотни тонн воднорастворимых солей в почву, а с каждым кубометром поливной воды даже хорошего качества в систему поступают десятки тонн солей [11, с. 331–350].

Общие условия формирования грунтовых вод в значительной части территории, почти застойный их характер, питание за счет инфильтрации из оросительной сети и с орошаемых полей и потеря главным образом путем испарения и транспирации определяют в изученных районах направление солевого баланса. Пестрота засоления в почвах наблюдается как по профилю почвогрунтов, так и в пространстве, проявляется чередованием незасоленных (промытых) и слабозасоленных почв со средними, а иногда сильнозасоленными. Среди обследованных почв можно выделить все возможные варианты как по степени и типу засоления, так и по положению солевого горизонта. Большое разнообразие представляют изученные почвы по качественному составу солей. С повышением засоления сульфатный тип засоления переходит в хлоридно-сульфатные и сульфатно-хлоридные, соответственно в составе солей преобладают хлористый натрий и магний [12, с. 3–21; 13, с. 58; 14, с. 2540].

Представленные в табл. 4 данные показывают, что содержание воднорастворимых солей в профиле почв колеблется в довольно широких пределах от слабозасоленных с содержанием солей 0,321–0,951% до средnezасоленных с содержанием солей 1,036–1,156% при сульфатном типе засоления, из них в верхнем пахотном слое

содержатся 0,377–0,702% соответственно, нередко достигает степени сильно засоленных при сульфатно-хлоридном типе засоления. Характерные иногда для орошаемых засоленных почв «Профильное засоление» с равномерным содержанием солей и распределением по всему почвенному профилю вплоть до уровня грунтовых вод [15, с. 254], характерно и для рассматриваемых луговых аллювиальных и луговых пустынных почв (табл. 4, разр. 1, 3, 45 и 50). По химизму засоления сульфатный и хлоридно-сульфатный.

Заключение

Рассматриваемая аллювиально-дельтовая равнина в нижнем течении реки Зарафшан расположена в пустынной зоне с резко континентальным климатом. Высокие температуры в сочетании с постоянными ветрами, особенно в дневное время, способствуют активному испарению влаги из почвы, в первую очередь из ее верхних слоев. Это, в свою очередь, усиливает проявление солончаковых процессов и повышает уязвимость почв к воздействию ветровой эрозии.

Неоднородность литолого-геоморфологических и гидрогеологических условий территории обусловила формирование здесь весьма разнообразного почвенного покрова. В условиях аридного климата и высокого содержания солей в почвогрунтах и грунтовых водах процессы почвообразования протекают по солончаковому типу. Изучение агрохимических и химических свойств почв низовьев Зарафшана с учетом их геоморфологических особенностей выявило, что в изученных луговых аллювиальных и луговых пустынных почвах гумуса мало, не превышает 1%, процессы минерализации азота протекают чрезвычайно интенсивно.

В целом по агрохимическим и химическим свойствам почвы Зарафшанской долины отличаются относительно низким содержанием общего гумуса, азота, фосфора и особенно калия и их запасов, высокой карбонатностью. Все изученные почвы склонны к засолению. Для повышения продуктивности этих почв требуются мероприятия, направленные на улучшение их гумусности, мелиоративного состояния и агрохимических свойств. К таким мероприятиям следует отнести широкое введение севооборотов, применение органических и минеральных удобрений с учетом почвенно-мелиоративных условий, а также организация работ, направленных на улучшение физических свойств и водно-воздушного режима почв региона.

Список литературы

1. Панкова Е.И. Природное и антропогенное засоление почв бассейна Аральского моря (география, генезис, эволюция). М.: Почвенный институт им. В.В. Докучаева, 1996. 187 с.
2. Ковда В.А. Проблемы опустынивания и засоления почв аридных регионов мира. М.: Наука, 2008. 415 с.
3. Назарова С.М., Курвантоев Р. Практические рекомендации по повышению плодородия орошаемых почв Бухарской области. Бухара, 2018. 57 с. (на узб. языке).
4. Артыкова Х.Т. Эволюция, экологическое состояние и плодородие почв Бухарского оазиса: автореф. дис. ... докт. наук (DSc) по биолог. наукам. Ташкент, 2019. 62 с.
5. Асадов С.Р. Пути улучшения эколого-мелиоративного состояния орошаемых почв Бухарского оазиса при дефиците воды: автореф. дис. ... докт. философии (PhD) по биол. наукам. Ташкент, 2021. 44 с.
6. Гафуров К., Абдуллаев С. Характеристика почвенно-покрова орошаемой зоны Бухарской области. Ташкент: Фан, 1982. 140 с.
7. Баирова А.Ж., Ташкузиева М.М. Руководство к проведению химических и агрофизических анализов почв при мониторинге земель. Ташкент: ГосНИПА, 2019. 260 с.
8. Кузиев Р.К. Методические указания по проведению почвенных изысканий и составлению почвенных карт для ведения Государственного земельного кадастра. Ташкент, 2018. 48 с.
9. Атлас почвенного покрова Республики Узбекистан. Ташкент, 2018. 44 с.
10. Кузиев Р.К., Сектеменко В.Е. Почвы Узбекистана, Ташкент: EXTREMUM PRESS, 2018. 251 с.
11. Okur B., Örcen N. Soil Salinization and Climate Change // *Climate Change and Soil Interactions*. 2020. P. 331–350. (Elsevier).
12. Pessarakli M., Szabolcs I. Soil Salinity and Sodicity as Particular Plant/Crop Stress Factors // *Handbook of Plant and Crop Stress*. 4th ed. 2019. P. 3–21. (CRC Press).
13. Rengasamy P. Soil Salinization // *Oxford Research Encyclopedia of Environmental Science*. 2016. P. 1–33. DOI: 10.1093/acrefore/9780199389414.013.65.
14. Sahbeni G., Ngabire M., Musyimi P.K., Székely B. Challenges and Opportunities in Remote Sensing for Soil Salinization Mapping and Monitoring: A Review // *Remote Sensing*. 2023. Vol. 15, Is. 10. P. 2540. DOI: 10.3390/rs15102540.
15. Salimzoda A.F., Mahmadyorzoda U.M., Boymurodov R.B., Bobokhonova Z.K. The Salinization Problems and Soil Hydromorphism as Components of Land Desertification, Irrigated Zone of Tajikistan and the Liquidation Ways of Them // *E3S Web of Conferences*. 2021. Vol. 254. № 05008. DOI: 10.1051/e3sconf/202125405008.

УДК 631.435:631.6

АГРОХИМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ОРОШАЕМЫХ ЛУГОВЫХ АРЗЫКОВЫХ ПОЧВ ТЕРРИТОРИЙ, ПРИЛЕГАЮЩИХ К ЦЕНТРАЛЬНО-ФЕРГАНСКОМУ ВОДОХРАНИЛИЩУ

Исаков В.Ю., Акбаров С.Б.

*Кокандский государственный педагогический институт, Коканд,
e-mail: valijonisaqov247@gmail.com*

Цель работы – исследование агрохимических свойств орошаемых луговых арзыковых почв, сформированных на территориях, прилегающих к Центральному-Ферганскому водохранилищу. Исследуемая территория является центром Центрально-Ферганской озерно-пролювиальной равнины. В полевых условиях были заложены почвенные разрезы, по которым изучены морфологические свойства почв и отобраны образцы из их генетических горизонтов. Количество валовых и подвижных форм гумуса, азота, фосфора и калия в образцах определяли общепринятыми методами. Полученные результаты легли в основу настоящей статьи. Профиль арзыковых почв представлен тремя слоями: верхним – собственным почвенным, средним – арзыковым и нижним – карбонатным (шоховым) слоями. Арзыковый слой состоит из прослоев, содержащих большое количество гипса и карбонатов. Эти прослои характеризуются высокой плотностью, низкой пористостью и плохой водопроницаемостью. Профиль почвы засолен легкорастворимыми солями, при этом максимальная концентрация солей приходится на арзыковый слой. Орошаемое земледелие в зависимости от геоморфологических особенностей и литологического строения профиля почвы изменяет их свойства. Относительное увеличение содержания гумуса, азота, фосфора и калия наблюдается в почвах южной части озерно-пролювиальной равнины, переходящих в конусы выноса, а также в северной части, прилегающей к террасам Сырдарьи, где преобладают породы с более легким гранулометрическим составом. Существенных изменений агрохимических показателей почв в центральной части равнины не произошло, несмотря на многолетнюю эксплуатацию. Арзыковые почвы характеризуются тяжелыми суглинистыми и глинистыми горизонтами с повышенным содержанием гипсо-карбонатных соединений и низким плодородием. Агрохимические свойства этих почв включают малые количества как валовых, так и подвижных форм азота, фосфора, калия и гумуса. Почвы по содержанию подвижных форм NPK относятся к группе необеспеченных и низкообеспеченных.

Ключевые слова: орошаемые лугово-арзыковые почвы, строение профиля, засоление, агрохимическая характеристика, гумус, питательные элементы, уровень обеспеченности

AGROCHEMICAL PROPERTIES OF IRRIGATED MEADOW ARZYK SOILS IN THE TERRITORIES ADJACENT TO THE CENTRAL FERGANA RESERVOIR

Isakov V.Yu., Akbarov S.B.

Kokand State Pedagogical Institute, Kokand, e-mail: valijonisaqov247@gmail.com

The purpose of this article is to highlight the agrochemical properties of irrigated meadow Arzyk soils formed in the territories adjacent to the Central Fergana Reservoir. The study area is located in the center of the Central Fergana lake-alluvial plain. Soil profiles were laid in the field, where the morphological properties of the soils were studied and samples were taken from their genetic horizons. The amounts of gross and mobile forms of humus, nitrogen, phosphorus, and potassium in the samples were determined using generally accepted methods in soil science. The results obtained formed the basis for this article. The profile of Arzyk soils is sharply divided into three layers: the upper – proper soil layer, the middle – Arzyk layer, and the lower – carbonate (shokhoviy) layer. The Arzyk layer consists of layers containing a large amount of gypsum and carbonates. These soil layers have high density, low porosity, and poor water permeability. The entire soil profile is saline, with soluble salts, and the highest salt concentration is found in the Arzyk layer. Irrigated agriculture, depending on the geomorphological features and lithological structure of the soil profile, altered the properties of the soils. Relative increases in the content of humus, nitrogen, phosphorus, and potassium are observed in the soils of the southern part of the lake-proluvial plain, transitioning into the alluvial fans, as well as in the northern part adjacent to the terraces of the Syr Darya, where soils with a lighter granulometric composition prevail. No significant changes in the agrochemical properties of the soils have occurred in the central part of the plain, despite long-term exploitation. Arzyk soils, with heavy loamy and clayey horizons and increased content of gypsum-carbonate compounds in the profile, are characterized by low fertility. Their agrochemical properties include small amounts of both gross and mobile forms of nitrogen, phosphorus, potassium, and humus. The soils remain in the categories of deficient and low-provided in terms of mobile forms of NPK.

Keywords: irrigated meadow Arzyk soils, profile structure, salinization, agrochemical characteristics, humus, nutrients, level of provision

Введение

Удовлетворение растущих потребностей и запросов стремительно увеличивающегося населения, обеспечение достаточного количества и качества сельскохо-

зяйственной продукции, а также продовольственной безопасности невозможно без учета экологической чистоты и улучшения мелиоративного состояния почв. Однако среди сельскохозяйственных угод-

дий встречаются почвы с крайне низким плодородием и неудовлетворительным мелиоративным состоянием. В таких почвах присутствуют плотные слои с гипсом, карбонатно-гипсовые и арзыковые горизонты, которые практически непроницаемы для воды и существенно ограничивают плодородие. Общая площадь арзыковых, гипсовых и шоховых почв Ферганской долины превышает 300 тыс. га. Улучшение их мелиоративного состояния и повышение плодородия является важной задачей для увеличения объема сельскохозяйственной продукции [1].

Самыми сложными по агроэкологическим и мелиоративным условиям являются почвы, сформировавшиеся на озерно-пролювиальной равнине Ферганской долины. Особенно сложное экомелиоративное состояние имеет центральная часть – Каракалпакский степ. До начала ирригационно-мелиоративного освоения территория Центральной Ферганы представляла собой ряды слабо закрепленных и незакрепленных песчаных дюн, барханов, между которыми располагались солончаки, озера в низинах, заболоченные участки и болотистые луга. После строительства Большого Ферганского канала (1939) началось освоение земель Центральной Ферганы, а 1960-е гг. стали периодом массового освоения целинных и залежных земель. В этот период в круг орошаемого земледелия вошли также участки с тяжелыми мелиоративными условиями. Особенно активно освоение продолжалось в 1980–1990-е гг., когда были освоены почти все земли, за исключением крупных песчаных массивов.

Однако в процессе эксплуатации вновь освоенных земель возникло множество проблем. Почвы, устойчивые к мелиорации, оказались сильно гипсованными, карбонатно-гипсовыми (арзыковыми) и содержали плотные шоховые горизонты. В таких условиях рост даже диких растений ограничен. Несмотря на долгосрочную эксплуатацию этих земель (40–45 лет), существенных изменений в их мелиоративном состоянии не наблюдается. К числу таких сложных по мелиоративным характеристикам земель Центральной Ферганы относятся и арзыковые почвы территории, прилегающей к Центрально-Ферганскому водохранилищу, введенному в эксплуатацию в 2013 г. На данной территории не возделываются хлопчатник и другие технические культуры – выращиваются лишь рис и дыни, урожайность которых ограничена. В этом регионе широко распространены искусственные пруды и озера, предназначенные для рыбоводства.

Объем воды Центрально-Ферганского водохранилища составляет 350 млн м³, что позволяет улучшить водоснабжение 85 000 га сельскохозяйственных угодий. Однако существует и отрицательное влияние водохранилища на мелиоративное состояние земель. На расстоянии 100–150 м от водохранилища проявляются признаки заболачивания, а на остальной территории активизируются процессы засоления. Повышение эффективности использования земель в зоне влияния Центрально-Ферганского водохранилища требует глубокого изучения текущей агроэкологической и мелиоративной ситуации, анализа применяемых мелиоративных и агротехнических мероприятий, а также разработки научно обоснованных рекомендаций. Изучение морфологических и генетических характеристик почв, их химических и физических свойств, а также мелиоративного состояния позволит определить рациональные и эффективные пути использования земель региона.

В Ферганской долине, особенно в ее центральной части, распространение гипсовых, арзыковых и шоховых почв, а также их химические свойства упоминаются в работах А.А. Менци, М.А. Панкова, А.Н. Розанова и других исследователей. В литературе также представлены различные мнения о происхождении этих почв, их уникальных свойствах и особенностях формирования.

С началом использования арзыковых земель в орошаемом земледелии в 1970-х гг. были выявлены проблемы, связанные с их освоением и мелиорацией. Это вызвало необходимость более глубокого изучения данных почв и проведения ряда научных и прикладных исследований.

Одним из первых исследований, направленных на улучшение мелиоративного состояния и повышения плодородия арзыковых почв, стали работы сотрудников СоюзНИХИ (ныне УзПИТИ), проведенные на экспериментальном участке новоосвоенных земель в Язъяванском районе. Характерными чертами профиля почв этого участка являются: наличие погребенных гумусовых горизонтов, арзыковый слой на глубине 30–50 см, шоховый слой на глубине 50–80 см и сверхплотный (цементированный) песчаный слой на глубине 3–3,5 м. Исследователи обратили внимание на преобладание магния над кальцием в почвах, выдвинув гипотезу о том, что высокую плотность арзыкового слоя обуславливает не кальций, а сульфат магния.

Под руководством акад. К.М. Мирзажонова были проведены практические эксперименты по улучшению мелиоративного состояния арзыковых почв путем глубо-

кого рыхления почвы и внесения органических удобрений, что дало положительные результаты.

В 1976–1993 гг. В.Ю. Исаков исследовал географию, происхождение, морфолого-генетические, физико-химические и водные свойства почв с гипсоносными, арзиковыми и шоховыми (высококарбонатными) горизонтами, сформировавшихся в элювиальных и аккумулятивных условиях Ферганской долины. Также проведены ряд экспериментов по освоению засоленных арзиковых земель и улучшению их мелиоративного состояния. Результаты этих исследований легли в основу почвенно-мелиоративных разделов многих проектов по освоению новых земель и улучшению мелиоративного состояния орошаемых земель, разработанных проектным институтом «Ферганагипроводхоз».

Эти работы были продолжены и впоследствии выявлены изменения, происходившие в арзиковых почвах под воздействием орошаемого земледелия [2]. Сотрудники НИИ почвенных и агрохимических исследований изучили химические и агрохимические свойства аллювиальных и болотных гидроморфных почв Ферганской долины, проанализировав направления протекающих процессов [3, 4].

Под руководством Г. Юлдашева началось углубленное изучение химических и геохимических свойств почв долины, включая арзиковые почвы [5–7 и др.].

Цель исследования – изучить агрохимические свойства орошаемых луговых арзиковых почв, формирующихся на территориях, прилегающих к Центрально-Ферганскому водохранилищу, а также провести ретроспективный анализ изменений этих свойств по сравнению с предыдущими периодами.

Материалы и методы исследования

Объектом данного исследования являются почвы зоны воздействия Центрально-Ферганского водохранилища и прилегающих к нему территорий. Исследования проводились в период с 2022 по 2024 г. в полевых, лабораторных и камеральных условиях. Материалом для настоящей статьи послужили данные, полученные в ходе этих исследований, касающиеся строения почвенного разреза, морфологических характеристик, засоления, содержания гумуса и NPK.

В процессе полевых исследований использовался метод размещения почвенных разрезов вдоль геохимико-географического профиля. Также применялись «Методические рекомендации» Института почвоведения им. В.В. Докучаева. Лабораторные

анализы проводились по методикам, изложенным в пособии «Руководство по проведению химических и агрофизических анализов почвы при мониторинге земель».

Результаты исследования и их обсуждение

Агрохимические свойства почвы – это совокупность характеристик, определяющих ее способность обеспечивать растения питательными веществами и влиять на эффективность применения удобрений и агрохимикатов. В этот набор входят состав и количество органического вещества, положительно влияющего на связность почвы, ее водоудерживающую способность и служащего источником питательных веществ, способность почвы поглощать и обменивать (сорбировать) питательные и токсичные элементы, а также свойства содержат макроэлементы, такие как азот, фосфор, калий, магний, кальций, и микроэлементы, такие как медь, цинк, железо, необходимые для роста и развития растений. Агрохимические свойства и характеристики позволяют правильно выбирать, дозировать и применять удобрения, прогнозировать урожайность и обеспечивать ее стабильность.

Арзиковые почвы, как особая группа засоленных почв, были выявлены в конце 1970-х гг. на северо-западных окраинах конусов выноса Исфайрам-Шахмардансай и на территориях озерно-пролювиальной равнины. Сегодня практически все территории распространения гипсоносных и гипсокарбонатных почв вовлечены в оросительное земледелие. Эколого-мелиоративное состояние, как и агрохимические свойства освоенных почв, варьируется в зависимости от длительности ирригационного периода, комплекса мелиоративных мероприятий, интенсивности земледелия и других факторов.

Центрально-Ферганское водохранилище и прилегающие территории, зона его воздействия, в геоморфологическом отношении расположены на озерно-пролювиальной равнине. В данном регионе распространены орошаемые луговые арзиковые почвы с различной степенью засоления и с гипсово-карбонатными прослоями на различной глубине разреза. Их плодородие крайне низкое, питательными элементами не обеспечены, а физические свойства неудовлетворительны (высокая плотность и слабая водопроницаемость).

Изученные разрезы почв отличаются от разрезов луговых и лугово-болотных почв региона наличием специфических горизонтов, таких как гипсовые, карбонатные, солончаковые, гипсо-карбонатные и карбонатно-солончаковые слои. Эти образования

различаются по внешнему виду, морфологии и микроморфологии, структуре, количеству слагаемых компонентов. Разрезы гипсоносно-окарбонатных почв резко отличаются от других почв региона, имея трехслойную или трехъярусную структуру.

Верхний «надарзыковский», или «истинный почвенный», горизонт, характерный для мелко и глубоко арзыконосных почв, состоит из мелкозернистой массы. Содержание гипса в этом горизонте может достигать 10%. В поверхностно-арзыковых почвах верхняя часть разреза состоит из гипсового горизонта с содержанием гипса 20–30% и более. Этот слой также содержит легко-растворимые соли с варьирующей степенью засоленности – от слабой до сильной, включая солончаки.

Средний слой профиля – арзыконосный (гипсо-карбонатный) горизонт почв состоит из двух, трех или более арзыковых прослоев, содержащих 10–70% гипса и 15–40% карбонатов. Эти слои также включают различное количество легко-растворимых солей, часть которых находится внутри гипсовых кристаллов и гипсо-карбонатных агрегатов. Арзыковые слои плотные и часто включают в разной степени цементированные прослои, что минимизирует аэрацию, ухудшает водопроницаемость и влагозадержание.

Нижний слой профиля представляет собой высококарбонатный – шоховый горизонт, состоящий из карбонатных конкреций,

монолитно или фрагментарно цементированных и рыхлых прослоев. Масса этого горизонта на 30–60% состоит из кальцита, доломита, магнезита и других карбонатных и сульфатных минералов.

На орошаемых землях, прилегающих к водохранилищу, мощность пахотного слоя лугово-арзыковых почв составляет 20–30 см, местами до 40 см. По гранулометрическому составу преобладают песчаные и супесчаные разности. Ниже расположен глинистый, арзыковый слой толщиной до 1–1,5 м, характеризующийся высокой плотностью (1,6–2,1 г/см³), низкой пористостью (25–40%) и очень слабой водопроницаемостью (0,003 м/сутки и менее). Этот слой является механическим препятствием для корневых систем растений и передвижения влаги. Для мигрирующих химических элементов и соединений являются гидрохимическим барьером.

Барьерная функция арзыкового слоя определяет устойчивость почв к мелиоративным воздействиям. Высокая плотность и низкая пористость минимизируют вертикальный поток влаги. Для промывки солей через слой арзыка толщиной более 1 м требуется значительное количество воды. Вода насыщает мелкие капилляры горизонта, что препятствует дальнейшему движению потока. В результате соли перераспределяются, но их общее содержание не снижается существенно.

Таблица 1

Содержание легко-растворимых солей в орошаемых лугово-карбонатных почвах, %

Глубина, см	Сухой остаток	Токсичные соли	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	SO ₄ ⁻	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Na ⁺
15 разрез								
0–30	1,191	0,27	0,025	0,152	0,612	0,275	0,025	0,045
31–50	1,362	0,46	0,020	0,055	0,815	0,247	0,024	0,112
51–87	1,458	0,41	0,024	0,044	0,912	0,298	0,019	0,105
88–115	1,879	0,67	0,025	0,053	1,142	0,323	0,037	0,160
116–140	2,181	0,89	0,044	0,092	1,320	0,363	0,054	0,204
141–175	1,597	0,49	0,025	0,046	1,051	0,252	0,043	0,076
176–205	0,714	0,29	0,018	0,005	0,470	0,123	0,014	0,063
18 разрез								
0–20	1,031	0,26	0,025	0,042	0,590	0,220	0,013	0,065
20–85	1,278	0,42	0,022	0,049	0,778	0,240	0,030	0,087
86–147	1,198	0,37	0,025	0,042	0,720	0,228	0,015	0,099
148–180	1,248	0,35	0,033	0,042	0,720	0,240	0,024	0,076
181–205	0,931	0,25	0,020	0,031	0,576	0,196	0,024	0,040
205–220	0,684	0,19	0,020	0,007	0,432	0,140	0,020	0,027

Источник: составлено авторами.

Весной поверхностный слой почвы частично освобождается от солей за счет осадков. Однако из-за недостаточного количества осадков и неблагоприятных физических свойств почв значительного снижения содержания солей не наблюдается.

В исследованных орошаемых лугово-арзыковых почвах пахотный слой характеризуется средней степенью засоленности. Степень засоления к середине профиля почвы повышается и доходит до очень сильной степени, потом с глубиной несколько понижается. Химизм засоления преимущественно сульфатный, содержание хлоридов повышенное. Токсичные соли представлены магниевыми и натриевыми хлоридами и сульфатами (табл. 1).

Арзыковый слой состоит из нескольких прослоев. Он в первом разрезе начинается с 50 см, во втором – с подпахотного слоя. Прослой арзыкового горизонта содержат наибольшее количество водорастворимых солей. Уровень засоления характеризуется высокой концентрацией токсичных солей. Максимум солей приходится на верхнюю и среднюю часть слоя арзык. В подарзыковых горизонтах, ближе к уровню грунтовых вод, засоление снижается до среднего и слабого уровня.

Уровень мелиоративного состояния арзыковых почв и положительные изменения, вызванные антропогенными факторами (орошением), согласно результатам наблюдений, зависят от их формирования в определенных геоморфологических и литологических условиях. На северной части исследуемой территории расположены древние и современные равнины Сырдарьи. По данным Н. Каландарова [8], в новоосвоенных территориях в результате выравнивания земель в верхних слоях почвенных разрезов преобладает легкий механический состав. В орошаемых почвах содержание

питательных веществ в большинстве мест увеличилось на один уровень. Грунтовые воды, ранее находившиеся на глубине 2–2,5 м, поднялись до уровня 1,3–1,8 м, что привело к усилению процессов гидроморфизма. На большей части территории процессы засоления сменились процессами обессоливания.

На юге, в более возвышенных частях озерно-пролювиальных равнин, а также в нижних частях конусов выносов, в морфологической структуре, агрохимических свойствах и мелиоративном состоянии орошаемых лугово-арзыковых почв, согласно данным М. Исагалиева [9], произошли положительные изменения. В частности, содержание гумуса в пахотных горизонтах почв достигло 0,99–1,28%, общего азота – 0,109–0,129%, а его подвижных форм – 13,8–16,5 мг/кг. Общее содержание фосфора и калия составило соответственно 0,14–0,16% и 1,53–1,82%, количество подвижных форм – 27,8–29,5 мг/кг и 170–197 мг/кг.

В изученных авторами орошаемых лугово-арзыковых почвах Каракалпакских пустынь содержание гумуса в пахотных горизонтах колеблется в пределах 0,55–0,73% (табл. 2). В подпахотных горизонтах эти показатели составляют 0,46–0,56%, а в арзыковом слое – 0,15–0,18%. Общее содержание фосфора в профиле арзыковых почв варьируется в пределах 0,07–0,15%, в арзыковом слое – 0,07–0,11%. Общее содержание калия в упомянутых слоях составляет 1,25–1,70% и 0,95–1,10. По содержанию подвижных форм фосфора почвы относятся к слабообеспеченным, а по содержанию обменного калия – к группе с низкой обеспеченностью. Содержание подвижного P_2O_5 в пахотных слоях почв составляет 13,0–20,0 мг/кг, в подпахотных слоях – 9,0–17,5 мг/кг, обменного калия – 125–177 и 106–130 мг/кг соответственно.

Таблица 2

Агрохимические свойства орошаемых лугово-арзыковых почв

№ разреза	Глубина, см	Гумус, %	Валовые формы, %			Подвижные формы, mg/kg		
			N	P_2O_5	K_2O	N- NO_2	P_2O_5	K_2O
15	0–30	0,73	0,045	0,15	1,70	9,65	20,0	177
	31–50	0,56	0,046	0,14	1,50	6,75	17,5	130
	51–87	0,18	0,015	0,11	1,10	2,15	12,0	0,92
18	0–20	0,55	0,045	0,12	1,25	6,70	13,0	125
	21–85	0,46	0,030	0,10	0,90	5,00	9,0	106
	86–147	0,15	0,009	0,07	0,95	–	5,0	110

Источник: составлено авторами.

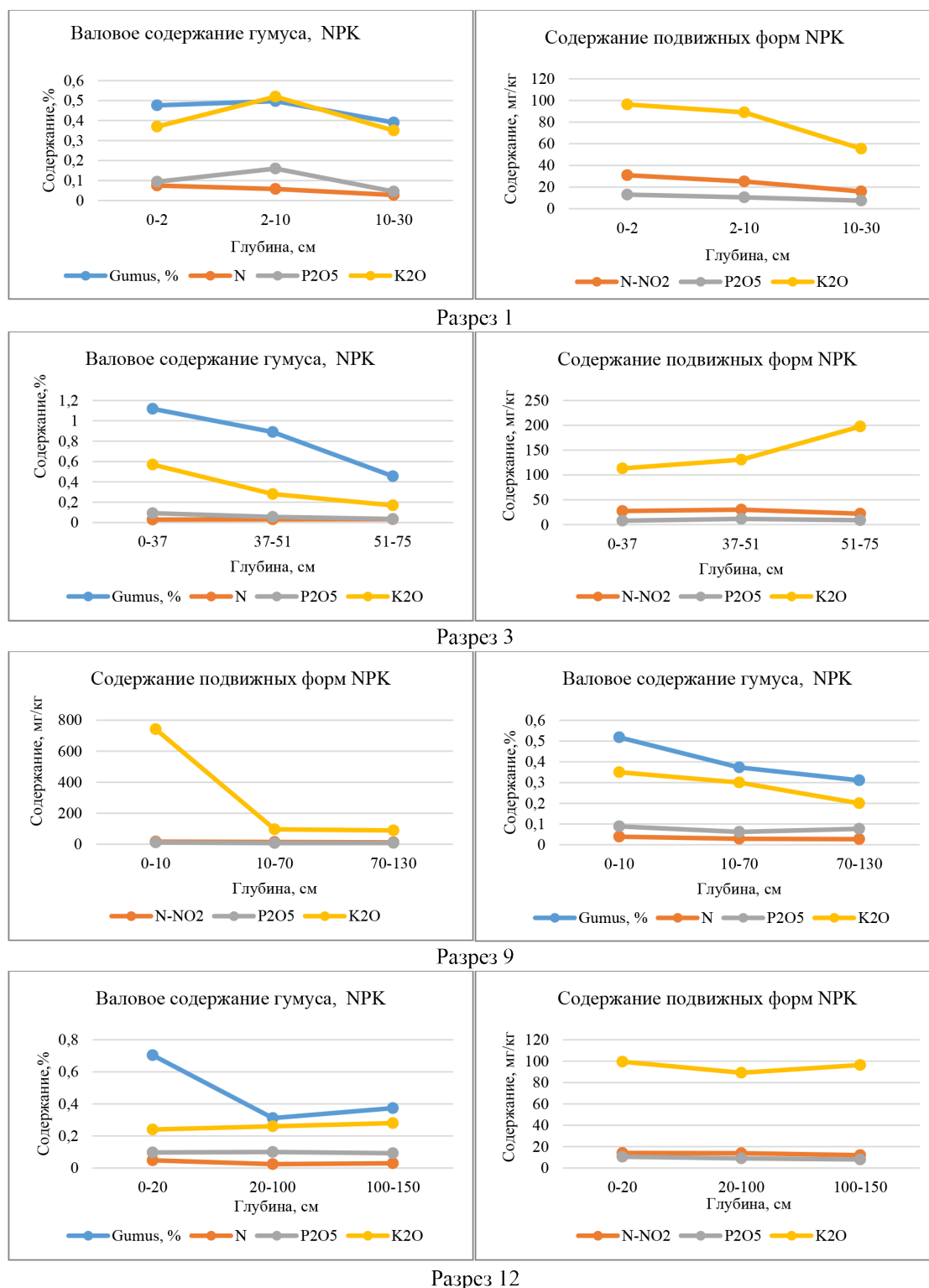


Рис. 1. Диаграммы содержания гумуса и NPK
 Источник: составлено авторами по материалам 2024 г.

Агрохимические свойства почв могут изменяться в положительную или отрицательную сторону под влиянием таких факторов, как орошение, применение хи-

мических и органических удобрений, эрозия, дефляция, изменение почвенной среды и засоление в условиях интенсивного земледелия.

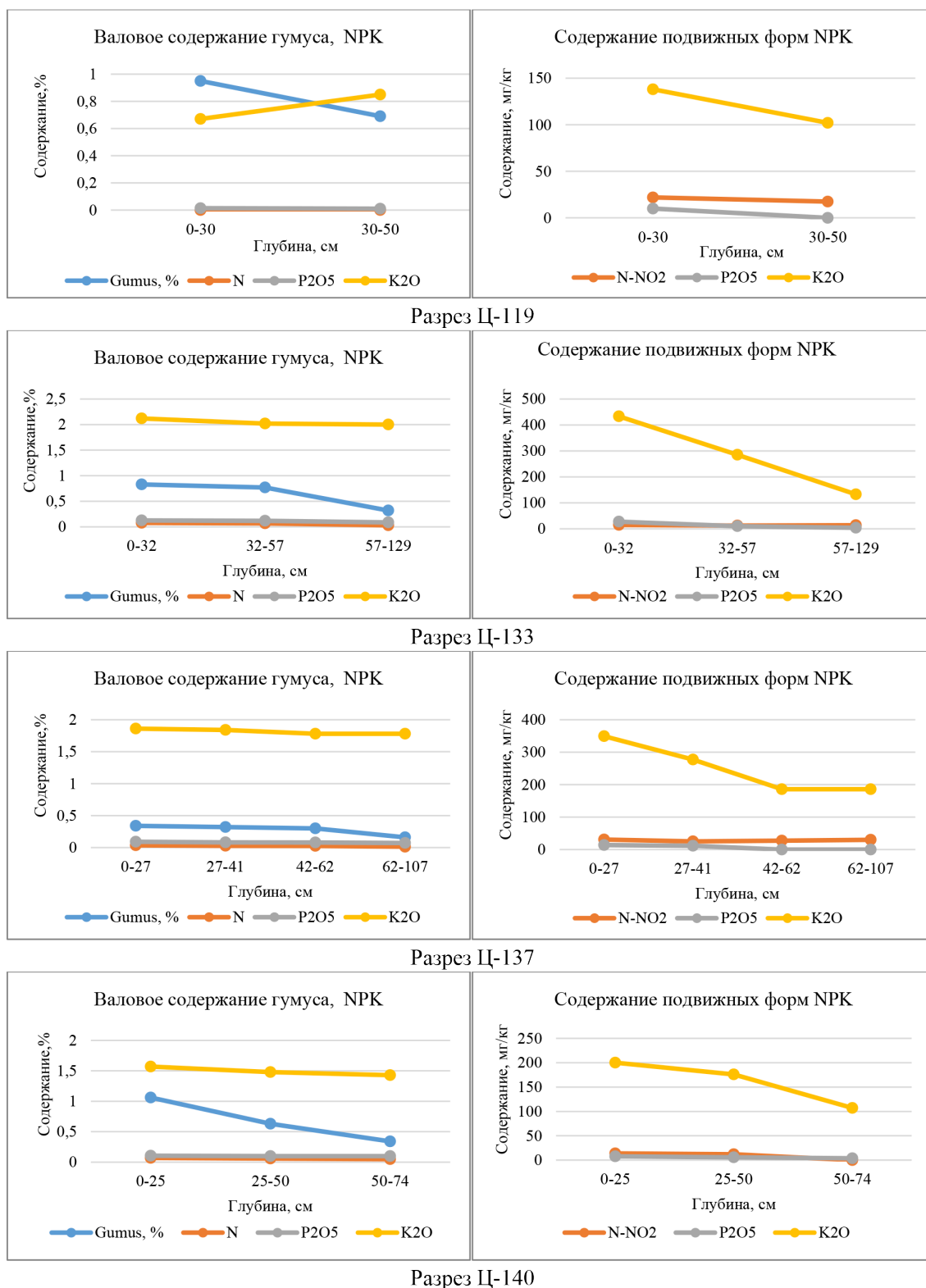


Рис. 2. Диаграммы содержания гумуса и NPK
Источник: составлено авторами по материалам 1977–1978 гг. [1]

Содержание гумуса в пахотных слоях почв исследуемой территории в 2024 г. варьировалось в пределах 0,476–1,118%, а со-

держание общего азота – в пределах 0,039–0,85%. В подпахотных слоях почв эти показатели составили 0,373–0,89% и 0,024–

0,046 % соответственно. Сравнение этих данных с показателями 1977–1978 гг. показало, что количество гумуса в пахотном горизонте увеличилось в среднем на 0,097 %, а содержание общего азота – на 0,046 %. В подпахотном горизонте гумус увеличился в среднем на 0,1 %, а азот – на 0,018 % (рис. 1 и 2).

В 2024 г. по сравнению с 1977–1978 гг. наблюдалось снижение как общего, так и подвижного количества фосфора и калия. В пахотных горизонтах снижение составило в среднем 0,004 % для валового фосфора и 0,425 % для общего калия, в подпахотных слоях – 0,006 % и 0,555 % соответственно.

Количество подвижного фосфора в пахотных горизонтах почв в 2024 г. составляло 8,0–20,0 мг/кг, что в среднем на 3,65 мг/кг меньше по сравнению с предыдущими годами. В подпахотных слоях, напротив, его содержание увеличилось на 4,05 мг/кг, достигнув 8,0–17,5 мг/кг. Количество подвижного калия, как и общего калия, уменьшилось в обоих горизонтах, снижение составило 70,5 и 79,5 мг/кг соответственно.

Снижение содержания фосфора (P_2O_5) и калия (K_2O) в условиях орошаемого земледелия может быть обусловлено выносом питательных веществ с урожаем, вымыванием элементов вследствие интенсивного орошения, а также недостаточным внесением фосфорных и калийных удобрений. На исследуемой территории уже много лет выращивается рис, требующий большого количества воды, что также могло способствовать снижению содержания фосфора и калия.

Представленные агрохимические характеристики показывают, что для орошаемых луговых почв, особенно арзикового слоя, характерно резкое снижение содержания гумуса, общего и подвижного содержания элементов питания.

Закключение

Исследуемые почвы в целом характеризуются низким содержанием гумуса, валового азота и фосфора, бедностью практически значимого подвижного фосфора и обменного калия в обрабатываемых горизонтах, а также крайне низким содержанием подвижного фосфора и калия в гипсовом и арзиковом горизонтах. Водно-физические свойства и агромелиоративные характеристики этих почв неудовлетворительны.

Исследования 2023–2024 гг. показали некоторое увеличение количества гумуса и общего азота по сравнению с 1977–1978 гг. Однако содержание валовых и под-

вижных форм фосфора и калия снижено. Исключением является подпочвенный слой, в котором содержание подвижного фосфора увеличилось на 4 мг/кг. В целом низкое плодородие почв обусловлено такими лимитирующими факторами, как дефицит гумуса и питательных элементов. Для повышения продуктивности почв необходимо улучшение водно-физических свойств, а также широкое применение органических и минеральных удобрений.

Список литературы

1. Исаков В.Ю. Свойства арзиковых почв Центральной Ферганы: монография. Ташкент: Узинформагпропром, 1991. 108 с. [Электронный ресурс]. URL: https://scholar.google.ru/scholar?hl=ru&as_sdt=0%2C5&q=%D0%A1%D0%B2 (дата обращения: 30.06.2025).
2. Исаков В.Ю., Юсупова М.А., Тобилов О.К. Эколого-мелиоративное состояние земель Ферганской долины и пути их улучшения: Innovations in technical and natural sciences: Monograph, Volume 4. ed. by P. Busch. Vienna: "East West" Association for Advanced Studies and Higher Education GmbH, 2017. P. 15-30. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.researchgate.net/publication/360066384> (дата обращения: 03.06.2025).
3. Абдурахмонов Н.Ю., Собитов У.Т., Юлдашев И.К. Свойства орошаемых лугово-сазовых почв Центральной Ферганы // Научное обозрение. Биологические науки. 2023. № 2. С. 51–56. URL: <https://science-biology.ru/ru/article/view?id=1328> (дата обращения: 22.06.2025).
4. Исмонов А.Ж., Абдурахмонов Н.Ю., Каримов Х.Н., Каландаров Н.Н., Турсунов Ш.Т. Почвы Центральной Ферганы и их изменение при орошении // Научное обозрение. Биологические науки. 2018. № 3. С. 12–17. URL: <https://science-biology.ru/ru/article/view?id=1102> (дата обращения: 30.06.2025).
5. Турдалиев А.Т. Генезис физико-химических и биогеохимических особенностей арзык-шоховых, шох-арзиковых земель Центральной Ферганы: дис. ... докт. хим. наук. Ташкент, 2016, 262 с. [Электронный ресурс]. URL: <https://diss.natlib.uz/qidirish?s=%D0%A2%D1%83%D1%80%D0%B4%D0%B8%D0%B0%D0%BB%D0%B8%D0%B5%D0%B2%D0%90%D0%B2%D0%B0%D0%B7%D0%B1%D0%B5%D0%BA%20%D0%A2%D1%83%D1%80%D0%B4%D0%B0%D0%BB%D0%B8%D0%B5%D0%B2%D0%B8%D1%87> (дата обращения: 29.06.2025).
6. Турдалиев А.Т., Хайдаров М.М., Мусаев И.И. Педолитлы тупрокларнинг агрономик хоссалари (agronomic properties of pedolith soils) // Science and innovation. 2022. № 6. С. 245–249. DOI: 10.5281/zenodo.7179793.
7. Мамажонов И.Н. Влияние антропогенных факторов на биогеохимические и мелиоративные свойства почв с метаморфическими горизонтами и растений: автореф. дис. ... докт. филос. (PhD) по биол. наук. Фергана, 2024. 43 с. [Электронный ресурс]. URL: <https://library.ziyounet.uz/book/133434> (дата обращения: 26.06.2025).
8. Каландаров Н.Н. Состояние гидроморфных почв северной части Центральной Ферганы и их изменение под влиянием антропогенного фактора: автореф. дис. ... докт. филос. (PhD) по биол. наук. Ташкент, 2019. 41 с.
9. Исгаралиев М.Т., Abaraliyeva S.F. Sug'oriladigan tuproqlarning agrokiimyoviy xossalari // International scientific-practical conference actual issues of agricultural development: problems and solutions june 6–7. 2023. С. 770–772. [Электронный ресурс]. URL: https://ilmiyanjumanlar.uz/co_articles?menu=1&series=6&volume=&issue=&page=11%27&count=10%27 (дата обращения: 30.06.2025).

УДК 57.01:612.1

НЕКОТОРЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ КРОВИ ПРИ АЛЛОКСАНОВОМ ДИАБЕТЕ У КРЫС

Кучкарова Л.С., Ачилов Р.Х.

*Национальный университет Узбекистана имени Мирзо Улугбека, Ташкент,
e-mail: ochilovrashidbek81@gmail.com*

Индукция экспериментального диабета с помощью аллоксана позволяет глубоко изучить патогенез сахарного диабета 1 типа и испытывать новые лечебные средства. Цель – определить изменения в активности некоторых органических субстратов и ферментов в сыворотке крови при диабете, вызванном аллоксаном. Белые лабораторные крысы были разделены на две группы и получали физиологический раствор или аллоксан (в дозе 50 мг/кг каждые 24 ч, объемом 0,3 мл, трижды). Для биохимического анализа кровь была получена путем декапитации и собрана в центрифужные пробирки с гепарином. В полученной сыворотке крови были определены следующие показатели: глюкоза, холестерин, триглицериды, общий белок, мочевины, а также активность следующих ферментов: α -амилаза (α -1,4-глюкан-4-глюканогидролаза), креатинфосфокиназа (креатин-N-фосфотрансфераза), аланинаминотрансфераза (L-аланин:2-оксоглутарат аминотрансфераза), аспартатаминотрансфераза (L-аспартат:2-оксоглутарат аминотрансфераза) и щелочная фосфатаза. Изменения проводились с помощью автоматического биохимического анализатора RT-904C (Китай). В состоянии диабета наблюдалось резкое повышение уровня глюкозы и липидов в крови, снижение содержания общего белка и снижение активности α -амилазы. Также было выявлено повышение активности креатинфосфокиназы, аланинаминотрансферазы, аспартатаминотрансферазы и щелочной фосфатазы у крыс, что указывает на наличие метаболических нарушений в тканях печени, мышц и костей. Эти изменения свидетельствуют о нарушении функционирования ферментных систем на фоне сахарного диабета и развитии множественных системных функциональных расстройств. Таким образом, глубокий анализ метаболических и физиологических механизмов сахарного диабета является одной из важнейших научно-исследовательских задач специалистов в области диабетологии. Это служит основой для предупреждения и своевременной коррекции данного опасного заболевания и его осложнений.

Ключевые слова: белые крысы, аллоксановый диабет, органические субстраты крови, ферменты крови

SOME BLOOD PARAMETERS IN RATS WITH ALLOXAN-INDUCED DIABETES

Kuchkarova L.S., Achilov R.Kh.

*Mirzo Ulugbek National University of Uzbekistan, Tashkent,
e-mail: ochilovrashidbek81@gmail.com*

Induction of experimental diabetes using alloxan allows for an in-depth study of the pathogenesis of type 1 diabetes mellitus and provides an opportunity to test new therapeutic agents. Objective: To determine changes in the activity of certain organic substrates and enzymes in blood serum in alloxan-induced diabetes. White laboratory rats were divided into 2 groups and were administered either physiological saline or alloxan (at a dose of 50 mg/kg, every 24 hours, in a volume of 0.3 ml, three times). For biochemical analysis, blood was collected by decapitation and placed into centrifuge tubes containing heparin. The following parameters were measured in the obtained blood serum: glucose, cholesterol, triglycerides, total protein, urea, as well as the activity of the following enzymes: α -amylase (α -1,4-glucan-4-glucanohydrolase), creatine phosphokinase (creatine-N-phosphotransferase), alanine aminotransferase (L-alanine:2-oxoglutarate aminotransferase), aspartate aminotransferase (L-aspartate:2-oxoglutarate aminotransferase), and alkaline phosphatase. Measurements were performed using the RT-904C (China) automatic biochemical analyzer. In the diabetic state, there was a significant increase in blood glucose and lipid levels, a decrease in total protein content, and a reduction in α -amylase activity. An increase in the activity of creatine phosphokinase, alanine aminotransferase, aspartate aminotransferase, and alkaline phosphatase in the rats indicated the presence of metabolic disorders in liver, muscle, and bone tissues. These changes suggest that the activity of enzymatic systems is impaired in diabetes and that multisystem functional disorders are developing. Thus, a thorough analysis of the metabolic and physiological mechanisms of diabetes mellitus is one of the key scientific research tasks in the field of diabetology. This is essential for the prevention and timely correction of this dangerous pathology and its complications.

Keywords: white rats, alloxan diabetes, organic blood substrates, blood enzymes

Введение

Сахарный диабет (СД) – это хроническое метаболическое заболевание, развивающееся в результате нарушения секреции инсулина или его действия, влияющее на обмен углеводов, жиров и белков в организме. В последние годы широкое распространение данного заболевания в эпи-

демиологических масштабах представляет серьезную угрозу для здоровья человечества. По данным Всемирной организации здравоохранения, в 2021 г. количество больных диабетом достигло 537 млн чел., и этот показатель с каждым годом увеличивается. Согласно прогнозам, к 2045 г. это число может превысить 783 млн [1]. Основными

факторами риска считаются неправильное питание, физическая неактивность, стрессовые состояния и наследственная предрасположенность. Сахарный диабет не ограничивается лишь нарушением метаболизма глюкозы, но также затрагивает липидный и белковый обмен, систему антиоксидантной защиты, глюконеогенез, гликогенолиз, окислительный стресс и воспалительные маркеры, нарушая множество метаболических путей. Это приводит к резкому нарушению гомеостаза, апоптозу клеток и развитию инсулинорезистентности. Указанные патофизиологические процессы вызывают снижение функции β -клеток поджелудочной железы и снижение чувствительности к инсулину в периферических тканях. Кроме того, сахарный диабет снижает синтез и накопление гликогена в печени, вызывает глюкозурию в почках, влияет на сердечно-сосудистую и центральную нервную системы, вызывая патологические изменения в их структуре и функции. Осложнения, связанные с диабетом, такие как ангиопатия, нефропатия, ретинопатия и невропатия, значительно снижают качество и продолжительность жизни пациентов. Развитие этих осложнений связано с повреждением эндотелиальных клеток, нарушением микроциркуляции и усилением окислительного стресса на фоне гипергликемии [2]. В связи с этим изучение уровня органических субстратов (таких как глюкоза, лактат, пириват, пировиноградная кислота и аминокислоты) и активности ферментов (таких как ALT, AST, CK, AP) в крови, а также определение их роли в патологическом процессе является важным направлением современной экспериментальной и клинической биологии.

Создание моделей диабета в лабораторных условиях предоставляет возможность более глубокого изучения патогенеза данного заболевания, а также его физиологических и биохимических механизмов. Одним из широко применяемых методов для этой цели является индукция экспериментального диабета с помощью аллоксана. Аллоксан – это производное мочевины, обладающее селективной токсичностью по отношению к β -клеткам, проникающее в них как аналог глюкозы и вызывающее образование большого количества активных форм кислорода. Это приводит к повреждению мембраны клеток, ДНК и белков, вызывая некроз клеток. Данная модель позволяет глубже понять патогенез сахарного диабета 1 типа, а также тестировать новые лечебные препараты. Кроме того, модель диабета, вызванного аллоксаном, позволяет анализировать компенсаторные реакции организма в условиях гипергли-

кемии, включая изменения уровня стресс-гормонов (кортизол, адреналин), медиаторов воспаления и гормонов-антагонистов инсулина (глюкагон, соматотропин) [3]. С помощью модели диабета, вызванного аллоксаном, также возможно изучение митохондриальной дисфункции, нарушения энергетического баланса и сбоев в клеточных сигнальных путях. Это имеет важное значение для понимания молекулярных основ диабета и определения мишеней для новых лекарственных средств. Наряду с этим для ранней диагностики и эффективного лечения сахарного диабета важно оценивать метаболические показатели, определяющие его развитие, в частности уровень субстратов и активность ферментов в крови. Такой подход позволяет осуществлять индивидуальный контроль над заболеванием, мониторинг фармакологического воздействия и разработку стратегий диетотерапии.

Цель исследования – определить изменения активности некоторых органических субстратов и ферментов в сыворотке крови при аллоксановом диабете.

Материалы и методы исследования

Эксперименты проводились на половозрелых беспородных крысах-самцах массой тела 180–200 г. Животные содержались при естественном свето-темновом режиме, температуре воздуха $23,0 \pm 2,1^\circ\text{C}$ и относительной влажности воздуха 50–70% на стандартном рационе вивария при неограниченном доступе к воде и пище. Все экспериментальные работы выполнялись в соответствии с международными биоэтическими нормами проведения исследований на лабораторных животных.

Крысы были разделены случайным образом на две группы – контрольную и опытную. У крыс опытной группы вызывали диабет тремя внутривенными инъекциями аллоксана моногидрата (Sigma-Aldrich, США) в дозе 50 мг/кг каждые 24 ч в объеме 0,3 мл. Контрольной группе крыс вводили физиологический раствор в том же объеме и в то же время, что и опытной группе. Через 5–6 дней после введения аллоксана моногидрата у крыс определяли содержание глюкозы в крови. Для этого хвост крысы обрабатывали новокаином с целью обезболивания и осторожно его кончик надрезали острыми хирургическими ножницами. К полученной капле крови прикладывали тест-полоску, которая пропитывалась кровью. Интенсивность окрашивания содержащейся в тест-полоске глюкозы крови, оксидоредуктазой глюкозы, согласно инструкции производителя, была пропорциональна

концентрации моносахарида в крови. Окрашенная полоска переносилась в специальную ячейку глюкометра (ACCU-CHEK, Германия), в результате просвечивания которой на дисплее прибора отражалась концентрация глюкозы в сыворотке крови в ммоль/л. Только те крысы, уровень глюкозы у которых в крови был выше 15 ммоль/л считались диабетическими и были использованы в дальнейших исследованиях.

Кровь для биохимических анализов собирали при декапитации в гепаринизированные центрифужные пробирки. Кровь отстаивали в течение 30 мин при комнатной температуре и затем центрифугировали при 3000 об/мин в течение 10 мин на высокоскоростной микроцентрифуге D2012 PLUS (Китай). Сыворотку крови осторожно отсасывали и в ней определяли содержание глюкозы, холестерина, триглицеридов, общего белка, мочевины, а также активность α -амилазы (α -1,4-глюкан-4-глюканогидролаза), креатинфосфокиназы (креатин-N-фосфотрансфераза), аланинаминотрансферазы (L-аланин:2-оксоглутаратинотрансфераза), аспаратаминотрансферазы (L-аспартат:2-оксоглутаратминотрансфераза) и щелочной фосфатазы при помощи автоматического биохимического анализатора RT-904C Китай. Кроме того, в моче были определены содержание глюкозы и общего белка с использованием анализатора мочи URIT-50 (Китай). Полученные данные были обработаны при помощи статистической программы Origin Pro 8.6 с определением критерия Стьюдента (t) и определение показателя достоверности P. Разница между показателями опытной и контрольных групп считалась достоверной при $P < 0,05$.

Результаты исследования и их обсуждение

Данные по изменению содержания белка и глюкозы в сыворотке крови крыс представлены на рис. 1.

Как видно из рис. 1, содержание глюкозы у крыс опытной группы в сыворотке крови возрастало на 184,7%, а содержание белка, напротив, не возрастало а уменьшалось на 18,7%. В отличие от сыворотки крови содержание как глюкозы, так и белка в моче диабетических крыс статистически достоверно увеличивалось по сравнению с животными контрольной группы.

Разрушение β клеток островков Лангерганса поджелудочной железы аллоксаном моногидратом, естественно, снижая уровень секретируемого инсулина, приводило к повышению уровня глюкозы у диабетических крыс. Доказано, что инсулин является единственным гормоном, вызывающим снижение уровня глюкозы в крови путем утилизации его в гликоген печени [4]. Если уровень глюкозы у крыс с аллоксановым диабетом в сыворотке крови повышался, то уровень общего белка, напротив, заметно снижался в группе крыс с аллоксановым диабетом, по сравнению с контрольной группой (рис. 1). Изменение концентрации общего белка в плазме крови, скорее всего, обусловлено скоростью либо его катаболизма, либо анаболизма и, возможно, перераспределением белка среди тканей. У диабетических крыс на фоне уменьшения содержания белка, в моче его количество возрастало. Такая же тенденция была обнаружена в клинических исследованиях у больных сахарным диабетом, что авторы связывали с повреждением почечной ткани [5].

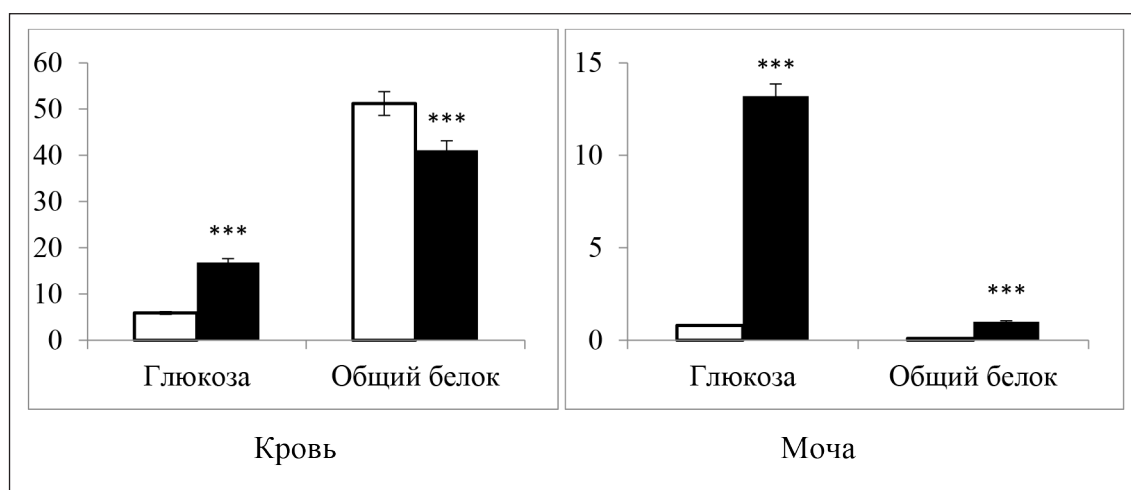


Рис. 1. Влияние аллоксанового диабета на содержание глюкозы и общего белка в крови и моче крыс ($M \pm m$, при $n = 6$); *** – $P < 0,001$

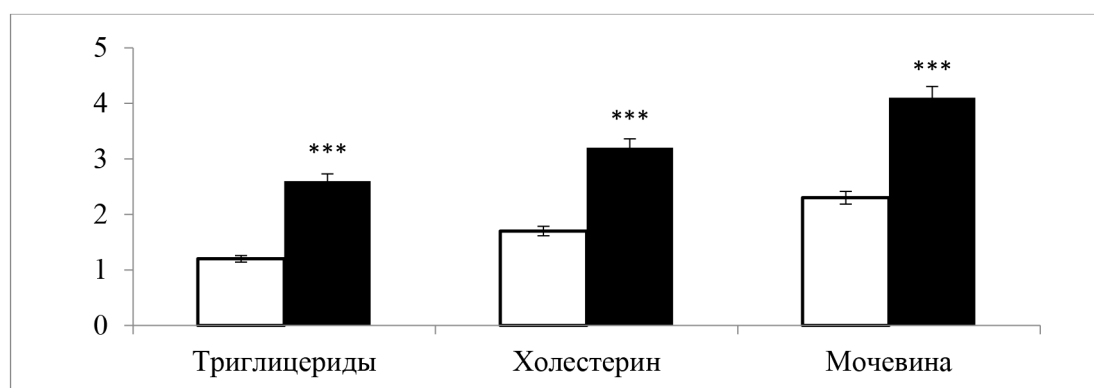


Рис. 2. Влияние аллоксанового диабета на содержание триглицеридов, холестерина и мочевины в сыворотке крови ($M \pm m$, при $n = 6$); *** – $P < 0,001$

В нормальных условиях фильтрационная система почек предотвращает проникновение крупных белковых молекул в мочу. Однако при диабете фильтрация из-за повреждения почечных клубочков нарушается, что вызывает протеинурию, то есть повышенное выделение белков с мочой. Этот процесс является одним из первых признаков развития диабетической нефропатии. Кроме того, снижение уровня белка в крови свидетельствует о развитии общих метаболических нарушений, связанных с уменьшением синтеза белка и его повышенной потерей. Уровень триглицеридов, холестерина и мочевины в сыворотке крови диабетических крыс представлен на рис. 2.

Как видно из рис. 2, у крыс с сахарным диабетом в сыворотке крови уровень триглицеридов возрос на 116,7%, содержание холестерина на 88,2%, а уровень мочевины 78,2% по сравнению с уровнем этих субстратов в крови у животных, которых инъецировали физиологическим раствором.

Эти данные подтверждают, что у диабетических крыс при отсутствии лечения избыточная глюкозная нагрузка способствует резкому нарушению липидного обмена, которое проявляется повышением уровня триглицеридов и холестерина в сыворотке крови. Действительно, было отмечено, что особенности липидного спектра при сахарном диабете характеризуются увеличением концентрации триглицеридов, снижением уровня холестерина липопротеинов высокой плотности и преобладанием в крови липопротеинов низкой плотности, то есть «плохого холестерина» [6]. Отмеченное увеличение общего холестерина в данном эксперименте явно связано с возрастанием содержания, скорее всего, «плохого» холестерина. Наряду с изменением липидного обмена, нарушается и белковый обмен, который в данных экспериментах проявляется не только в гипопроteinемии и протеинурии (рис. 2), но и в увеличении концентрации мочевины – одного из конечных продуктов белкового распада в крови и маркера диабетической нефропатии [7].

Влияние аллоксанового диабета на активность некоторых ферментов в сыворотке крови крыс ($M \pm m$, при $n = 6$)

Фермент	Контроль	Опыт	% по отношению к контролю	P
α -Амилаза	140,2 $\pm$ 12,1	99,1 $\pm$ 7,7	70,7	< 0,01
Креатининкиназа	188,4 $\pm$ 10,4	245,2 $\pm$ 12,8	130,1	< 0,01
Аланинаминотрансфераза	120,1 $\pm$ 9,2	235,2 $\pm$ 19,4	195,8	< 0,001
Аспартатаминотрансфераза	63,4 $\pm$ 5,3	150,4 $\pm$ 8,2	237,2	< 0,001
Щелочная фосфатаза	70,4 $\pm$ 6,4	140,1 $\pm$ 7,7	199,0	< 0,001

Примечание: PP < 0,001 – достоверность различий при сравнении показателей экспериментальных групп с контрольными группами.

Изменения активности некоторых ферментов в сыворотке крови при аллоксановом диабете представлены в таблице. Активность всех определяемых ферментов у крыс с аллоксан-индуцированным диабетом статистически достоверно изменялась, что свидетельствует о выраженных метаболических нарушениях, сопровождающих развитие данного патологического состояния.

Так, активность α -амилазы у диабетических крыс уменьшалась на 29,3%, что, вероятно, связано с угнетением синтеза фермента в ацинарных клетках поджелудочной железы вследствие деструкции β -клеток островков Лангерганса. Считаем, что уменьшение активности α -амилазы обусловлено замедлением темпов синтеза фермента, приводящим к уменьшению экскреции фермента в кровь. Этот процесс, вероятно, усиливается на фоне повреждения поджелудочной железы и дефицита ферментпродуцирующих клеток. Кроме того, при диабетической нефропатии α -амилаза в большем количестве выводится с мочой, что также приводит к снижению активности фермента в плазме крови. Следует подчеркнуть, что уменьшение активности α -амилазы в крови, отмеченное в данном наблюдении, при прогрессировании заболевания и развитии осложнений, может замениться возрастанием активности фермента, выявленным в других работах. Возрастание инкреции α -амилазы в гемоциркуляции в таких случаях свидетельствует о том, что сахарный диабет может быть поводом или причиной нарушения экзокринной функции поджелудочной железы, способствуя развитию панкреатита [8, 9].

Активность креатинфосфокиназы возрастала на 30,1%, что указывает на усиление катаболизма мышечных белков и нарушение энергообеспеченности клеток. Креатинфосфокиназа в основном присутствует в мышечной ткани и играет важную роль в энергетическом обмене. Увеличение активности креатинфосфокиназы у крыс с аллоксановым диабетом ассоциирует с дегенерацией мышечной ткани из-за нарушения метаболизма по причине дефицита инсулина. При повреждении мышечных клеток креатинфосфокиназа в большем количестве поступает в кровь. Эти данные предполагают, что при аллоксан-индуцированном диабете гликемический стресс негативно влияет на здоровье мышц [10].

Активность аланинаминотрансферазы увеличивалась на 95,8%, а активность аспартатаминотрансферазы – на 137,2%, что убедительно отражает глубокие деструктивные изменения в гепатоцитах, так как эти ферменты являются маркерами

повреждения печени. Это связано с тем, что гипергликемия вызывает экссудативный стресс и воспаление печени, что способствует выходу аланинаминотрансферазы и аспартатаминотрансферазы в кровь.

Активность щелочной фосфатазы увеличивалась на 99,0%, что свидетельствует о возможном вовлечении в патологический процесс костной ткани или развитии осложнений, связанных с нарушением функции печени и желчевыводящих путей. Активное изучение взаимосвязи между сахарным диабетом и здоровьем костной ткани показало, что центральным звеном патогенеза развития повышенной ломкости костей у пациентов с сахарным диабетом 1 типа является нарушение активности и дифференцировки остеобластов [11].

Изменение активности ферментов при аллоксановом диабете в сыворотке крови крыс является сложным и многокомпонентным процессом, который зависит от стадии развития заболевания, состояния метаболических процессов, а также функционального статуса отдельных органов и тканей. Нарушения в углеводном, липидном и белковом обмене, вызванные инсулиновой недостаточностью, оказывают системное воздействие на органы и ферментные системы, способствуя развитию вторичных изменений. Очевидно, что аллоксановый диабет способен вызвать не только нарушение функции β -клеток островков Лангерганса поджелудочной железы, но и ряда висцеральных и соматических функциональных систем.

Заключение

Результаты данного исследования позволили подробно проанализировать метаболические изменения при экспериментальном диабете 1 типа, индуцированном аллоксаном. Они доказывают, что сахарный диабет и сопутствующая гипергликемия являются факторами, вызывающими осложнения во многих, если не во всех тканях и функциональных системах организма. Выявленное у диабетических крыс значительное увеличение уровня глюкозы и мочевины, триглицеридов и холестерина, активностей аланинаминотрансферазы, аспартатаминотрансферазы, креатинфосфокиназы и щелочной фосфатазы на фоне снижения уровня общего белка и активности α -амилазы в сыворотке крови способствует более широкому пониманию этиогенеза и патогенеза модели диабета и создает фундаментальную основу для разработки новых терапевтических стратегий. Эти метаболические изменения, скорее всего, и приводят к серьезным морфофункцио-

нальным сдвигам, лежащим в основе таких осложнений диабета, как нефропатия, ретинопатия, диабетическая стопа, стенокардия, инфаркт миокарда, полинейропатия и др. Кроме того, они подчеркивают важность контроля метаболических показателей у пациентов, страдающих диабетом.

Следовательно, глубокий анализ метаболических и физиологических механизмов сахарного диабета является одной из ключевых научно-исследовательских задач специалистов в области диабетологии, с целью предупреждения и своевременной коррекции этой опасной патологии и ее осложнений.

Список литературы

1. Gandhi N., Wareham N.J. Epidemiology of diabetes: basic facts // *Medicine*. 2022. Vol. 50, Is. 10. P. 638–643. DOI: 10.1016/j.mpmed.2022.07.005.
2. Yang D.-R., Wang M.-Y., Zhang C.-L., Wang Y. Endothelial dysfunction in vascular complications of diabetes: a comprehensive review of mechanisms and implications // *Frontiers in Endocrinology*. 2024. Published: April 5. DOI: 10.3389/fendo.2024.1359255.
3. Dab H., Ben Hamed S., Hodroj W., Zourgui L. Combined diabetes and chronic stress exacerbates cytokine production and oxidative stress in rat liver and kidney // *Biotechnology and Biotechnological Equipment*. 2023. Vol. 37, Is. 1. P. 250–259. DOI: 10.1080/13102818.2023.2182137.
4. Lenzen S. The mechanisms of alloxan and streptozotocin-induced diabetes // *Diabetologia*. 2008. Vol. 51, Is. 2. P. 216–226. DOI: 10.1007/s00125-007-0886-7.
5. Nishiwaki H., Niihata K., Kinoshita M., Fujimura M., Kurosawa K., Sakuramachi Y., Takano K., Matsunaga S., Okamura S., Kitatani M., Tsujii S., Hayashino Y., Kurita N. Diabetes Distress Care Registry at Tenri Study Group. Urinary C-megalin as a novel biomarker of progression to microalbuminuria: A cohort study based on the diabetes Distress and Care Registry at Tenri (DDCRT 22) // *Diabetes Research and Clinical Practice*. 2022. Article 109810. DOI: 10.1016/j.diabres.2022.109810.
6. Спасов А.А., Смирнов А.В., Соловьева О.А., Кузнецова В.А., Панышин Н.Г., Мацевич А.И. Экспериментальная модель диабетической нефропатии у крыс // *Вестник ВолГМУ*. 2015. № 3 (55). С. 36–40. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/eksperimentalnaya-model-diabeticheskoy-nefropatii-u-kryys/viewer> (дата обращения: 15.05.2025).
7. Burski K., Ueland T., Maciejewski R. Serum amylase activity disorders in the course of experimental diabetes in rabbits // *Vet Med – Czech*. 2004. Vol. 49, Is. 6. P. 197–200. DOI: 10.17221/5695-VETMED.
8. Kuchkarova L.S., Rokhimova S.O., Syrov V.N. Effect of Turkesterone on the Pancreas Histology and Function in Diabetic Rats // *International Journal of Current Research and Review*. 2020. Vol. 12. P. 2–5. DOI: 10.31782/IJCRR.2020.12216.
9. Richardson A., Park W.G. Acute pancreatitis and diabetes mellitus: a review // *Korean Journal of Internal Medicine*. 2021. Vol. 36, Is. 1. P. 15–24. DOI: 10.3904/kjim.2020.505.
10. Yokokawa H., Kinoshita I., Hashiguchi T., Kako M., Sasaki K., Tamura A., Kintaka Y., Suzuki Y., Ishizuka N., Arai K., Kasahara Y. Enhanced exercise-induced muscle damage and muscle protein degradation in streptozotocin-induced type 2 diabetic rats // *Diabetes Metabolism Research and Reviews*. 2011. Vol. XX, Is. XX. P. XX–XX. DOI: 10.1111/j.2040-1124.2011.00130.x.
11. Khan S.S., Khosla S. Type 1 Diabetes and Osteoporosis: From Molecular Pathways to Bone Phenotype // *Journal of Osteoporosis*. 2015. Vol. 2015. Article ID 174186. DOI: 10.1155/2015/174186.

УДК 57:613.294:614.2

КОЛИЧЕСТВЕННАЯ ОЦЕНКА СОДЕРЖАНИЯ ЧАСТИЦ МИКРОПЛАСТИКА ДИАМЕТРОМ 500 НМ В ПОЧКАХ КРЫС

¹Репина Э.Ф., ¹Валова Я.В., ¹Ахмадеев А.Р., ¹Гизатуллина А.А.,
¹Мухаммадиева Г.Ф., ¹Смолянкин Д.А., ¹Рябова Ю.В., ^{1,2}Каримов Д.О.

¹ФБУН «Уфимский научно-исследовательский институт медицины труда
и экологии человека», Уфа, e-mail: e.f.repina@bk.ru;

²ФГБНУ «Национальный научно-исследовательский институт
общественного здоровья имени Н.А. Семашко», Москва

Цель исследования – провести количественную оценку накопления микрочастиц пластика размером 500 нм в почках крыс после однократного введения. Исследование проведено на крысах-самках линии Wistar. Трем животным (опыт) внутрисердечно в объеме 0,5 мл вводили 1% суспензию меченных флуоресцентным красителем микрочастиц сферической формы полистирола диаметром 500 нм. Другим трем крысам (контроль) аналогично вводили дистиллированную воду. Через 5 ч после введения осуществляли вскрытие животных и отбор образцов почек. Криосрезы фотографировали в имиджере Celena X. Проведена количественная оценка микрочастиц пластика и их конгломератов в почках, ее осуществляли с применением специально разработанной программы, учитывающей фоновое содержание частиц. Установлены статистически значимые различия между опытной и контрольной группами крыс по количеству и плотности микрочастиц, а также по площади и плотности конгломератов микрочастиц в почках. Применение количественных методов позволило не только подтвердить факт накопления микрочастиц пластика в почках крыс, но и установить конкретные параметры их распределения. Результаты проведенной количественной оценки содержания частиц МП размером 500 нм в почках крыс свидетельствуют, что он способен проникать и накапливаться в органе даже при однократном поступлении.

Ключевые слова: крысы, микропластик, почки, количественная оценка

QUANTITATIVE ASSESSMENT OF THE CONTENT OF 500 NM DIAMETER MICROPLASTIC PARTICLES IN RAT KIDNEYS

¹Repina E.F., ¹Valova Ya.V., ¹Akhmadeev A.R., ¹Gizatullina A.A.,
¹Mukhammadieva G.F., ¹Smolyankin D.A., ¹Ryabova Yu.V., ^{1,2}Karimov D.O.

¹Ufa Research Institute of Occupational Health and Human Ecology, Ufa,
e-mail: e.f.repina@bk.ru;

²N.A. Semashko National Research Institute of Public Health, Moscow

The aim of the study. To conduct a quantitative assessment of the accumulation of 500 nm plastic microparticles in rat kidneys after a single injection. The study was conducted on female Wistar rats. Three animals (experimental) were intracardially injected with 0.5 ml of a 1% suspension of fluorescently labeled spherical polystyrene microparticles with a diameter of 500 nm. Three rats (control) were similarly injected with distilled water. Five hours after the injection, the animals were autopsied and kidney samples were collected. Cryosections were photographed in a Celena X imager. A quantitative assessment of plastic microparticles and their conglomerates in the kidneys was carried out using a specially developed program that takes into account the background content of particles. Statistically significant differences were found between the experimental and control groups of rats in the number and density of microparticles, as well as in the area and density of microparticle conglomerates in the kidneys. The use of quantitative methods allowed not only to confirm the fact of accumulation of microplastic particles in rat kidneys, but also to establish specific parameters of their distribution. The results of the quantitative assessment of the content of MP particles of 500 nm in rat kidneys indicate.

Keywords: rats, microplastics, kidneys, quantification

Введение

Повсеместное применение полимерных материалов в различных сферах человеческой деятельности обусловлено их уникальными свойствами. Эти материалы, включая пластики, резины и композиты, характеризуются легкостью, прочностью и устойчивостью к химическим воздействиям, что делает их незаменимыми в современном мире. Значительный рост мирового производства пластика за последние 70 лет с 1,5 млн т до примерно 359,0 млн т свидетельству-

ет о его широкомасштабном применении в различных отраслях, что подчеркивает его важную роль в современном обществе [1]. Однако вместе с удобством его использования возрастает озабоченность мирового сообщества в связи с воздействием на окружающую среду, в объектах которой идет накопление частиц пластика различных размеров – от макро- до наночастиц. Большая часть пластиковых отходов сжигается, сбрасывается на свалки и выбрасывается в окружающую среду, составляя более 75% от общей доли отходов, загрязняющих моря

и океаны. За последние несколько десятков лет накопление в окружающей среде частиц пластика достигло угрожающих масштабов [2–4]. В результате разложения более крупных полимеров под воздействием факторов окружающей среды возникают риски образования «вторичного» микропластика, частицы которого могут быть поглощены водными организмами [5]. Постепенно микропластик, попадая в пищевую цепь водных организмов и подвергаясь биоаккумуляции в их тканях, поднимается вверх по трофическим уровням. Таким образом, микропластик может оказывать непосредственное воздействие на здоровье человека при употреблении такой пищи.

Изучение токсичности частиц пластика и его способности проникать в различные органы и ткани живых организмов являются весьма актуальными вопросами современной науки. Многочисленными исследованиями показано, что микропластик может проявлять цитотоксичные свойства, которые во многом зависят от формы, размера частиц и их физико-химических свойств [6]. Изучение токсичности микропластика *in vitro* показало, что воздействие полиэтиленовых микросфер трех разных размеров, 1–10, 50 и 100 мкм, на клеточных культурах линии HeLa было связано с цитотоксичностью, высвобождением провоспалительных цитокинов и гемолизом клеток. Установлено также, что эффект зависит от концентрации и структуры полиэтиленовых микросфер [7].

Цитотоксичность микрочастиц пластика исследовалась с использованием человеческих клеточных линий Caco-2, HepG2 и HepaRG с целью обнаружения возможного воздействия на первые органы, которые вступают в контакт с проглоченными частицами: кишечник и печень. Показано, что частицы размером 1–4 мкм транспортировались через кишечный эпителий *in vitro* в большей степени, нежели частицы 10–20 мкм. Полученные результаты свидетельствуют о том, что воздействие микрочастиц пластика на кишечник зависит от материала и размера. Также авторами было показано, что только чрезмерно высокие концентрации, выходящие далеко за рамки реального пищевого воздействия, вызывают цитотоксические эффекты [8]. Проведенные исследования также свидетельствуют, что неправильная форма микропластика оказывает значительное биологическое воздействие, что перекликается с зависимостью степени токсичности наночастиц от их физических свойств: известно, что размер и форма, помимо поверхностного заряда и химического состава, имеют большое значение [9].

Исследованием Н.А. Золотовой и соавт. показано, что микрочастицы полистирола диаметром 5 мкм в дозах 0,023–2,3 мг/кг/сут при воздействии в течение 4 недель вызывают адаптивные морфофункциональные изменения в толстой кишке и селезенке у мышей. В том же исследовании не было выявлено патологических изменений в печени, почках, легких, тимусе, брыжеечных лимфатических узлах, головном мозге, сердце, семенниках и мышце бедра мышей при воздействии разных доз частиц полистирола диаметром 5 мкм [10].

В исследовании на 8-недельных крысах-самцах линии Sprague Dawley, массой тела 150–180 г на начало эксперимента, животным внутривенно вводили полиэтиленовые микрочастицы пластика со средним размером частиц от 4,0 до 6,0 мкм в течение 35 дней ежедневно. Разовые дозы микрочастиц были равны 3,75; 15 и 60 мг/кг массы тела. В качестве носителя выступало кукурузное масло. Частицы были неправильной фрагментированной формы с острыми краями, что было выявлено методом сканирующей электронной микроскопии. Обнаружено, что все исследуемые дозы микрочастиц индуцировали истощение антиоксидантной системы, выраженное в снижении содержания супероксиддисмутазы и активности сывороточного глутатиона, усиление перекисного окисления липидов. В группах, подвергнутых воздействию микрочастиц в дозах 15 и 60 мг/кг массы тела, статистически значимо увеличилось число аномальных эритроцитов. Также установлено дозозависимое генотоксическое воздействие частиц на ДНК. Масса тела животных увеличивалась в группах, подвергавшихся воздействию в дозах 15 и 60 г/кг массы тела, в то время как в группе 3,75 мг/кг массы тела она оставалась на уровне контрольных значений [11].

Существует мнение, что идеальным биологическим объектом для проверки наличия микрочастиц пластика является кровь, потому что она забирается непосредственно из организма и не вступает в контакт с какими-либо пластиками – в особенности, если исследователи используют стальные иглы шприцев и стеклянную лабораторную посуду, чтобы избежать загрязнения. В исследовании Н.А. Leslie и соавт. по определению и количественной оценке загрязнения крови человека пластиковыми частицами при использовании медицинских изделий из различных видов полимеров для взятия донорской крови показано, что пластиковые частицы биодоступны для поглощения в кровотоки человека [12].

Несмотря на разнообразие проведенных исследований *in vitro* и *in vivo*, они не в полной мере отражают потенциальные риски неблагоприятного воздействия микропластициков на здоровье человека. Для объективной оценки существующих рисков негативного воздействия пластика на биологические объекты необходимо продолжение исследований по изучению патогенетических механизмов его воздействия на клеточных и животных экспериментальных моделях, а также его токсичности и условий накопления в различных органах и тканях.

Цель исследования – провести количественную оценку накопления микропластициков размером 500 нм в почках крыс после однократного введения.

Материалы и методы исследования

Исследование проведено на крысах-самках линии Wistar весом 180–200 г. Трех животным (опыт) внутрисердечно в объеме 0,5 мл вводили 1 % суспензию в дистиллированной воде меченных флуоресцентным красителем микропластициков сферической формы полистирола (далее – МП) диаметром 500 нм. Другим трем крысам (контроль) аналогично вводили дистиллированную воду. МП предварительно «разбивали» в ультразвуковой ванне УЗО-«МЕДЭЛ» и ротаторе BioSan. Контроль состояния вводимой суспензии проводили в имиджере Celena X со световым фильтром EGFP (Logos Biosystems, Южная Корея). Через 5 ч после введения осуществляли вскрытие эвтаназированных крыс и отбор образцов тканей почек в криогель. Кротомию производили на микротоме-криостате Leica CM 1520 (Leica BioSystems, Германия), делая срезы толщиной 10 мкм, по 4 среза от каждого животного из разных фрагментов органа. Фотографировали срезы на предметном стекле при увеличении 200х

и световым фильтром EGFP в имиджере Celena X (Logos Biosystems, Южная Корея).

Количественную оценку микропластициков и их конгломератов в почках осуществляли с применением специально разработанной программы Microplastic detector [13]. Программное обеспечение было разработано на языке Python 3.10 с использованием библиотек OpenCV (для обработки изображений) и NumPy (для численных вычислений), результаты анализа выводились в виде таблицы Microsoft Excel. Статистическая обработка результатов осуществлялась с использованием метода Bootstrap с поправкой Холма – Бонферрони, языке Python 3.10. Различия признавали значимыми при $p < 0,05$. Данный подход позволил снизить влияние ограниченного размера выборки, обеспечивая при этом строгие критерии статистической значимости [14].

Результаты исследования и их обсуждение

На рис. 1 представлены микрофотографии срезов почек крыс контрольной группы. При анализе нескольких полей зрения у контрольных животных визуализировалась умеренная и равномерная флуоресценция с небольшим числом артефактов со слабой интенсивностью свечения (рис. 1, А, желтые стрелки). Желтые стрелки на рисунке указывают на аутофлуоресценцию тканей, которая наблюдается даже в отсутствие внешних флуорофоров. Это явление характерно для многих биологических структур, в том числе коллагена, эластина, липофусцина, и служит естественным «шумом», неминуемо сопровождающим флуоресцентную микроскопию. Важно отметить, что аутофлуоресценция не является артефактом и она отражает естественную метаболическую активность тканей.

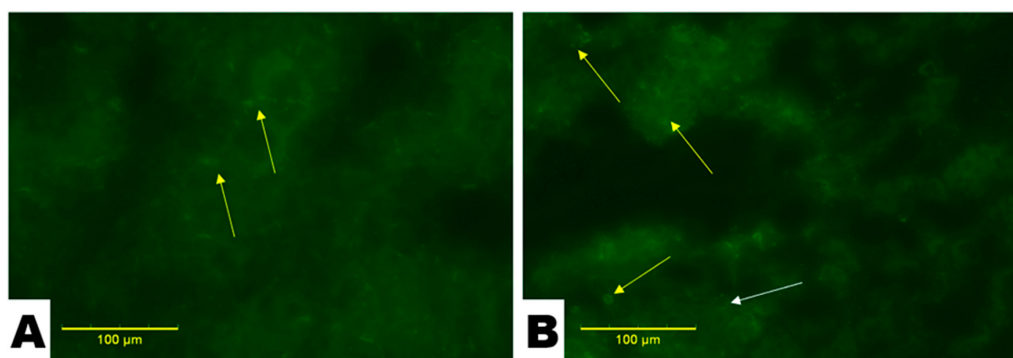


Рис. 1. Микрофотографии почек крыс, окрашенных флуоресцирующей краской после введения микропластика: А – контроль (после введения дистиллированной воды), В – опыт (после введения флуоресцентных микропластициков). Желтые стрелки указывают на аутофлуоресценцию тканей, белые – на частицы микропластика

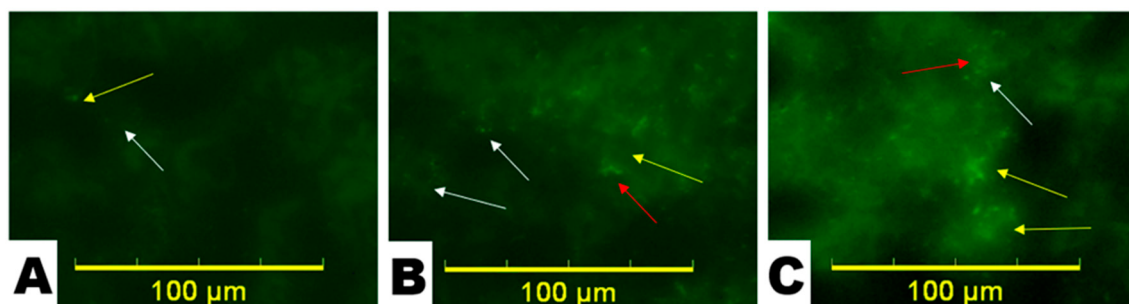


Рис. 2. Микрофотографии разных полей зрения почек крыс опытной группы, окрашенных флуоресцирующей краской после введения микропластика – мозговой (А) и корковый (С, В) слои. Желтые стрелки указывают на аутофлуоресценцию тканей, белые – на частицы микропластика, красные – на их конгломераты

Вместе с тем в почках опытных крыс встречались флуоресцирующие объекты сферической формы, отличные по своим размерам, форме и интенсивности свечения от фрагментов аутофлуоресценции тканей (рис. 1, В, белая стрелка).

На рис. 2 представлены микрофотографии нескольких полей зрения срезов почек крыс только опытной группы.

Частицы и их конгломераты локализируются неравномерно, а интенсивность аутофлуоресценции варьирует в зависимости от тканевого фрагмента – в мозговом слое она слабее, в отличие от коркового, что связано со структурно-функциональными особенностями органа. В связи с этим очевидна сложность визуальной оценки и дифференцировки флуоресцентных фрагментов: даже в присутствии МП сохраняется фоновая аутофлуоресценция (желтые стрелки). Более полное представление о распределении и накоплении частиц МП в почках может дать только сравнительная количественная оценка.

Количественные методы играют ключевую роль в экспериментальных исследова-

ниях, обеспечивая высокую точность и воспроизводимость результатов. Их применение позволяет минимизировать субъективность интерпретации данных, что особенно важно при изучении воздействия антропогенных факторов, таких как микрочастицы пластика (МП), на биологические системы. Использование специально разработанной программы метода количественной оценки содержания МП в почках крыс позволило получить статистически значимые данные, подтверждающие их накопление в органе (таблица). Сравнение между опытной и контрольной группами было проведено на основе строгих метрических критериев, таких как количество и плотность микрочастиц, а также площадь и плотность их конгломератов. В результате были установлены статистически значимые различия ($p < 0,05$) между группами по всем изучаемым параметрам, что свидетельствует о значимом накоплении микрочастиц пластика в почках крыс даже при однократном воздействии.

Результаты количественной оценки содержания микрочастиц пластика в почках животных

Параметр	Контроль	Опыт	Уровень значимости, p
Количество визуализированных микрочастиц в почках, ед. на микропрепарат	$6,58 \pm 0,10$	$2088,67 \pm 562,31$	0,0008
Плотность микрочастиц в почках на изображении размером 1000×1000 пикс.	$0,08 \pm 0,02$	$26,01 \pm 6,20$	0,0001
Площадь конгломератов микрочастиц в почках на микропрепарат, μm^2	$1290,04 \pm 357,77$	$88245,79 \pm 27878,82$	0,0090
Плотность конгломератов микрочастиц в почках на изображении размером 1000×1000 пикс.	$1,42 \pm 0,42$	$60,33 \pm 16,74$	0,0018

Применение стандартизированных протоколов измерения, включающих подсчет частиц на единицу площади гистологического среза, является критически важным для обеспечения сопоставимости полученных данных с результатами других исследований. В настоящей работе усреднение показателей по 12 микропрепаратам позволило минимизировать вариабельность, обусловленную индивидуальными различиями биологических образцов, что повышает достоверность статистического анализа.

Проведенное исследование выявило способность микропластических (МП) частиц проникать в почечную ткань и накапливаться в ней с образованием конгломератов. Механизм их агрегации может быть связан как с физической адсорбцией и простой коалесценцией частиц, так и с их взаимодействием с компонентами внеклеточного матрикса или клеточными мембранами. Об этом свидетельствует достоверное увеличение как общей площади конгломератов, так и количества отдельных частиц в опытной группе по сравнению с контролем. Полученные данные указывают на персистенцию МП в почечной паренхиме, причем их распределение носит гетерогенный характер с тенденцией к локальной аккумуляции в определенных зонах органа.

Эти результаты согласуются с современными литературными данными, демонстрирующими способность нано- и микропластиков преодолевать гистогематические барьеры и депонироваться в паренхиматозных органах [14]. Наблюдаемый феномен кумуляции МП в почках имеет значимые токсикологические последствия, поскольку длительная персистенция чужеродных частиц может приводить к механическому повреждению тканей, индукции окислительного стресса и нарушению клеточных функций. Полученные данные подчеркивают необходимость дальнейших исследований, направленных на изучение токсикокинетики МП, включая их биораспределение, элиминацию и потенциальное влияние на гистологическую архитектуру почечной ткани при хронической экспозиции.

Следует отметить, что аутофлуоресценция биологических структур способна искусственно увеличивать площадь детектируемых конгломератов, особенно при использовании флуоресцентной микроскопии. Аутофлуоресценция может влиять на оценку площади конгломератов, особенно при ручном визуальном анализе, в то время как применение данного количественного подхода в рамках разработанного нами программного обеспечения учитывает пороговую интенсивность сигнала, мини-

мизируя вклад фонового свечения. В контрольной группе значения всех параметров (таблица) статистически значимо ниже, чем в опыте ($p < 0,05$), что исключает случайные ошибки.

Заключение

Применение количественных методов позволило не только подтвердить факт накопления микрочастиц пластика в почках крыс, но и установить конкретные параметры их распределения. Результаты проведенной количественной оценки содержания частиц МП размером 500 нм в почках крыс свидетельствуют, что он способен проникать и накапливаться в органе даже при однократном поступлении.

Список литературы

1. Bui X.-T., Vt. T.-D.-H., Nguyen P.-T., Nguyen V.-T., Dao T.-S., Nguyen P.-D. Microplastics pollution in wastewater: Characteristics, occurrence and removal technologies // *Env Tech & Innov.* 2020. № 19. P. 1–18. URL: <https://www.sci-hub.ru/10.1016/j.eti.2020.101013> (дата обращения: 30.04.2025).
2. Thompson W.F., Schellenberg E.G., Husain G. Decoding speech prosody: Do music lessons help? *Emotion*. 2004. Vol. 4, Is. 1. P. 46–64. DOI: 10.1037/1528-3542.4.1.46. PMID: 15053726.
3. Wang Q., Bai J., Ning B., Fan L., Sun T., Fang Y., Gao Z. Effects of bisphenol A and nanoscale and microscale polystyrene plastic exposure on particle uptake and toxicity in human Caco-2 cells // *Chemosphere*. 2020. № 254. P. 126788. DOI: 10.1016/j.chemosphere.2020.126788. Epub 2020 Apr 14. PMID: 32334251.
4. Zhang K., Hamidian A.H., Tubić A., Zhang Y., Fang J.K.H., Wu C., Lam P.K.S. Understanding plastic degradation and microplastic formation in the environment: A review // *Environmental Pollution*. 2021. № 274. P. 116554. DOI: 10.1016/j.envpol.2021.116554. Epub 2021 Jan 23. PMID: 33529891.
5. Andrady A.L. The plastic in microplastics: A review. *Marine Pollution Bulletin*. 2017. № 19. P. 12–22. DOI: 10.1016/j.marpolbul.2017.01.082. Epub 2017 Apr 24. PMID: 28449819.
6. Sukhanova A., Bozrova S., Sokolov P., Berestovoy M., Karaulov A., Nabiev I. Dependence of Nanoparticle Toxicity on Their Physical and Chemical Properties. *Nanoscale Research Letters*. 2018. Vol. 13, Is. 1. P. 44. DOI: 10.1186/s11671-018-2457-x. PMID: 29417375. PMCID: PMC5803171.
7. Choi D., Bang J., Kim, T., Oh, Y., Hwang, Y., Hong, J. In vitro chemical and physical toxicities of polystyrene microfragments in human-derived cells // *Journal of Hazardous Materials*. 2020. № 400. P. 123308. DOI: 10.1016/j.jhazmat.2020.123308. Epub 2020 Jun 24. PMID: 32947711.
8. Stock V., Laurisch C., Franke J., Dönmez M.H., Voss L., Böhmert L., Sieg H. Uptake and cellular effects of PE, PP, PET and PVC microplastic particles // *Toxicology in Vitro*. 2020. Vol. 70, Is. 1. DOI: 10.1016/j.tiv.2020.105021.
9. Abbasi R., Shineh G., Mobaraki M., Doughty S., Tayebi L. Structural parameters of nanoparticles affecting their toxicity for biomedical applications: a review // *Journal of Nanoparticle Research*. 2023. Vol. 25, Is. 3. P. 43. DOI: 10.1007/s11051-023-05690-w. Epub 2023 Feb 27. PMID: 36875184. PMCID: PMC9970140.
10. Золотова Н.А., Джалилова Д.Ш., Цветков И.С., Сентябрева А.В., Макарова О.В. Морфологическая характеристика внутренних органов мышей при длительном потреблении микропластика // *Клиническая и экспериментальная морфология*. 2023. Т. 12. № 3. С. 82–92. DOI: 10.31088/CEM2023.12.3.82-92.

11. Farag A.A., Youssef H.S., Sliem R.E., El Gazzar W.B., Nabil S., Mokhtar M.M., Marei Y. M., Ismail N.S., Radwaan S.E., Badr A.M., Sayed A.E.H. Hematological consequences of polyethylene microplastics toxicity in male rats: Oxidative stress, genetic, and epigenetic links // *Toxicology*. 2023. Vol. 492, Is. 11. P. 153545. DOI: 10.1016/j.tox.2023.153545. Epub 2023 May 9. PMID: 37169321.
12. Leslie H.A., van Velzen M.J.M., Brandsma S.H., Vethaak A.D., Garcia-Vallejo J.J., Lamoree M.H. Discovery and quantification of plastic particle pollution in human blood. *Environment International*. 2022. Vol. 163. P. 107199. DOI: 10.1016/j.envint.2022.107199. Epub 2022 Mar 24. PMID: 35367073.
13. Каримов Д.О., Рябова Ю.В., Ахмадеев А.Р., Хуснутдинова Н.Ю., Кудояров Э.Р., Зайдуллин И.И. Программа для детекции микропластика на микроскопических снимках Свидетельство о гос. регистрации № 2024685872 от 02.11.2024 [Электронный ресурс]. URL: <http://uniim.rospotrebnadzor.ru/wp-content/uploads-2.pdf> (дата обращения: 25.04.2025).
14. Romano J.P., Wolf M. Multiple Testing of One-Sided Hypotheses: Combining Bonferroni and the Bootstrap. *Predictive Econometrics and Big Data*. 2018. P. 78–94. DOI: 10.1007/978-3-319-70942-0_4.
15. La Porta E., Exacoustos O., Lugani F., Angeletti A., Chiarenza D.S., Bigatti C., Spinelli S., Kajana X., Garbarino A., Bruschi M., Candiano G., Caridi G., Mancianti N., Calatroni M., Verzola D., Esposito P., Viazzi F., Verrina E., Ghiggeri G.M. Microplastics and Kidneys: An Update on the Evidence for Deposition of Plastic Microparticles in Human Organs, Tissues and Fluids and Renal Toxicity Concern // *Int J Mol Sci*. 2023. Vol. 24, Is. 18. P. 14391. DOI: 10.3390/ijms241814391. PMID: 37762695. PMCID: PMC10531672.

УДК 631.4

ГЕОХИМИЯ БИОМИКРОЭЛЕМЕНТОВ В ОРОШАЕМЫХ ПОЧВАХ ФЕРГАНСКОЙ ДОЛИНЫ

Турдалиев А.Т., Ахмаджонов А.А., Мусаев И.И., Мухаммадов Е.Х.

Ферганский государственный университет, Фергана, e-mail: avazbek1002@mail.ru

Исследование взаимосвязи химических элементов (марганец, молибден, цинк) между почвой, материнской породой и растительным покровом является актуальной задачей современного почвоведения. Поэтому цель исследования – определение миграции и геохимических свойств биомикроэлементов в орошаемых почвах. Эти исследования проводились по почвенно-генетическому и сравнительно-географическому методам. Кроме того, в основу этих исследований положены системные педогеохимические методы. В статье представлены результаты изучения количества биомикроэлементов и геохимических особенностей орошаемых светлых сероземов и луговых сазовых почв. Установлено, что динамика миграции биомикроэлементов в генетических горизонтах орошаемых светлых сероземов и луговых сазовых почв неодинакова. Определены аккумуляции цинка в пахотных, подпахотных горизонтах обоих типов почв и аккумуляции молибдена в нижних горизонтах орошаемых луговых сазовых почв, а также превышение их количества, чем кларк почвы в результате длительной практики орошаемого земледелия. В других случаях в почвенном разрезе практически умеренно дифференцируются, то есть их аккумуляция не наблюдается. Определено, что изученные биомикроэлементы в своих кларк концентрациях в орошаемых луговых сазовых почвах располагаются в следующем порядке молибден > цинк > марганец, а в светлых сероземах – цинк > марганец > молибден. В условиях орошаемых почв возможен контроль миграции, дифференциации, аккумуляции химических элементов, а также интенсивности коэффициентов биологического поглощения в зависимости от их свойств под воздействием антропогенных факторов.

Ключевые слова: светлый серозем, луговые сазовые почвы, геохимия, кларк, аккумуляция, миграция

GEOCHEMISTRY OF BIOMICROELEMENTS IN IRRIGATED SOILS OF THE FERGANA VALLEY

Turdaliev A.T., Axmadzhonov A.A., Musaev I.I., Muhammadov E.Kh.

Fergana State University, Fergana, e-mail: avazbek1002@mail.ru

The study of the relationship of chemical elements (manganese, molybdenum, zinc) between the soil, parent rock and vegetation is an urgent task of modern soil science. Therefore, the purpose of the study is to determine the migration and geochemical properties of biomicroelements in irrigated soils. These studies were conducted using soil-genetic and comparative-geographical methods. In addition, these studies are based on systemic pedo-geochemical methods. The article presents the results of a study on the quantities of trace elements and geochemical features in irrigated light calcisols and meadow saz soils. It was established that the dynamics of trace element migration in the genetic horizons of irrigated light calcisols and meadow saz soils are not the same. At the same time, the accumulation of zinc was observed in the arable and subarable horizons of both soils, and the accumulation of molybdenum in the lower horizons of irrigated meadow saz soils. Additionally, their quantities exceeded the soil Clark values as a result of long-term use of irrigated agriculture. In other cases, the soil profile is almost moderately differentiated, i.e., their accumulation was not observed. It was determined that the studied trace elements, in their Clark concentrations in irrigated meadow saz soils, are arranged in the following order: Mo > Zn > Mn, while in light calcisols, the order is Zn > Mn > Mo. In irrigated soils, it is possible to control the migration, differentiation, and accumulation of chemical elements, as well as the intensity of biological absorption coefficients, depending on their properties under the influence of anthropogenic factors.

Keywords: light calcisols, meadow saz soils, geochemistry, Clarke, accumulation, migration

Введение

В последнее время в некоторых странах мира наблюдается тенденция возрастания негативного антропогенного воздействия на сельскохозяйственные земли. В результате такого воздействия происходит изменение агрохимических, агроэкологических и биогеохимических свойств почвы, снижение плодородия, а в отдельных случаях почва становится непригодной для сельскохозяйственного использования.

Химические элементы в почве влияют на ее структуру, плодородие и способность поддерживать растительность. Растения, в свою очередь, абсорбируют элементы

из почвы, что оказывает влияние на их рост, развитие и качество урожая. Изучение взаимосвязи химического состава почвы, растений и материнской породы имеет огромное значение для понимания экосистем, процессов роста растений и здоровья почвы и является актуальной задачей современного почвоведения.

Учитывая физиологические и биохимические свойства, а также влияние на плодородие почв таких химических элементов, как B, Cu, Zn, Mn, Mo, их принято называть биомикроэлементами [1, с. 102–107].

Некоторые ученые проводили научные исследования почв Ферганской долины,

охватывая основные типы почв, их агрохимические свойства, агроэкологическое и мелиоративное состояние, а также другие характеристики [2–4]. Зарубежными учеными также проведены многочисленные исследования орошаемых сероземов и луговых сазовых почв, в которых изучались изменения их свойств и других характеристик под воздействием длительного орошения [5; 6; 7, с. 42–47].

Цель исследования – определение геохимических характеристик биомикроэлементов в почвах при орошаемом сельскохозяйственном использовании.

Материалы и методы исследования

Ферганская долина располагается в Центральной Азии, где климат континентальный, с жарким летом и холодной зимой. Орошение играет ключевую роль в сельском хозяйстве, так как осадков в этом регионе относительно мало. В ходе исследований были проанализированы орошаемые светлые сероземы и луговые сазовые почвы Ферганской области.

Для проведения исследования использовались почвенно-генетический и сравнительно-географический методы, химические анализы проводились в соответствии с рекомендацией «Руководство по химическому анализу почв» Е.В. Аринушкиной [8]. Определение валового элементного состава почв осуществлялось в Институте ядерной физики АН РУз с применением нейтронно-активационного метода.

Результаты исследования и их обсуждение

Согласно исследованиям У.Х. Мамажоновой и А.Ж. Исмановой, в сазовых почвах длительного орошения со временем формируется агроирригационный горизонт толщиной до 1–2 м [9]. Богарные светлые сероземы по содержанию и запасам гумуса очень бедные (26,71 т/га), количество гумуса в пахотном горизонте составляет 0,73 %, вниз по профилю его количество резко убывает [10].

Почвы Ферганской долины могут иметь значительные различия в содержании микроэлементов в зависимости от местных геологических и климатических условий. Избыточное орошение, особенно при использовании неочищенной воды или воды с высоким содержанием минералов, может привести к засолению почвы. Это, в свою очередь, влияет на доступность биомикроэлементов для растений.

Для изучения биомикроэлементов необходимо провести анализ их концентраций

в почвах, почвообразующих породах и растениях. В таблице 1 представлены результаты анализа биомикроэлементов в орошаемых почвах Ферганской долины.

Таблица 1

Количество биомикроэлементов в орошаемых почвах, мг/кг, (n-7)

№ разреза	Глубина, см	Mn	Mo	Zn
Орошаемые луговые сазовые почвы				
4.A	0–32	520	< 0,1	82
	32–45	480	< 0,1	87
	45–58	480	1,8	63
	58–98	500	6,9	56
	98–114	310	4,2	49
	114–129	650	5,6	65
	129–192	430	6,7	61
11.A	0–27	470	0,68	84
	27–40	410	1,2	85
	40–66	350	4,5	61
	66–95	430	8,9	68
	95–118	420	8,1	60
	118–185	440	< 0,1	72
Средний		453	3,8	69
Орошаемые светлые сероземы				
16.A	0–17	670	0,16	100
	17–34	750	0,27	110
	34–60	550	< 0,1	98
	60–95	480	< 0,1	78
	95–150	580	0,40	94
23.A	0–28	730	1,3	100
	28–40	560	1,3	93
	40–65	560	0,55	96
	65–140	660	1,1	94
Средний		616	0,6	96
К кларк почвы		850	2	50

Источник: составлено авторами.

Исходя из представленных данных, можно провести анализ содержания биомикроэлементов Mn, Mo и Zn в орошаемых почвах Ферганской долины, представленных двумя типами почв: луговыми сазовыми и светлыми сероземами. Эти данные дают представление о распределении микроэлементов в зависимости от глубины разреза почвы.

В орошаемых луговых сазовых почвах, которые были исследованы в разрезах 4.А и 11.А, наблюдается значительное варьирование содержания биомикроэлементов в зависимости от глубины. Концентрация Мп в этих почвах варьирует от 310 мг/кг (на глубине 98–114 см) до 650 мг/кг (на глубине 114–129 см). Это свидетельствует о наличии определенной неоднородности распределения марганца в почвенных слоях. В целом концентрация марганца в этих почвах на среднем уровне составляет 453 мг/кг.

Концентрация Мо в почвах исследуемых разрезов остается на минимальном уровне (менее 0,1 мг/кг) в большинстве слоев, но с увеличением глубины (66–95 см) содержание молибдена возрастает до 8,9 мг/кг. Это может указывать на более высокую подвижность молибдена в более глубоких горизонтах почвы.

Что касается содержания Zn, то его концентрация в этих почвах колеблется от 49 мг/кг (на глубине 98–114 см) до 87 мг/кг (на глубине 32–45 см). Среднее значение цинка для всех исследованных слоев составляет 69 мг/кг, что показывает умеренные уровни этого микроэлемента.

В целом почвы данного типа имеют средние значения биомикроэлементов, которые составляют: Мп – 453 мг/кг, Мо – 3,8 мг/кг и Zn – 69 мг/кг.

В орошаемых светлых сероземах, исследованных в разрезах 16.А и 23.А, концентрации биомикроэлементов несколько выше по сравнению с луговыми сазовыми почвами. Так, содержание Мп в этих почвах варьирует от 480 мг/кг (на глубине 60–95 см) до 750 мг/кг (на глубине 17–34 см), что указывает на более высокое содержание Мп в верхних горизонтах.

Мо в светлых сероземах встречается в следовых количествах, однако на более глубоких слоях его концентрация достигает 1,3 мг/кг (на глубине 0–28 см и 28–40 см). Это также свидетельствует о довольно низкой концентрации Мо, которая тем не менее может увеличиваться с глубиной.

Zn в этих почвах имеет диапазон концентраций от 78 мг/кг (на глубине 60–95 см) до 110 мг/кг (на глубине 17–34 см). Средняя концентрация Zn в этих почвах составляет 96 мг/кг, что немного выше, чем в луговых сазовых почвах.

Средние значения биомикроэлементов в светлых сероземах составляют: Мп – 616 мг/кг, Мо – 0,6 мг/кг и Zn – 96 мг/кг.

Далее приводятся валовые содержания микроэлементов в испарительных и глеевых барьерах, орошаемых почвах (рис. 1, 2).

Мо накапливается в засоленных почвах, а его геохимические характеристики

в почвах с слабощелочной реакцией напоминают поведение цинка. В пахотных горизонтах орошаемых луговых сазовых почв содержание Мо варьируется от 0,10 до 0,68 мг/кг, в то время как в светлых сероземах оно составляет от 0,16 до 1,30 мг/кг.

При изучении химических элементов в почвах с геохимической точки зрения в первую очередь определяются их кларк концентрации. Для анализа геохимических свойств изучаемых биомикроэлементов через их кларк концентрации обратимся к таблице 2.

Таблица 2

Кларк концентрации биомикроэлементов в орошаемых почвах

№ разреза	Глубина, см	Mn	Mo	Zn
Орошаемые луговые сазовые почвы				
4.А	0–32	0,61	0,05	1,64
	32–45	0,56	0,05	1,74
	45–58	0,56	0,90	1,26
	58–98	0,59	3,45	1,12
	98–114	0,36	2,10	0,98
	114–129	0,76	2,80	1,30
	129–192	0,51	3,35	1,22
11.А	0–27	0,55	0,34	1,68
	27–40	0,48	0,60	1,70
	40–66	0,41	2,25	1,22
	66–95	0,51	4,45	1,36
	95–118	0,49	4,05	1,20
	118–185	0,52	0,05	1,44
Средний		0,53	1,88	1,37
Орошаемые светлые сероземы				
16.А	0–17	0,79	0,08	2,00
	17–34	0,88	0,14	2,20
	34–60	0,65	0,05	1,96
	60–95	0,56	0,05	1,56
	95–150	0,68	0,20	1,88
23.А	0–28	0,86	0,65	2,00
	28–40	0,66	0,65	1,86
	40–65	0,66	0,28	1,92
	65–140	0,78	0,55	1,88
Средний		0,72	0,29	1,92

Источник: составлено авторами.

Согласно данным таблицы кларк концентрации Мп в обоих типах почв меньше единицы (0,36–0,88), то есть он не аккумулируется.

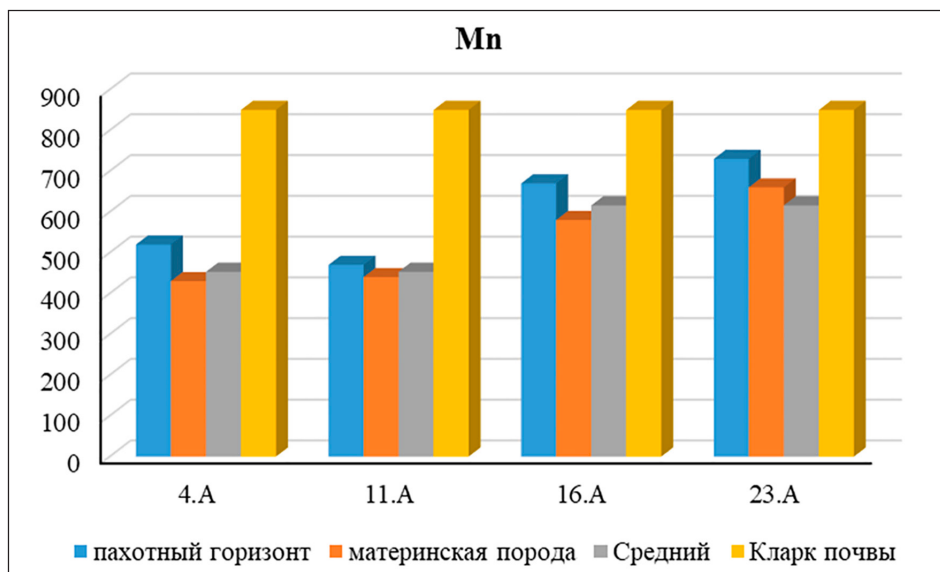


Рис. 1. Содержание и распределение Mn
Источник: составлено авторами

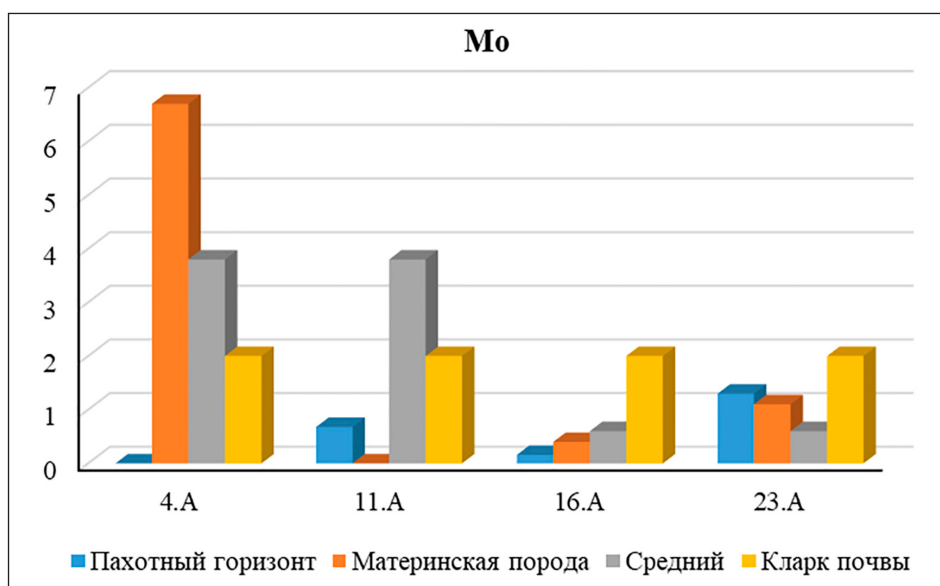


Рис. 2. Содержание и распределение Mo
Источник: составлено авторами

Высокие кларк концентрации Mo наблюдаются в нижних горизонтах орошаемых луговых сазовых почв, где они могут достигать 4,45 мг/кг, в то время как в светлых сероземах эта величина не превышает единицы. Mo аккумулируется только в более глубоких горизонтах орошаемых луговых сазовых почв, в то время как в пахотных и подпахотных слоях его кларк концентрация остается ниже, чем 1.

Кларк концентрация Mo в орошаемых луговых сазовых почвах значительно ва-

рьируется, начиная от 0,05 мг/кг (в большинстве слоев) и достигая 4,45 мг/кг (на глубине 66–95 см). Среднее значение Mo в этих почвах составляет 1,88 мг/кг, что достаточно высоко по сравнению с другими микроэлементами. В светлых сероземах значительно ниже по сравнению с луговыми сазовыми почвами, с максимальным значением 0,65 мг/кг (на глубине 0–28 см и 28–40 см). Среднее значение Mo для этих почв составляет 0,29 мг/кг, что намного ниже, чем в луговых сазовых почвах.

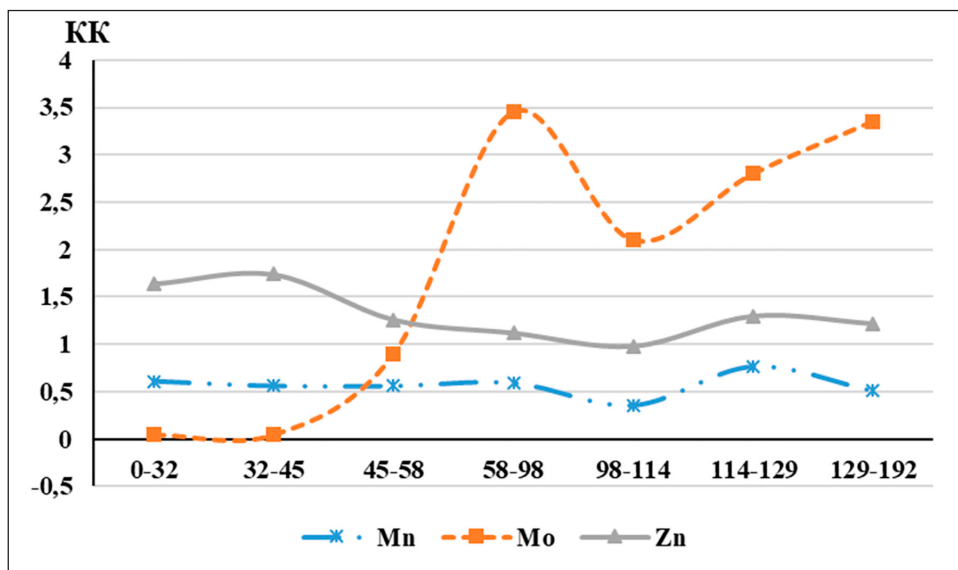


Рис. 3. Динамика кларк концентрации биомикроэлементов в луговых сазовых почвах
Источник: составлено авторами

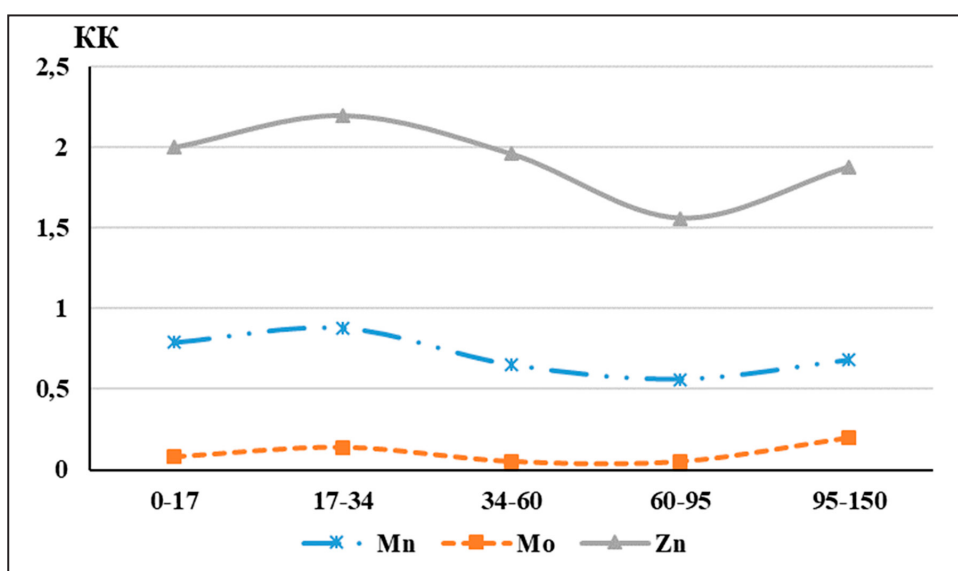


Рис. 4. Динамика кларк концентрации биомикроэлементов в светлых сероземах
Источник: составлено авторами

Zn накапливался в разной степени в обеих почвах, то есть цинк имеет кларк концентрацию больше 1 и, как правило, имеет более высокий КК в светлых сероземах, чем в орошаемых луговых сазовых почвах.

В орошаемых луговых сазовых почвах наблюдается значительное увеличение кларк концентрации Mo от верхних горизонтов к нижним. В спектрах по кларк концентрации Zn и Mn нет больших различий (рис. 3, 4).

Общий порядок распределения валовых количеств биомикроэлементов в исследованных почвах таков: $Mn > Zn > Mo$. Распределение подвижных форм исследуемых биомикроэлементов соответствует закономерности дифференциации валовых форм. Наибольшая концентрация Mn и Zn наблюдается в пахотных и подпахотных горизонтах, что свидетельствует о том, что в этих слоях орошаемых почв они аккумулируются и переходят в более стабильные, менее подвижные формы.

Заключение

Длительное орошение оказывает влияние на миграцию и распределение биомикроэлементов в почвах. Процесс миграции и накопления микроэлементов, таких как Zn и Mo, в орошаемых почвах указывает на важность управления орошением для поддержания здоровых агроэкосистем и предотвращения чрезмерной концентрации вредных веществ в почвах.

Несмотря на значительные данные, полученные в ходе исследования, для полного понимания миграции и геохимических характеристик биомикроэлементов в почвах Ферганской долины необходимы дополнительные исследования. Особенно важны дальнейшие работы по изучению влияния этих элементов на рост и развитие сельскохозяйственных культур, а также оценка долгосрочных изменений в агроэкологических и агрохимических свойствах почвы при длительном орошении.

Результаты исследования могут быть использованы для разработки рекомендаций по улучшению агрохимических свойств почв и более эффективному применению удобрений в орошаемых районах. Это поможет повысить урожайность и качество сельскохозяйственной продукции, а также улучшить устойчивость экосистем к антропогенным воздействиям.

Список литературы

1. Турдалиев А.Т., Юлдашев Г. Геохимия педолитных почв: монография. Т.: ФАН, 2015. 200 с. [Электронный ресурс].

URL: https://www.researchgate.net/publication/349367481_Geohimia_pedolitnyh_pochv (дата обращения: 15.03.2025).

2. Хайдаров М.М. Основы применения гуминовых веществ в светлых сероземах // Scientific Bulletin of Namangan State University. 2020. № 2 (8). С. 87–93. URL: <https://slib.uz/uz/article/view?id=20354> (дата обращения: 15.03.2025).

3. Юлдашев Г., Хайдаров М. Гумусное состояние сероземов севера Ферганы // Гуминовые вещества в биосфере: материалы VII Всероссийской научной конференции с международным участием, посвященной 90-летию со дня рождения профессора Д.С. Орлова и III Международной научной школы (Москва, 04–08 декабря 2018 г.). М.: ООО «МАКС Пресс», 2018. С. 111–112. [Электронный ресурс]. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=37164147> (дата обращения: 15.03.2025).

4. Турдалиев А.Т., Мусаев И.И., Мамажонов Г.Г.У. Изменение морфологических характеристик и агрохимического свойства орошаемых светлых сероземов // Научное обозрение. Биологические науки. 2023. № 4. С. 86–91. DOI: 10.17513/srbs.1345.

5. Панков М.А. Почвы Ферганской области. В кн.: Почвы Узбекской ССР. Т. II. Т.: АН УзССР, 1957. 53 с.

6. Abakumov E., Yuldashev G., Darmonov D., Turdaliev A., Askarov K., Khaydarov M., Mirzayev U., Nizamutdinov T., Davronov K. Influence of Mineralized Water Sources on the Properties of Calcisol and Yield of Wheat (*Triticum aestivum* L.) // Plants. 2022. № 11. P. 3291. DOI: 10.3390/plants11233291.

7. Aysen A. Problem Solving in Soil Mechanics. Netherlands, 2005. 196 p. DOI: 10.1201/9780203741986.

8. Аринушкина Е.В. Руководство по химическому анализу почв. М.: МГУ, 1970. 487 с.

9. Мамажанова У.Х., Исмонов А.Ж. Основные свойства орошаемых кольтимированных и луговых почв // Научное обозрение. Биологические науки. 2023. № 4. С. 5–10. DOI: 10.17513/srbs.1335.

10. Тураев Т. Морфологическая, агрохимическая и агрофизическая характеристика богарных светло-сероземных почв Нуратинских гор Навоийской области // Почвоведение и агрохимия. 2021. № 4. С. 24–31. DOI: 10.51886/1999-740X_2021_4_24.

УДК 574.21:582.29:504.3

ЭПИФИТНЫЕ ЛИШАЙНИКИ СЕВЕРНОЙ МЕЩЕРЫ В ЛОКАЛЬНОМ ЭКОМОНИТОРИНГЕ

Зыков И.Е.

*ГОУ ВО «Государственный гуманитарно-технологический университет»,
Орехово-Зуево, e-mail: zikov-oz@yandex.ru*

Рассмотрена роль эпифитных лишайников в биоиндикации атмосферного загрязнения природных и антропогенных биогеоценозов. Чувствительность лишайников к атмосферному загрязнению определяется их способностью аккумулировать токсические вещества главным образом за счет водорослевого слоя, обладающего более высоким уровнем метаболической активности. Отмечено, что негативное влияние на лишайники оказывают диоксид серы, фториды, хлориды, оксиды азота, углерода, увеличение концентрации которых в атмосферном воздухе приводит к смещению pH коры в сторону более кислой реакции и, как следствие, к нарушениям их размножения и развития. Целью исследования является изучение изменения состояния лесных биоценозов по реакции эпифитных лишайников на присутствие в воздухе поллютантов. Методом пассивной лишайноиндикации установлено изменение площади проективного покрытия и видового состава эпифитных лишайников под воздействием поллютантов, образующихся в результате горения торфяников в окрестностях пос. Озеретский и д. Войново-Гора городского округа Орехово-Зуево Московской области за 2014–2024 гг. Приведен список видов лишайников, пригодных для биоиндикации в смешанных лесах средней полосы России с классами полеотолерантности. Подтверждена возможность использования эпифитов для целей локального экомониторинга, в том числе с привлечением групповой работы обучающихся.

Ключевые слова: лишайноиндикация, эпифитные лишайники, проективное покрытие, поллютанты

EPHYPHYTIC LICHENS OF THE NORTHERN MESCHERA IN LOCAL ECOMONITORING

Zykov I.E.

*State University of Humanities and Technology, Orekhovo-Zuyevo,
e-mail: zikov-oz@yandex.ru*

The role of epiphytic lichens in the bioindication of atmospheric pollution in natural and anthropogenic biogeocenoses is considered. The sensitivity of lichens to atmospheric pollution determined by their ability to accumulate toxic substances, primarily through the algal layer, which has a higher level of metabolic activity. It is noted that sulfur dioxide, fluorides, chlorides, nitrogen oxides, and carbon oxides have a negative effect on lichens. An increase in their concentration in the atmospheric air leads to a shift in the pH of the bark towards a more acidic reaction, resulting in impaired reproduction and development of lichens. The purpose of this study is to investigate the changes in the state of forest biocenoses based on the response of epiphytic lichens to the presence of pollutants in the air. The method of passive lichenoidication revealed a change in the area of the projective coating and species composition of epiphytic lichens under the influence of pollutants formed a result of gorenje burning in vicinity of the village of Ozeretskiy and the village of Voynovo-Gora in the Orekhovo-Zuyevo urban district of the Moscow region over the period 2014–2024. A list of lichen species suitable for bioindication in mixed forests of central Russia with field tolerance classes provided. The possibility of using epiphytes for local ecological monitoring purposes, including group work by students, been confirmed.

Keywords: lichenoidication, epiphytic lichens, projective coating, pollutants

Введение

Эпифитные лишайники – одни из наиболее чувствительных биоиндикаторов атмосферного загрязнения, позволяющих быстро и достоверно оценивать состояние воздуха природных [1] и антропогенных биогеоценозов [2]. Среди них есть чувствительные формы, погибающие при малейшем загрязнении, среднечувствительные, сменяющие погибшие чувствительные виды, и выносливые формы, толерантные к загрязнению. Последние произрастают в городах и других населенных пунктах, приспособившись к антропогенным условиям. Чувствительность лишайников к загрязнению объясняется тем, что они не способны выделять в окружа-

ющую среду поглощаемые ими токсичные вещества. В отличие от высших растений лишайники всей поверхностью абсорбируют из воздуха и воды многие химические вещества и аккумулируют их [3–5]. Максимально чувствительным к атмосферным загрязнениям является водорослевый слой лишайников, обладающий более высоким уровнем метаболической активности. Из компонентов загрязненного воздуха наиболее выраженное отрицательное влияние на него оказывает диоксид серы (SO_2), который уже в концентрации $0,08\text{--}0,1\text{ мг/м}^3$ действует на хлоропласты клеток водоросли, нарушая в них процесс фотосинтеза, а в концентрации $0,5\text{ мг/м}^3$ вызывает гибель таллома. Известна способность

лишайников реагировать на загрязнение воздуха фторидами, хлоридами, оксидами азота, углерода, озоном [6, 7]. В то же время лишайники слабо чувствительны к токсичным для других организмов тяжелым металлам, накапливающимся в их тканях в значительных количествах, а также к радиоактивным изотопам [8].

Важным фактором, влияющим на состояние эпифитных лишайников, является естественная кислотность коры. Для проведения исследований автором выбрана береза бородавчатая (*Betula pendula* L.) с кислой реакцией коры (рН 3,4–3,7). Кроме березы к таким древесным породам относятся сосна обыкновенная (*Pinus sylvestris* L.), ель обыкновенная (*Picea abies* (L.) Н. Karst.), лиственница сибирская (*Larix sibirica* Ledeb.) и пихта сибирская (*Abies sibirica* Ledeb.). При увеличении в атмосферном воздухе концентрации SO_2 (в меньшей степени оксидов азота и углерода) происходит смещение рН коры в сторону более кислой реакции, что приводит к нарушениям размножения и развития эпифитных лишайников. Их талломы окрашиваются в беловатый, коричневатый или фиолетовый цвета, становятся более толстыми, ограниченными по площади, обильно покрываются соредиями, сморщиваются и отмирают.

Для организации экомониторинга посредством пассивной лишеноиндикации требуется соблюдение следующих правил:

- 1) наблюдение за лишайниками нужно проводить на постоянных учетных площадках на протяжении длительного времени;
- 2) пробные площадки должны быть заложены в гомогенных по составу и возрасту фитоценозах с одинаковыми биотическими и абиотическими условиями;
- 3) модельные деревья на пробных площадках должны быть по возможности постоянными, одновозрастными, не иметь видимых повреждений и принадлежать к одной из основных лесообразующих пород;
- 4) при использовании переменных пробных площадок и модельных деревьев их количество необходимократно увеличить для получения достаточного объема статистически достоверной информации.

Цель исследования – изучить изменение состояния лесных биоценозов по реакции эпифитных лишайников на присутствие в воздухе поллютантов.

Материалы и методы исследования

Степень загрязнения воздуха определена в окрестностях пос. Озерецкий (55°49'32" с.ш. 39°04'04" в.д.) и д. Войново-Гора (55°50'38" с.ш. 39°03'36" в.д.)

Орехово-Зуевского района Московской области в 2014 и 2024 гг. с помощью пассивной лишеноиндикации по стандартной методике. Изучение лишайников проведено на двух постоянных учетных площадках, заложенных в близких по составу и возрасту фитоценозах со сходными абиотическими условиями. Формула древостоя на первой площадке – 7Б+3С+1Д, на второй площадке – 9Б+1С; степень сомкнутости крон соответственно 40 и 47–49%. Для определения проективного покрытия использованы постоянные промаркированные модельные деревья березы бородавчатой 40–45-летнего возраста, не имеющие видимых признаков ослабления и антропогенного воздействия.

Обе учетные площадки заложены к северо-западу от пос. Озерецкий: первая – в 500 м, вторая – в 2 км от поселка в окрестностях д. Войново-Гора. Обе площадки расположены между автодорогой, идущей от пос. Озерецкий к д. Дубровка и Марково и мелиоративной канавой. Расстояние от площадок до дороги около 70 м. В юго-западном направлении за дорогой расположен лесной массив, в северо-восточном за канавой – заброшенный торфяник, заросший травянистой сорной растительностью и кустарником и имеющий местами ширину от 500 до 1000 м.

Для определения проективного покрытия использована прозрачная сетка площадью 100 см², разбитая на ячейки размером 1х1 см. В обоих локалитетах измерения проведены на 10 стволах, на каждом с четырех сторон света на высоте около 150 см от поверхности почвы.

Результаты исследования и их обсуждение

Результаты измерений представлены в табл. 1–4.

Общее проективное покрытие в процентах (R) вычисляли по формуле:

$$R = (100a + 50b) / c,$$

где а – число квадратов с покрытием более 50%; в – число квадратов с покрытием менее 50%; о – число пустых квадратов; с – общее число квадратов (а + в + о).

В 2014 г. на первой учетной площадке проективное покрытие лишайниками стволов деревьев составило 17,4%, на второй площадке – 10,6%. В 2024 г. эти показатели соответственно равнялись 14,5 и 21,4%. На тех же площадях количество отмерших талломов в 2014 г. составило соответственно 15 и 40–45%, в 2024 г. – 45–50 и 12–15% от общей площади проективного покрытия в каждой точке.

Таблица 1

Лихенометрическая съемка (проективное покрытие)
в районе пос. Озерецкий в 2014 г.

№ деревя	а					в					о					с
	С	Ю	З	В	Σа	С	Ю	З	В	Σв	С	Ю	З	В	Σо	
1	2	7	28	0	37	4	16	9	4	33	95	76	62	97	330	400
2	0	0	0	0	0	2	2	0	6	10	96	99	100	95	390	400
3	24	0	15	0	39	14	0	11	0	25	57	100	79	100	336	400
4	4	2	0	0	6	20	6	11	0	37	73	94	90	100	357	400
5	4	9	0	0	13	23	15	0	8	46	74	75	100	92	341	400
6	15	0	0	0	15	40	2	1	0	43	45	98	99	100	342	400
7	0	60	6	4	70	0	24	13	7	44	100	13	84	89	286	400
8	1	0	0	0	1	5	1	2	1	9	95	99	97	99	390	400
9	14	0	8	19	41	33	0	18	14	65	48	100	74	72	294	400
10	3	0	32	0	35	3	0	12	4	19	97	100	53	96	346	400
Всего	257					331					3413					4000

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

Таблица 2

Лихенометрическая съемка (проективное покрытие)
в районе д. Войново-Гора в 2014 г.

№ деревя	а					в					о					с
	С	Ю	З	В	Σа	С	Ю	З	В	Σв	С	Ю	З	В	Σо	
1	28	3	22	0	53	39	13	27	0	79	32	82	54	100	268	400
2	1	23	0	7	31	0	43	3	14	60	99	31	99	80	309	400
3	66	2	19	2	89	21	11	14	4	50	13	86	68	94	261	400
4	2	0	0	1	3	18	15	9	0	42	79	85	91	100	355	400
5	38	10	16	4	68	31	18	16	14	79	30	72	70	81	253	400
6	2	32	3	0	37	15	12	5	0	32	83	87	91	100	361	400
7	33	1	35	0	69	37	11	25	4	77	27	88	41	98	254	400
8	1	0	1	0	2	12	11	12	2	37	87	89	87	98	361	400
9	6	16	39	0	61	8	35	32	0	75	86	49	29	100	264	400
10	5	4	14	0	23	11	13	22	3	49	83	83	65	97	328	400
Всего	406					580					3014					4000

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

На обеих учетных площадках доминирующим видом является пармелия бороздчатая – *Parmelia sulcata* Tayl. В 2024 г. на первой площадке она составила более 70% от общей площади проективного покрытия. Кроме того, здесь обнаружены кладония бахромчатая – *Cladonia fimbriata* (L.) Fr. (20–25% от площади проективного покрытия) и канделярия одноцветная – *Candelaria concolor* (Dicks.) Stein. (единичные талломы). На второй учетной площадке в 2024 г. пармелия бороздчатая составила более 75% от общей площади проективного покрытия, пармелопсис бледнеющий – *Parmelopsis pallescens* (Hoffm.) Hillm. – около

20%, гипогимния вздутая – *Hypogymnia physodes* (L.) Nyl. и пармелия козлиная – *P. caperata* (L.) Ach. были представлены отдельными талломами [9].

Приведенные результаты отражают динамику загрязнения воздуха в исследуемом районе. До 2014 г. у южной окраины пос. Озерецкий длительное время существовал очаг пожара на торфянике, вызвавший более сильное загрязнение воздуха в поселке и его окрестностях по сравнению с удаленным участком у д. Войново-Гора. Это подтверждают сравнительные результаты площадей проективного покрытия и отмерших талломов (табл. 1, 2).

Таблица 3

Лихенометрическая съемка (проективное покрытие)
в районе пос. Озерецкий в 2024 г.

№ деревя	а					в					о					с
	С	Ю	З	В	Σа	С	Ю	З	В	Σв	С	Ю	З	В	Σо	
1	20	0	12	3	35	24	0	16	14	54	54	100	72	85	311	400
2	22	0	2	7	31	36	0	12	18	66	41	99	88	75	303	400
3	15	0	6	9	30	8	20	23	55	106	75	80	72	37	264	400
4	4	2	0	1	7	11	13	16	6	46	86	85	84	92	347	400
5	7	4	27	1	39	51	12	32	9	104	43	84	40	90	257	400
6	22	0	9	5	36	21	0	19	31	71	57	99	72	65	293	400
7	74	0	67	33	174	16	0	28	42	86	10	100	5	25	140	400
8	34	7	13	1	55	34	21	18	0	73	31	73	69	99	272	400
9	21	0	16	23	60	33	0	26	11	70	47	98	58	67	270	400
10	27	0	2	2	31	28	0	7	7	42	45	100	95	91	327	400
Всего	498					718					2784					4000

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

Таблица 4

Лихенометрическая съемка (проективное покрытие)
в районе д. Войново-Гора в 2024 г.

№ деревя	а					в					о					с
	С	Ю	З	В	Σа	С	Ю	З	В	Σв	С	Ю	З	В	Σо	
1	1	2	1	0	4	4	11	56	1	72	94	86	44	100	324	400
2	23	1	0	0	24	24	10	3	9	46	53	89	97	91	330	400
3	59	3	30	26	118	33	14	51	21	119	8	83	19	53	163	400
4	12	0	1	1	14	31	4	0	15	50	57	96	99	84	336	400
5	11	1	6	19	37	17	51	8	17	93	74	48	85	63	270	400
6	0	10	7	17	34	3	19	7	19	48	98	69	87	64	318	400
7	6	0	0	1	7	11	0	8	11	30	82	99	92	90	363	400
8	16	0	2	0	18	13	0	3	1	17	69	99	91	100	365	400
9	6	0	1	0	7	20	0	9	9	38	73	100	90	92	355	400
10	0	6	0	5	11	17	9	49	20	95	83	85	51	75	294	400
Всего	274					608					3118					4000

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

В последующие годы вблизи пос. Озерецкий эпизодически возникали локальные очаги возгорания, которые постепенно захватывали новые участки торфяника. В 2024 г. здесь помимо пожара на торфянике возник очаг лесного низового пожара, что, безусловно, увеличило степень загрязнения воздуха в этой части фитоценоза. Лишайники отреагировали на подобные нарушения экологической обстановки изменением степени проективного покрытия и соотношения площадей

между живыми и погибшими талломами (табл. 3, 4).

Экологическая значимость исследованных биотопов определяется их устойчивостью, которая обеспечивается за счет способности к полному замещению одних видов лишайников другими, что может послужить своеобразным индикатором наличия загрязнения. Виды лишайников, пригодные для биоиндикации в смешанных лесах средней полосы России, с классами полевотолерантности представлены в табл. 5.

Таблица 5

Виды лишайников смешанных лесов европейской части России
с классами полеотолерантности

Виды лишайников	Типы местообитания	Класс
<i>Usnea hirta</i> (L.) Wigg. emend. Mot.	Естественные экосистемы без значительного антропогенного воздействия	1
<i>Evernia prunastri</i> (L.) Ach.	Естественные (редко) и слабо измененные под воздействием человека местообитания (редко)	2
<i>Lecanora allophana</i> (Ach.) Rohl.	Естественные (часто) и слабо измененные (часто) местообитания	3
<i>Graphis scripta</i> (L.) Ach.	Естественные (часто), слабо и умеренно измененные (реже) местообитания	4
<i>Lecidea glomerulosa</i> Steud.	Естественные, а также слабо и умеренно измененные (с равной вероятностью) места обитания	5
<i>Hypogymnia physodes</i> (L.) Nyl.	Естественные (относительно редко) и умеренно измененные антропогенно местообитания (часто)	6
<i>Parmelia olivacea</i> (L.) Ach. emend. Nyl.	Умеренно измененные (часто) и антропогенно измененные (редко) местообитания	7
<i>Parmeliopsis ambigua</i> (Wulf.) Nyl.	Умеренно и сильно измененные под воздействием человека местообитания (с равной вероятностью)	8
<i>Parmelia caperata</i> (L.) Ach.	Сильно измененные антропогенно местообитания (часто)	9
<i>Lecanora conizaeoides</i> Nyl. ex Cromb.	Очень сильно антропогенно измененные экосистемы (встречаемость и жизненность видов низкие)	10

Источник: составлено автором на основе [10].

Основные принципы и методы лишайноиндикации также могут с успехом использоваться в школьной проектной деятельности для организации целостной системы, направленной на развитие теоретических знаний, практических умений и навыков обучающихся [11, 12].

Заключение

В заключение следует отметить, что, несмотря на ограниченность обследованной территории, автором получены результаты, подтверждающие возможность успешного использования эпифитных лишайников для целей локального экомониторинга. За период исследования в связи со сложившейся экологической обстановкой, являющейся следствием периодически возникающих локальных очагов возгорания на торфянике и очага лесного низового пожара, по соотношению площадей проективного покрытия и отмерших талломов установлено заметное угнетение эпифитных форм в районе пос. Озерецкий и их частичное возобновление в окрестностях д. Войново-Гора. В 2024 г. на обеих учетных площадках отмечено преобладание *P. sulcata*, более выраженное в окрестностях д. Войново-Гора, где кроме нее обнаружены еще три вида эпифитов: *P. pallescens*, *H. physodes* и *P. caperata*.

Для исследовательских биоиндикационных работ по оценке состояния окружа-

ющей среды часто привлекаются и обучающиеся СОШ, которые в ходе проектной деятельности могут также использовать международную платформу iNaturalist, дающую возможность проведения практических полевых исследований. Кроме повышения интереса, облегчения фиксации полученных результатов, платформа позволяет осуществлять коммуникацию исследователей с обучающимися других учебных заведений и сторонними специалистами научно-исследовательских институтов для создания единой региональной системы экомониторинга.

Список литературы

1. Загитова Г.Т., Горшков В.В. Оценка уровня загрязнения окружающей среды в прибрежных зонах северных территорий с использованием лишайников в качестве биоиндикаторов // Арктика и инновации. 2025. № 3 (1). С. 77–81. DOI: 10.21443/3034-1434-2025-3-1-77-81.
2. Зарубина А.П., Толпышева Т.Ю., Сорокина Е.В. Экоотоксикологическая оценка состояния городской среды на примере мегаполиса Москвы // Социально-экологические технологии. 2018. № 2. С. 34–51. DOI: 10.31862/2500-2963-2018-2-34-51.
3. Анищенко Л.Н., Сковородникова Н.А., Борздыко Е.В. Химическая лишайноиндикация как основа биомониторинга воздуха в антропогенных экосистемах // Фундаментальные исследования. 2015. № 2–10. С. 2144–2148. URL: <https://fundamental-research.ru/ru/article/view?id=37372> (дата обращения: 28.07.2025).
4. Малышкин Н.Г. Оценка состояния атмосферного воздуха в районе деятельности промышленного предприятия методом лишайноиндикации // Успехи современного

естествознания. 2018. № 11–2. С. 361–365. URL: <https://natural-sciences.ru/ru/article/view?id=36953> (дата обращения: 25.07.2025).

5. Lan X., Thoning K.W., Dlugokencky E.J. Trends in globally averaged CH₄, N₂O and SF₆ determined from NOAA Global Monitoring Laboratory measurements. Version 2025–01. 2022. DOI: 10.15138/P8XG-AA10.

6. Зарубина А.П., Толпышева Т.Ю., Плеханов С.Е. Оценка загрязнения воздушной среды методами биотестирования // Экология и промышленность России, 2016. Т. 20. № 8. С. 44–48. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?ysclid=mer9jmjyvc597443493&id=26483928> (дата обращения: 28.07.2025). DOI: 10.29003/m3533.0514-7468.2019_45_4/519-526.

7. Толпышева Т.Ю., Зарубина А.П. Экотоксикологическая оценка качества городской среды методами бактериальной люминесценции и лишеноиндикации // Жизнь Земли. 2023. Т. 45. № 4. С. 519–526. DOI: 10.29003/m3533.0514-7468.2019_45_4/519-526.

8. Бязров Л.Г. Лишайники – индикаторы радиоактивного загрязнения. М.: КМК, 2005. 477 с.

9. Калюжная И.Ю. Перспективы использования методов лишеноиндикации в экологическом образовании // Вестник МГПУ. «Естественные науки», 2017. № 1 (25). URL: <https://iest-vestnik.mgpu.ru/2021/09/01/perspektivy-ispolzovaniya-metodov-lihenoidikaczii-v-ekologicheskom-obrazovanii/> (дата обращения: 28.07.2025).

10. Трасс Х.Х. Классы полевотолерантности лишайников и экологический мониторинг // Проблемы экологического мониторинга и моделирования экосистем. Л., 1985. Т. 7. С. 122–137.

11. Смыковская Т.К., Головина Н.Н. Проектный метод развития интеллектуальных умений // Профессиональное образование. 2013. № 5. С. 35–36. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=20134240&ysclid=mer9mc33jz629760289> (дата обращения: 28.07.2025).

12. Суматохин С.В. Требования ФГОС к учебно-исследовательской и проектной деятельности // Биология в школе. 2013. № 5. С. 60–68. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=19423635&ysclid=mer9nh9x4y567579250> (дата обращения: 28.07.2025).

УДК 579.25

РАЦИОНАЛЬНЫЙ ДИЗАЙН ПЛАЗМИДНОГО ВЕКТОРА**¹Полякова Е.Д., ²Жаббарова А.Ш.**¹ФГБОУ ВО «Российский химико-технологический университет имени Д.И. Менделеева»,
Москва, e-mail: katepolyakova00@gmail.com;²ФГУП «Научно-исследовательский институт прикладной акустики», Дубна

Использование генов антибиотикорезистентности в плазмидных векторах для отбора трансформированных клеток остается актуальной проблемой в медицинской биотехнологии. Это обуславливает необходимость разработки систем селекции без применения антибиотикорезистентных маркеров. Цель исследования – создание вектора с минималистичным дизайном для трансформации прокариотических клеток без использования генов антибиотикорезистентности. Размер плазмидной ДНК влияет на эффективность трансфекции, уменьшение размера плазмидного вектора существенно повышает эффективность доставки целевого гена. Изучение возможностей применения небольших векторов и мини-кольцевых ДНК несет в себе большой потенциал. Также для повышения стабильности конструкции необходимо избегать токсичных для клеток элементов или последовательностей, в том числе элементов вирусных геномов. А маркер антибиотикорезистентности желательно заменить другим маркером селекции. Для создания вектора с минималистичным дизайном были подобраны элементы, необходимые для поддержания саморепликации вектора и экспрессии целевого гена. Элементы вектора из коммерческих плазмид получали путем ПЦР-амплификации, где векторы использовались в качестве матриц. Далее сборка вектора осуществлялась посредством нескольких сшивок. Полная последовательность проверена секвенированием по Сэнгеру. Данный вектор возможно использовать без дополнительных маркеров селекции в клетках *E. coli* с модифицированным геномом. В таких клетках должен содержаться элемент транспозона Tn-10 и мутантный ген *pheS*. В совокупности вектор и элементы, внедренные в геном клеток, позволяют клеткам расти на среде с содержанием 4-хлор-фенилаланина, тогда как клетки с мутантным генотипом, не несущие вектор, погибают.

Ключевые слова: плазмидный вектор, генетическая инженерия, промотор, антибиотикорезистентность, маркер селекции

RATIONAL PLASMID VECTOR DESIGN**¹Polyakova E.D., ²Zhabbarova A.Sh.**¹Dmitry Mendeleev University of Chemical Technology of Russia,
Moscow, e-mail: katepolyakova00@gmail.com;²Federal State Unitary Enterprise Scientific Research Institute of Applied Acoustics, Dubna

The use of antibiotic resistance genes in plasmid vectors for the selection of transformed cells remains an urgent problem in medical biotechnology. This necessitates the development of breeding systems without the use of antibiotic-resistant markers. The purpose of the work is to create a vector with a minimalistic design for the transformation of prokaryotic cells without the use of antibiotic resistance genes. The size of plasmid DNA affects the efficiency of transfection. Reducing the size of the plasmid vector significantly increases the efficiency of target gene delivery. Exploring the possibilities of using small vectors and mini-ring DNA has great potential. Also, to increase the stability of the structure, it is necessary to avoid elements or sequences that are toxic to cells, including elements of viral genomes. And it is desirable to replace the marker of antibiotic resistance with another marker of breeding. To create a vector with a minimalistic design, the elements necessary to maintain the self-replication of the vector and the expression of the target gene were selected. Vector elements from commercial plasmids were obtained by PCR amplification, where the vectors were used as matrices. Next, the vector was assembled by means of several crosslinking. The complete sequence has been verified by Sanger sequencing. This vector can be used without additional selection markers in *E. coli* cells with a modified genome. Such cells should contain a Tn-10 transposon element and a mutant *pheS* gene. Together, the vector and the elements embedded in the cell genome allow cells to grow on a medium containing 4-chlorophenylalanine, while cells with a mutant genotype that do not carry the vector die.

Keywords: plasmid vector, genetic engineering, promoter, antibiotic resistance, selection marker

Введение

Плазмиды являются незаменимым инструментом в геномной инженерии и синтетической биологии [1]. Их применение в качестве научных инструментов существенно ускорило прогресс во многих областях. Разнообразие и многофункциональность плазмид позволяют исследователям решать широкий спектр задач [2, с. 7]. Например, плазмидные векторы используются для клонирования и экспрессии генов, создания генетически модифицированных организмов, при производстве рекомби-

нантных белков для медицинских и промышленных целей.

Плазмиды, приспособленные или искусственно созданные для нужд ученых, принято называть плазмидными векторами. От обычных плазмид их отличает универсальность применения и наличие элементов, отобранных по каким-либо критериям для использования этих векторов в исследовательских или терапевтических целях [3]. Чтобы из плазмиды получился действующий и эффективный вектор, она должна обладать некоторыми характеристиками

и элементами [4]. Векторы наиболее часто применяют для получения рекомбинантных белков, а также для придания клеткам каких-либо уникальных свойств.

В последние десятилетия исследования в области плазмидных векторов направлены на повышение эффективности и безопасности их действия, в том числе для возможного терапевтического применения.

В настоящее время на рынке представлено множество коммерческих плазмидных векторов для разнообразных целей. Выбор вектора для экспрессии целевого гена при этом зависит от клеток, в которые вектор будет трансфицироваться, уровня экспрессии целевого гена и стабильности конструкции.

В плаزمиде присутствуют гены, кодирующие белки, необходимые для конъюгации (tra-гены), сайты посадки рибосом, системы для обеспечения наследования в плазмиде и многие другие компоненты [5]. Вариативно в плазмиды могут быть добавлены различные необязательные для жизнеспособности или экспрессии элементы, которые помогают достигать поставленной экспериментальной цели. Такими элементами могут быть, например, индукторы, операторы или теговые последовательности. При этом есть минимальный набор элементов, которые должны присутствовать в плазмиде для поддержания ее существования в клетке и экспрессии целевого белка.

В клетках плазмиды существуют во множестве копий, постоянно реплицируясь для избегания деградации. Процесс репликации ДНК начинается в стартовой точке, которая называется ориджин репликации (ori). Ориджин репликации регулирует количество плазмидных копий внутри клетки-хозяина. Структура ориджина уникальна и позволяет обеспечивать видовую специфичность и совместимость с конкретным типом клеток.

Бактериальные плазмиды помещают в клетки посредством трансформации, эффективность которой зависит от многих факторов. Чтобы провести селекцию колоний, используют определенный маркер, ген которого должен присутствовать в плазмидной ДНК. Наиболее часто для этих целей используют гены, вызывающие устойчивость к антибиотикам у бактерий. Механизм селекции основан на выживании клеток, в которые трансформировалась плазмиды с геном устойчивости, в среде с антибиотиком. Нетрансформированные клетки при этом не выживают в селективной среде.

Использование генов антибиотикорезистентности в плазмидных векторах для отбора трансформированных клеток остается

актуальной проблемой в медицинской биотехнологии [6]. Риск связан с возможным распространением этих генов в окружающей среде, что может способствовать горизонтальному переносу генов устойчивости к патогенным или условно-патогенным бактериям. Кроме того, гены устойчивости к антибиотикам вносят существенный вклад в увеличение размера вектора [7]. Все эти факторы обуславливают необходимость разработки систем селекции без применения антибиотикорезистентных маркеров.

Для экспрессии рекомбинантного белка в плазмиду необходимо добавить ген, кодирующий целевой белок. Для удобства клонирования в векторах присутствует полилинкер (multiple cloning site, MCS) – участок с набором разнообразных рестрикционных сайтов. При конструировании вектора сайты рестрикции в MCS должны соответствовать сайтам, фланкирующим целевой ген, что обеспечивает правильное встраивание фрагмента.

Перед MCS находится промотор, контролирующий инициацию транскрипции гена. Он служит местом связывания РНК-полимеразы. Различные промоторы обеспечивают различный уровень экспрессии гена. Также промоторы могут быть конститутивными, индуцибельными или тканеспецифическими. Выбор промотора зависит от желаемого уровня экспрессии целевого гена.

В векторе обычно присутствуют элементы для процессинга РНК, последовательность Козака, терминатор трансляции, сайты сплайсинга РНК при необходимости. После вставки целевого гена обычно располагается терминатор транскрипции, который служит для сигнализации о завершении процесса транскрипции [8; 9]. Наглядно обобщенная структура плазмиды показана на рис. 1.

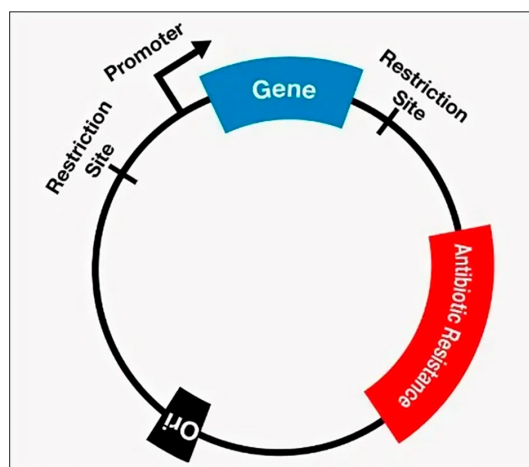


Рис. 1. Обобщенная структура плазмиды
Источник: составлено авторами по [8]

Цель исследования – создание вектора для экспрессии в прокариотических клетках, обладающего минималистичным дизайном и методом селекции, основанным на элементах транспозона Tn10 RNA-IN и RNA-OUT.

Материалы и методы исследования

Для обеспечения стабильной саморепликации вектору необходим ориджин, а для экспрессии гена, клонированного в вектор, – промотор, терминатор транскрипции и полилинкер [10; 11]. Также нужен маркер селекции. Эти компоненты являются основными для использования плазмидного вектора при получении рекомбинантных белков [12]. В качестве маркера селекции были использованы участки транспозона Tn10 и мутантный ген *pheS*.

Исследования выявили фенилаланиновую (Phe) специфичность фенилаланил-ТРНК-синтазы (*PheRS*) из *E. coli* [13]. Модель связывания с субстратом предсказала, что замена Ala294 α субъединицы *PheRS* на меньший остаток Gly приводит к получению фермента со сниженной специфичностью к субстрату. Gly294 *PheRS* способна ферментировать производные Phe с объемными р-заместителями, такие как р-Cl-Phe и р-бромфенилаланин. Включение в метаболизм р-Cl-Phe с помощью ферментов приводит к включению аминокислот в клеточный белок [13]. В присутствии р-Cl-Phe ген *pheS* является доминантным и летальным, если только он не будет инактивирован каким-либо путем.

Транспозон Tn10 кодирует 69-нуклеотидную РНК (RNA-OUT), которая регулирует экспрессию транспозазы путем спаривания с мРНК транспозазы (RNA-IN). Это спаривание регулирует трансляцию транспозазы, изолируя 5'-участок инициации трансляции (TIR) от рибосомы, тем самым ограничивая трансляцию транспозазы в клетках *E. coli* [14]. Эту систему можно воссоздать, используя способность блокирования трансляции других генов. В результате наличие элемента RNA-IN в клетках перед экспрессируемым геном (в данном случае *pheS**) в паре с RNA-OUT, расположенным в векторе, может заблокировать экспрессию этого гена. Тогда клетки с мутантным генотипом и успешно прошедшей трансформацией смогут вырасти на селективной среде с добавлением 4-хлор-фенилаланина. Эти компоненты являются основой данной системы селекции без использования антибиотиков.

Для правильной работы данного вектора необходимы клетки с модифицированным геномом. В них необходимо внести

точечную мутацию гена *pheS* для обеспечения субстратного связывания, а также добавление последовательности RNA-IN перед промотором, инициирующим экспрессию данного гена.

Необходимые элементы конструкции:

1) *prom* – промоторная область гена человеческого фактора элонгации EF1A. Служит для обеспечения высокого уровня транскрипции рекомбинантных генов в большинстве тканей человека. Получен из коммерческого вектора pLV (Addgene, США);

2) MCS (Multiple cloning site) – полилинкер (сайт множественного клонирования), содержащий последовательно сайты рестрикции Eco53kI, SacI, Aval, SmaI, BamHI, XbaI, Sall, SphI, HindIII и предназначенный для клонирования целевых генов, получен из коммерческого вектора pUC19 (Addgene, США);

3) RNA-out – регуляторный элемент РНК-out транспозона T10, обеспечивающий возможность положительной селекции без использования антибиотиков при использовании модифицированного штамма *E. coli* DH5α;

4) *ori* – ориджин репликации pUCori, служащий для автономной репликации с одонуклеотидной заменой для повышения копияности плазмиды в клетках большинства штаммов *E. coli*. Получен из коммерческого вектора pUC19 (Addgene, США);

5) *term* – терминатор транскрипции BGH pA, получен из коммерческого вектора pSecTAG2 C (Invitrogen, США).

Элементы вектора амплифицированы и сшиты между собой с помощью ПЦР. Полимеразную цепную реакцию проводили в реакционной смеси объемом 30 мкл, содержащей 0,7 мкл (1 ед.) Tersus ДНК-полимеразы (Евроген, Россия), 3 мкл буфера для Tersus ДНК-полимеразы (20 mM Tris-HCl (pH 8,8), 10 mM (NH₄)₂SO₄, 10 mM KCl, 2 mM MgCl₂, 0,1% Tween-20, 1 M бетаин, 0,1 мг/мл BSA), 1,5 мкл (2,5 mM) смеси дезоксинуклеозидтрифосфатов (dNTP), по 0,3 мкл 100 мкМ олигонуклеотидов F1 и R1. Объем реакции доводили до 30 мкл деионизированной водой. Амплификацию проводили при следующем режиме: 1 цикл: денатурация +95 °С – 3 мин; 24 цикла: денатурация +95 °С – 20 с, отжиг праймеров ($T_{отж} = 64^{\circ}\text{C}$) – 50 с, полимеризация при +72 °С – 1 мин.

Полученный вектор в линейной форме лигирован в коммерческий вектор pAL2-T (Евроген, Россия) для выявления клонов, содержащих нуклеотидную последовательность без качественных мутаций по стандартной методике для коммерческого векто-

ра. Вектор трансформировали в химически компетентные клетки *E. coli* штамма TOP-10. Секвенирование проводили по методу Сенгера. Секвенирующую реакцию выполняли с использованием реакционной смеси в соответствии с протоколом фирмы-изготовителя (Applied Biosystems, США). Электрофоретическое разделение продуктов секвенирующей реакции – с помощью автоматического 24-капиллярного генетического анализатора Applied Biosystems 3500XL. Затем с отобранной после секвенирования плазмидой проводили реакцию рестрикции по стандартному протоколу для рестриктазы BamHI (Fermentas, США). Вектор лигировали на себя и готовили к тестированию в клетках *E. coli*, содержащих элемент транспозона Tn-10 и мутантный ген *pheS*.

Результаты исследования и их обсуждение

Было установлено [9], что размер плазмидной ДНК влияет на эффективность трансфекции. Компактные плазмиды демонстрировали более высокую трансфекционную активность по сравнению с крупными. Также размер влияет на диффузию ДНК в цитоплазме клеток, молекулы длиной свыше 2000 п.н. практически неподвижны. При этом в ядре ДНК всех размеров остается неподвижной [9]. Замедление диффузии может быть обусловлено связыванием с элементами цитоскелета, а также эффектами молекулярной перегрузки и взаимодействий при столкновениях. Проникнове-

ние ДНК через ядерные поры также зависит от размера. Доказано [10], что мини-кольцевые ДНК длиной 2900 п.н. трансфицируют клетки в 77 раз эффективнее, чем плазмиды размером 52 500 п.н. Более того, при изучении влияния размера вектора на активность промоторов [11] было выявлено, что снижение экспрессии происходит пропорционально увеличению длины вектора. Таким образом, уменьшение размера плазмидного вектора существенно повышает эффективность доставки целевого гена.

Изучение возможностей применения небольших векторов и мини-кольцевых ДНК несет в себе большой потенциал. Мини-кольцевые ДНК – это экспрессионные каскады, генерируемые сайт-специфической рекомбинацией. Они лишены прокариотических последовательностей: *ori* и генов резистентности, которые удаляются в процессе создания мини-колец. Хотя этим конструкциям на некоторых этапах необходимы антибиотики для отбора, такие конструкции демонстрируют повышенную эффективность трансфекции и экспрессии благодаря компактности [12]. Однако их производство требует дорогостоящей хроматографии, что увеличивает себестоимость по сравнению с традиционной ферментацией. Вероятно, наиболее эффективной стратегией является создание стандартных векторов небольшого размера, которые обладали бы только необходимыми для поддержания жизнедеятельности плазмиды и экспрессии генов элементами.

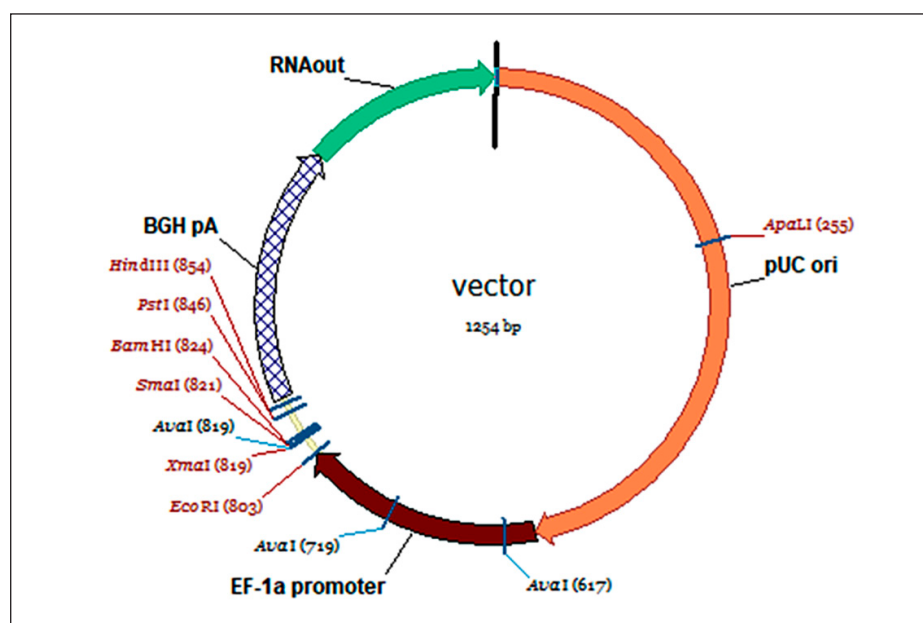


Рис. 2. Схема вектора с минимальным набором элементов
Источник: составлено авторами

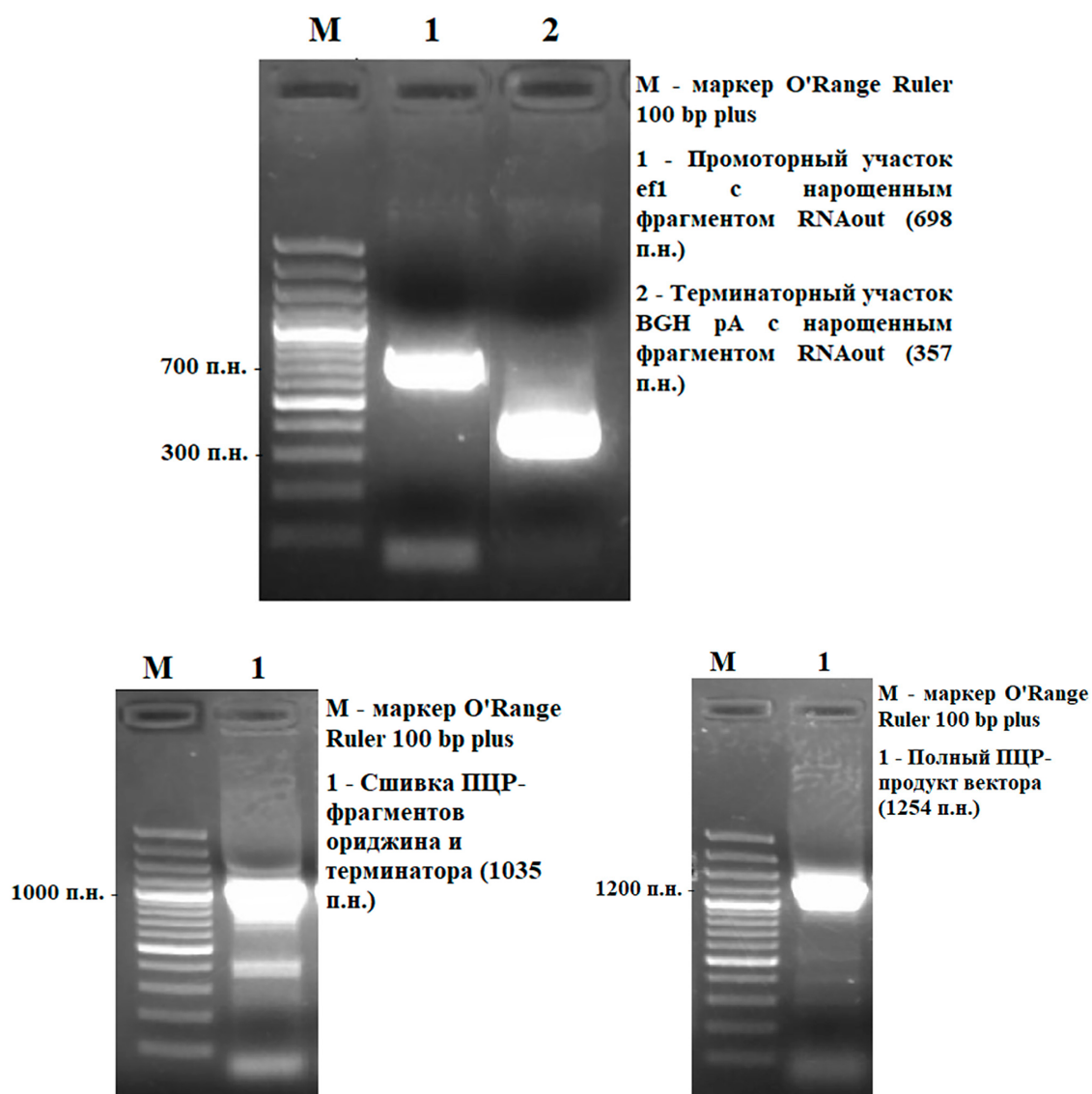


Рис. 3. Этапы сшивки элементов вектора
Источник: составлено авторами

Таким образом, для наиболее эффективной работы плазмидного вектора желательно обеспечить их компактный размер до включения целевого гена. Также для повышения стабильности конструкции необходимо избегать токсичных для клеток элементов или последовательностей, в том числе элементов вирусных геномов. А маркер антибиотикорезистентности желательно заменить другим маркером селекции. При выборе вектора стоит помнить о том, что успех эксперимента во многом зависит от правильного и рационального дизайна плазмиды.

В программе VectorNTI была собрана конструкция вектора с минимальным набором

компонентов (рис. 2). Также были подобраны праймеры для ПЦР-амплификации компонентов вектора, его сборки и секвенирования.

После разработки конструкции вектора получали необходимые для его сборки ПЦР-продукты. Элементы вектора из коммерческих плазмид получали путем ПЦР-амплификации, где векторы использовались в качестве матриц.

Далее сборка вектора осуществлялась посредством нескольких сшивок (рис. 3). Целью синтеза был вектор в линейной форме, который затем лигировали в клонирующий вектор pAL2-T для выявления правильно собранных клонов, не содержащих мутаций.

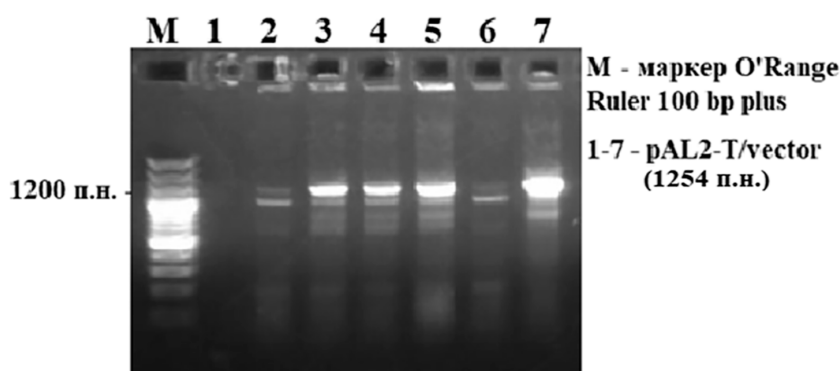


Рис. 4. Скрининг колоний, несущих вставку pAL2-T/vector
Источник: составлено авторами

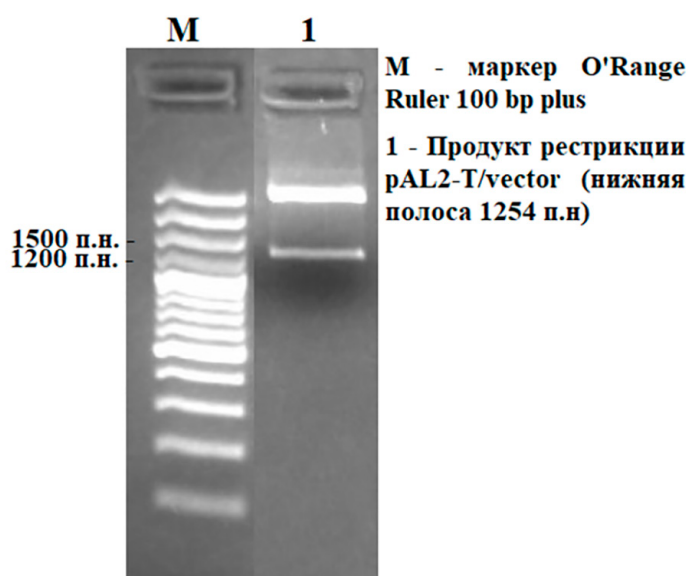


Рис. 5. Электрофорез продуктов рестрикции pAL2-T/vector
Источник: составлено авторами

ПЦР-продукт размером 1254 п.н. далее был залигирован в клонирующий вектор pAL2-T (Евроген, Россия) с последующей трансформацией в клетки *E. coli*. Клеточная суспензия после трансформации втиралась в чашку с агаризованной средой LB, ампициллином (100 мкг/мл), S-Gal и индуктором IPTG. Чашки Петри инкубировали в термостате при 37 °C в течение 16 ч. Далее, для отбора клонов, несущих вставку нужного размера, проводили скрининг с праймерами T7 и Sp6 (рис. 4).

Последовательность вставки отобранных клонов была определена с помощью секвенирования по Сэнгеру, в котором также была использована пара праймеров T7 и Sp6. Вектор, несущий вставку без мута-

ций, был обработан рестриктазами по сайту рестрикции BamHI (рис. 5). Два одинаковых сайта рестрикции из полилинкера в линеаризованном векторе были расположены на его 5'- и 3'-концах таким образом, чтобы затем обработанный рестриктазами вектор можно было лигировать на него же самого.

После обработки рестриктазой и проведения электрофореза продукт рестрикции выделяли из геля. С ним проводили лигирование для образования кольцевой молекулы. Так как вектор не имеет никаких самостоятельных элементов для селекции, отобрать единичные колонии при высеве на чашку без антибиотиков было бы затруднительно. Рационально трансформировать его сразу в клетки с модифицированным

геномом для тестирования разработанной системы и получения кольцевого варианта синтезированного вектора. Таким образом, при подготовке специализированных клеток тестирование данного вектора не представляет труда.

Заключение

Эффективность трансфекции генов значительно зависит от конструкции экспрессионного вектора. На этапе разработки плазмиды необходимо проводить тщательный анализ эукариотических последовательностей и оптимизировать расположение прокариотических элементов в векторе. Так как потенциально проблемные последовательности (например, нежелательные сайты рестрикции) возможно определить заранее, необходимым этапом является анализ последовательности для исключения функционально дестабилизирующих участков.

В контексте функциональности плазмид ключевым аспектом является минимизация последовательностей, включая сокращение или полное удаление селективных маркеров. Это существенно улучшает эффективность трансфекции. «Идеальный» вектор должен обладать небольшим размером, содержать лишь необходимые для репликации элементы и исключать последовательности, нарушающие экспрессию целевого гена.

Для повышения эффективности систем доставки ДНК в клетки необходимо решать множество различных задач, таких как разработка методов увеличения копийности плазмид без модификации их основной структуры и поиск стратегий селекции без использования антибиотиков.

Преимущества минималистичных бактериальных векторов должны стимулировать их внедрение в повсеместную практику, особенно из-за возможных регуляторных ограничений на применение генов антибиотикорезистентности в генно-терапевтических препаратах.

Список литературы

1. Banu H., Prasad K.P. Role of plasmids in microbiology // *Journal of Aquaculture Research and Development*. 2017. Vol. 8, Is. 466. P. 2. DOI: 10.4172/2155-9546.1000466.
2. Tolmasky M.E., Alonso J.C. Plasmids: biology and impact in biotechnology and discovery // John Wiley & Sons. 2020. 480 p. ISBN 978-1-683-67339-2.
3. Li X. et al. Evolution of plasmid-construction // *International Journal of Biological Macromolecules*. 2022. Vol. 209. P. 1319–1326. DOI: 10.1016/J.IJBIOMAC.2022.04.094.
4. Гуринович А.С., Титок М.А. Молекулярно-генетический и функциональный анализ плазмиды pBS72 природных бактерий *Bacillus subtilis* // *Микробиология*. 2020. Т. 89. № 6. С. 646–657. DOI: 10.31857/S0026365620060063.
5. Syam A. et al. Adenovirus vector system: construction, history and therapeutic applications // *Biotechniques*. 2022. Vol. 73, Is. 6. P. 297–305. DOI: 10.2144/btn-2022-0051.
6. Castañeda-Barba S., Top E.M., Stalder T. Plasmids, a molecular cornerstone of antimicrobial resistance in the One Health era // *Nature Reviews Microbiology*. 2024. Vol. 22, Is. 1. P. 18–32. DOI: 10.1038/s41579-023-00926-x.
7. Summers W.C. Plasmids: Histories of a Concept // *Reticulate Evolution*. Cham: Springer. 2015. С. 179–190. DOI: 10.1007/978-3-319-16345-1_6.
8. Ashwini M. et al. Advances in molecular cloning // *Molecular Biology*. 2016. Vol. 50. P. 1–6.
9. Lukacs G., Haggie P., Seksek O., Lechardeur D., Freedman N., Verkman A. Size-dependent DNA mobility in cytoplasm and nucleus // *Journal of Biological Chemistry*. 2000. Vol. 275, Is. 3. P. 1625–1629. URL: [https://www.jbc.org/article/S0021-9258\(18\)31087-1/fulltext](https://www.jbc.org/article/S0021-9258(18)31087-1/fulltext) (дата обращения: 17.04.2025).
10. Yin W., Xiang P., Li Q. Investigations of the effect of DNA size in transient transfection assay using dual luciferase system // *Analytical Biochemistry*. 2005. Vol. 346, Is. 2. P. 289–294. DOI: 10.1016/j.ab.2005.08.029.
11. Ghaly T.M., Geoghegan J.L., Tetu S.G., Gillings M.R. The Peril and Promise of Integrins: Beyond Antibiotic Resistance // *Trends in Microbiology*. 2020. Vol. 28, Is. 6. P. 455–464. DOI: 10.1016/J.TIM.2019.12.002.
12. Ebmeyer S., Kristiansson E., Larsson D.G.J. A framework for identifying the recent origins of mobile antibiotic resistance genes // *Communications Biology*. 2021. Vol. 4. P. 8. DOI: 10.1038/S42003-020-01545-5.
13. Kast P. pKSS – A second-generation general purpose cloning vector for efficient positive selection of recombinant clones // *Gene*. 1994. Vol. 138. № 1–2. P. 109–114. DOI: 10.1016/0378-1119(94)90790-0.
14. Ross J.A., Ellis M.J., Hossain S., Haniford D.B. Hfq restructures RNA-IN and RNA-OUT and facilitates antisense pairing in the Tn10/IS10 system // *RNA*. 2013. Vol. 19, Is. 5. P. 670–684. [Электронный ресурс]. URL: <https://majournal.cshlp.org/content/19/5/670.short> (дата обращения: 21.04.2025).

УДК 631.431

ИЗМЕНЕНИЕ МЕХАНИЧЕСКОГО СОСТАВА ОРОШАЕМЫХ ПОЧВ ПОД ВЛИЯНИЕМ АНТРОПОГЕННЫХ ФАКТОРОВ (НА ПРИМЕРЕ ГИЖДУВАНСКОГО РАЙОНА)

Салимова Х.Х.

Бухарский государственный университет, Бухара, e-mail: h.h.salimova@buxdu.uz

В условиях интенсификации сельского хозяйства и расширения ирригации в аридных регионах Узбекистана особую актуальность приобретает изучение изменений механического состава орошаемых почв под воздействием антропогенных факторов. В настоящем исследовании проанализированы изменения гранулометрического состава луговых почв Гиждуванского района Бухарской области за 1984–2022 гг. на основе данных НИИ почвоведения и агрохимии, а также авторских исследований. Установлено, что за 11 лет (2011–2022 гг.) доля почв с тяжелым суглинистым составом увеличилась на 10,6%, в то время как доля легких суглинков снизилась на 7,0%, что свидетельствует об утяжелении текстуры почвенного покрова. Анализ вертикального распределения механических фракций показал увеличение содержания физической глины во всех горизонтах, особенно в подпахотных слоях, где доля частиц < 0,01 мм достигала 54,0%. Основными факторами трансформации состава почв являются многолетнее орошение, мутность поливной воды, особенности обработки почвы и внесение минеральных удобрений. Результаты исследования имеют практическое значение для оптимизации мелиоративных мероприятий, устойчивого использования орошаемых земель и предотвращения деградации почв в условиях агроэкосистем Центральной Азии.

Ключевые слова: луговая почва, орошение, механический состав, физический песок, физическая глина, суглинки, антропогенный фактор

CHANGES IN THE MECHANICAL COMPOSITION OF IRRIGATED SOILS UNDER THE INFLUENCE OF ANTHROPOGENIC FACTORS (ON THE EXAMPLE OF THE GIJDUVAN DISTRICT)

Salimova Kh.Kh.

Bukhara State University, Bukhara, e-mail: h.h.salimova@buxdu.uz

Under conditions of agricultural intensification and irrigation expansion in arid regions of Uzbekistan, the study of changes in the mechanical composition of irrigated soils under the influence of anthropogenic factors is of particular relevance. This study analyzes changes in the granulometric composition of meadow soils of Gijduvan district of Bukhara province for the period 1984-2022 on the basis of data from the Research Institute of Soil Science and Agrochemistry, as well as the author's research. It was found that for 11 years (2011-2022) the share of soils with heavy loamy composition increased by 10.6%, while the share of light loams decreased by 7.0%, which indicates a heavier texture of the soil cover. Analysis of vertical distribution of mechanical fractions showed an increase in the content of physical clay in all horizons, especially in subsoil layers, where the share of particles <0.01 mm reached 54.0%. The main factors of transformation of soil composition are perennial irrigation, turbidity of irrigation water, peculiarities of soil tillage and application of mineral fertilizers. The results of the study are of practical importance for optimization of reclamation measures, sustainable use of irrigated lands and prevention of soil degradation in conditions of agro-ecosystems of Central Asia.

Keywords: meadow soil, irrigation, mechanical composition, physical sand, physical clay, loams, anthropogenic factor

Введение

Рациональное использование земельных ресурсов является одним из приоритетных направлений устойчивого развития аграрной отрасли в условиях нарастающего антропогенного давления и климатических изменений. Особенно актуальной становится проблема деградации почв, связанная с нарушением их структуры, состава и плодородия, что наиболее отчетливо проявляется в орошаемых агроландшафтах. Гиждуванский район Бухарской области Республики Узбекистан представляет собой типичный регион интенсивного сельскохозяйственного землепользования, где почвы подвергаются значительным нагрузкам в связи с мелиоративной деятельностью, многоукладным землепользовани-

ем, использованием минеральных удобрений и постоянной ирригацией. Изучение изменения механического состава орошаемых почв в данном районе под влиянием антропогенных факторов имеет важное научное и практическое значение, поскольку структура почвы определяет водный режим, воздухообмен, способность удерживать питательные вещества и в конечном итоге урожайность сельскохозяйственных культур [1, 2].

Механический состав почвы, то есть соотношение в ней различных фракций минеральных частиц (песка, ила и глины), является относительно стабильным свойством, формирующимся в результате почвообразования. Однако в условиях интенсивной антропогенной трансформа-

ции – особенно при долговременном орошении и применении сельскохозяйственной техники – механический состав может существенно изменяться. Это связано с физическим разрушением почвенного профиля, вымыванием мелкодисперсных частиц, запылением верхнего горизонта и вторичным засолением. Подобные процессы влекут за собой изменение агрофизических характеристик почвы – пористости, водопроницаемости, влагоемкости, плотности сложения, а также снижают ее биологическую активность и потенциал для устойчивого земледелия [3].

Одной из ключевых причин трансформации механического состава в орошаемых землях является неправильная организация водопользования. В Гиждуванском районе, как и в большинстве засушливых регионов Узбекистана, источником орошения служат воды Амударьи и подземные водозаборы, нередко содержащие растворенные соли. При отсутствии эффективной дренажной системы это приводит к аккумуляции солей в почвенном профиле, нарушению структуры агрегатов и разрушению глинистых частиц. Кроме того, регулярное внесение минеральных удобрений, особенно в избыточных дозах, без органической подпитки вызывает дегумусацию и усиливает эрозионные процессы. Все это способствует ухудшению структуры почвы и перераспределению ее механических фракций [4, 5].

Современные научные исследования свидетельствуют о том, что при многолетнем орошении, особенно в условиях слаборегулируемых равнин, в почве происходит иллювиально-элювиальное перераспределение частиц: из верхнего горизонта вымываются более мелкие частицы (ил, пыль), а нижние горизонты, напротив, уплотняются, обогащаясь более тяжелыми фракциями. Это не только снижает общую агрономическую ценность почвы, но и затрудняет корнеобеспечение растений, увеличивает плотность сложения и уменьшает проницаемость для влаги. На примере Гиждуванского района данные процессы носят комплексный характер, поскольку здесь сочетаются как природная предрасположенность к вторичному засолению, так и влияние нерациональных методов земледелия [6].

Особую тревогу вызывает тенденция снижения доли физической глины (частиц диаметром менее 0,01 мм) в верхних горизонтах почвы, что ухудшает ее влагоудерживающую способность и структуру. Одновременно происходит увеличение доли механических примесей – пылеватых

и крупнофракционных частиц, заносимых с полей и дорог, что также негативно влияет на агрофизическое состояние почвенного покрова. Результаты агрохимических и гранулометрических исследований показывают, что в Гиждуванском районе наблюдается явное нарушение равновесия между песчаными и глинистыми фракциями, особенно в активно эксплуатируемых сельскохозяйственных угодьях [7, 8].

Кроме ирригационного воздействия изменение механического состава почв обуславливается деятельностью самого земледелия. Постоянная механическая обработка, особенно с применением тяжелой сельхозтехники, приводит к уплотнению пахотного слоя, разрушению почвенных агрегатов и нарушению естественной пористости. Одновременно с этим повышается уязвимость почвы к эрозии, особенно в условиях сильных ветров, характерных для территории Гиждуванского района. В свою очередь, ветровая эрозия способствует выносу наиболее ценных мелкодисперсных фракций с поверхности почвы, обедняя ее и усугубляя деградационные процессы [9, 10].

Следует также учитывать социально-экономические и управленческие аспекты, способствующие нарушению устойчивости почвенных систем. Недостаточное внедрение технологий почвозащитного земледелия, низкий уровень агрохимической грамотности фермеров, ограниченное применение органических удобрений и сидеральных культур – все это усиливает давление на почву, снижая ее способность к восстановлению и регенерации. При этом в последние десятилетия в Гиждуванском районе наблюдается интенсификация сельского хозяйства – расширение орошаемых площадей, увеличение числа вегетационных поливов, внедрение высокоурожайных сортов и гибридов, требующих интенсивного питания и водообеспечения. Все эти факторы оказывают кумулятивное воздействие на почву и ее структуру, вызывая необратимые изменения в механическом составе [11, 12].

В условиях глобального изменения климата, сопровождающегося усилением засушливости и ростом температур, проблема рационального водопользования и сохранения структуры орошаемых почв становится особенно острой. Научный интерес представляет выявление взаимосвязей между различными типами антропогенных нагрузок и изменением гранулометрических характеристик почвенного профиля. Это позволит не только диагностировать степень деградации, но и разрабатывать эффек-

тивные рекомендации по восстановлению и поддержанию почвенного плодородия на длительный срок [13, 14].

Настоящее исследование направлено на изучение изменений механического состава орошаемых почв Гиждуванского района под воздействием антропогенных факторов, таких как длительное орошение, применение удобрений, механическая обработка, засоление и эрозия. Основная задача – выявление основных тенденций изменения гранулометрического состава, определение факторов, наиболее активно влияющих на данный процесс, а также разработка научно обоснованных рекомендаций по предотвращению дальнейшей деградации и восстановлению агрофизических свойств почвы. Результаты работы будут способствовать более глубокому пониманию процессов трансформации почвенных систем в условиях интенсивного земледелия и послужат основой для выработки устойчивых стратегий управления земельными ресурсами региона [15].

Таким образом, тема исследования является крайне актуальной и многогранной, затрагивающей широкий спектр экологических, агрономических и социально-экономических аспектов. Научная новизна заключается в комплексном подходе к анализу антропогенных воздействий на структуру почвы с применением современных методов почвенной диагностики и системного моделирования. Практическая значимость исследования выражается в возможности использования полученных данных для корректировки мелиоративных и агротехнических мероприятий, направленных на повышение устойчивости сельского хозяйства в аридных регионах Узбекистана.

Цель исследования – разработка рекомендаций по эффективному использованию орошаемых земель путем изучения влияния антропогенных факторов на эволюцию и свойства орошаемых почв, распространенных в Гиждуванском районе Бухарской области.

Материалы и методы исследования

Исследование проводилось на орошаемых луговых почвах Гиждуванского района Бухарской области, расположенного в условиях резко континентального аридного климата, где сельское хозяйство полностью зависит от мелиоративного водоснабжения.

Целью работы являлось выявление изменений механического состава почв под влиянием антропогенных факторов, в том числе многолетнего орошения, обработки, внесения удобрений и других видов хозяйственной деятельности.

Объект исследования

Общая площадь земель орошаемого земледелия Гиждуванского района по состоянию на 2020 г. составила 19 994 тыс. га. Основу почвенного покрова составляют следующие типы орошаемых почв: луговые – 52,8%, пустынно-луговые – 27,4%, лугово-такырные – 13,7%, серо-бурые – 3,3% и серо-бурые-луговые – 2,8% (по данным НИИПА, 2020 г.).

Для более детального изучения изменений механического состава были выбраны два почвенных разреза:

Разрез 7 (1984 г.) – данные по орошаемым луговым почвам, приведенные И.Н. Фелициантом.

Разрез 1 (2022 г.) – данные, полученные автором Х.Х. Салимовой на землях фермерского хозяйства «Омад» массива Х. Олимджон (Сармиджон).

Эти два разреза были выбраны для сопоставления изменений в почвенном профиле на интервале более чем в 35 лет.

Отбор проб и морфологическое описание

Почвенные образцы отбирались по-слойно, по стандартным методикам полевых почвенных исследований. Глубина отбора составляла до 115 см, с разбиением по основным генетическим горизонтам:

0–29 см – пахотный слой,

29–52 см, 52–79 см, 79–103 см, 103–115 см – подпахотные горизонты.

Каждый горизонт был охарактеризован по цвету, структуре, плотности сложения, наличию включений и другим морфологическим признакам. Особое внимание уделялось анализу профиля в динамике, с учетом факторов антропогенного воздействия – глубины вспашки, режима полива, типов возделываемых культур и др.

Гранулометрический анализ

Гранулометрический (механический) состав почв определялся лабораторным методом пипетки, с предварительной подготовкой образцов (удаление карбонатов и органического вещества 3%-ным H_2O_2 и HCl). Механические фракции распределялись по следующим фракционным группам:

Крупные частицы ($> 0,25$ мм)

Песок ($0,25–0,1$ мм)

Мелкий песок ($0,1–0,05$ мм)

Пыль ($0,05–0,01$ и $0,01–0,005$ мм)

Тонкая пыль ($0,005–0,001$ мм)

Физическая глина ($< 0,001$ мм)

Физическая глина в анализе определялась как сумма всех частиц размером менее $0,01$ мм, что соответствует методикам, принятым в советской и постсоветской школах

почвоведения. По содержанию физической глины проводилась классификация текстурного состава почвы: легкий, средний, тяжелый суглинков и др.

Сравнительный анализ данных

В рамках исследования проведено сравнение гранулометрического состава почв: за 1984, 2011 и 2022 гг.;

по вертикальному профилю почв (от пахотного до нижнего горизонта);

по пространственному распределению типов механического состава на уровне района.

Сравнение проводилось как по индивидуальным разрезам (например, фермерское хозяйство «Омад»), так и по сводным данным Гиждуванского района, собранным НИИПА. Это позволило отследить динамику утяжеления или облегчения почвенного состава, влияние ирригации, процессов засоления и смыва, а также последствий длительного сельскохозяйственного использования.

Используемые источники и обработка данных

Источниками информации служили: авторские полевые наблюдения и лабораторные анализы, проведенные в 2022 г.

Статистическая обработка данных выполнялась с помощью пакетов Microsoft Excel и Statistica 8.0, где рассчитывались:

доли фракций по глубине,
общее содержание физической глины,
распределение типов механического состава,

относительные изменения за 11 лет и более.

Результаты оформлялись в виде таблиц, графиков и диаграмм (рис. 1, 2), иллюстрирующих процессы трансформации механического состава под воздействием антропогенных факторов.

Учет внешних факторов

Также учитывались следующие агротехнические и мелиоративные параметры:

источники поливной воды – преимущественно вода Амударьи и дренажно-иригационная сеть;

мутность поливной воды, способствующая отложению ила;

типы сельскохозяйственных культур (хлопчатник, пшеница, люцерна и др.) и особенности их водопотребления;

режимы полива – периодичность, нормы, способы (бороздковый, дождевание и пр.);

химическое и физическое воздействие – внесение удобрений, пестицидов, количество проходов сельхозтехники.

Ограничения и точность результатов

Для обеспечения надежности данных: отбор проб проводился в схожие сезоны (вегетационный период);

использовались параллельные пробы на каждой глубине;

методика отбора и анализа полностью соответствовала действующим стандартам;

сопоставление данных прошлых лет осуществлялось через приведение к единой системе единиц и критериев.

Используемая методика позволила выявить как вертикальные, так и пространственные изменения механического состава орошаемых почв Гиждуванского района. Комплексный подход, основанный на сопоставлении данных разных лет и участков, обеспечивает достоверность результатов и позволяет формировать научно обоснованные рекомендации по рациональному использованию земель и предупреждению деградации почв в условиях орошаемого земледелия.

Результаты исследования и их обсуждение

В 2020 г. общие земли орошаемого земледелия Гиждуванского района составили 19 994 тыс. га, из них 52,8% луговые почвы, 27,4% пустынно-луговые, 13,7% лугово-такрыные, 3,3% серо-бурые, 2,8% серо-бурые-луговые почвы (рис. 1).

Физическое содержание глины в пахотном слое (0–25 см) орошаемых луговых почв 7-го среза составляло 41,8%, а в подпахотном слое (25–45 см) – 43,6%. Оба слоя указаны как средний песок по механическому составу. В поперечном сечении почвы по мере того, как слой снова углублялся, содержание физического ила увеличивалось до 50,1%, образуя тяжелый суглинок по механическому составу, а в самом нижнем слое (80–90 см) содержание физического ила составляло 44,9%, снова средний суглинок по механическому составу.

По данным, полученным в 2022 г., содержание физической глины в пахотном слое почвы (0–29 см) орошаемого луга среза 1 составляло по механическому составу 43,8% – средний суглинок, по мере углубления слоя в сечении количество физической глины увеличивалось, и все слои, кроме пахотного, были определены как тяжелый суглинок по механическому составу.

При выращивании сельскохозяйственных культур за счет механических частиц, содержащихся в поливных водах, повышается содержание физического ила в основном в пахотных и подпахотных слоях почвы, что, в свою очередь, влияет на механический состав почвы (табл. 1).

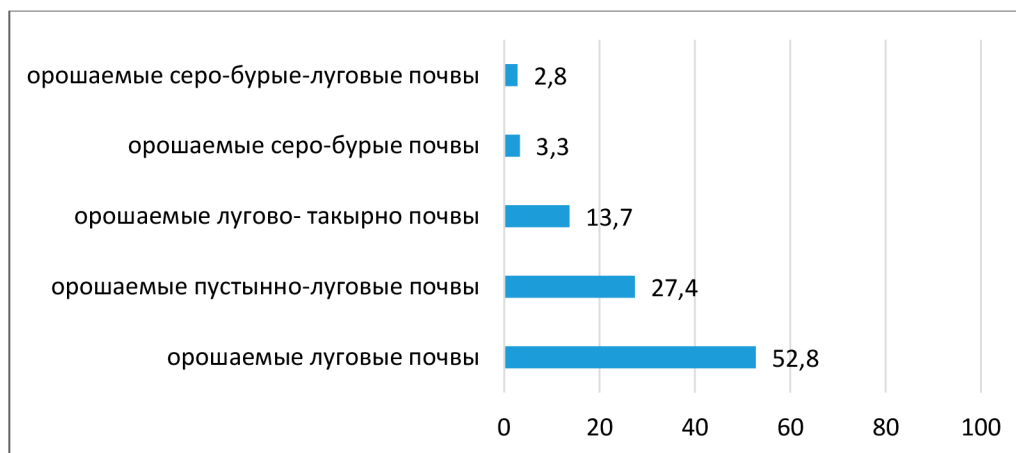


Рис. 1. Типы орошаемых почв Гиждуванского района, в %
Источник: составлено автором

Таблица 1

Механический состав орошаемых луговых почв
Гиждуванского района Бухарской области

Глубина слоя, см	Размер частиц, мм (содержание, %)							Физи- ческая глина	Механи- ческий состав почвы
	> 0,25	0,25–0,1	0,1–0,05	0,05–0,01	0,01–0,005	0,05–0,001	< 0,001		
Срез 7. Орошаемая луговая почва									
0–25	0,65	3,76	18,79	35,02	10,83	17,10	13,80	41,8	средний суглинок
25–45	0,40	4,07	15,05	37,02	11,26	17,80	14,40	43,6	средний суглинок
50–60	0,37	0,28	3,93	45,93	11,92	21,46	16,72	50,1	тяжелый суглинок
80–90	0,22	0,29	17,65	36,96	16,46	17,64	10,78	44,9	средний суглинок
Срез 1. Орошаемая луговая почва									
0–29	2,5	2,5	7,6	43,6	7,2	6,4	30,2	43,8	средний суглинок
29–52	5,0	3,5	4,7	39,8	8,0	7,2	31,8	47,0	тяжелый суглинок
52–79	4,2	4,5	5,4	39,8	9,5	8,0	28,6	46,1	тяжелый суглинок
79–103	1,0	1,7	12,3	31	7,9	11,9	34,2	54,0	тяжелый суглинок
103–115	1,3	1,0	11, 1	39,8	9,5	8,7	28,6	46,8	тяжелый суглинок

Источник: составлено автором.

По данным 2011 г., изменение механического состава почв орошаемых лугов Гиждуванского района составило 0,1%, почвы с легким суглинистым (глинистым) механическим составом – 9,5%, почвы с тяжелым суглинистым механическим составом – 52,6%, почвы со средним суглинистым составом – 20,3%, почвы с легким суглини-

стым составом – 17,5%, а в 2022 г. почвы с легким суглинистым (глинистым) механическим составом составляли 0,1%, почвы с тяжелым суглинистым механическим составом – 20,1%, со средним суглинистым – 60,4%, с рукавным суглинистым – 13,3%, суглинистые – 5,9%, а почвы с механическим песчаным составом – 0,2% (рис. 2).

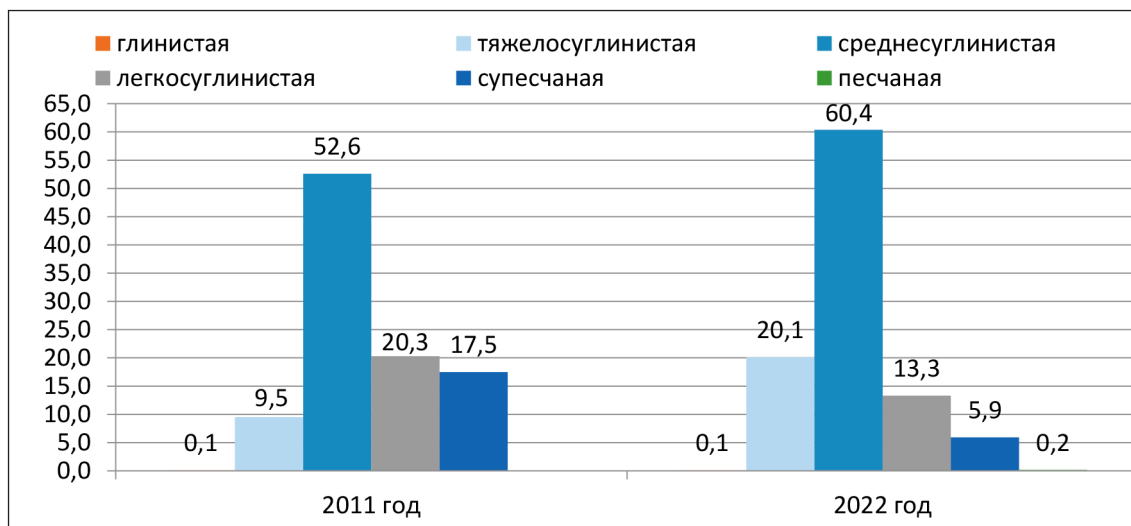


Рис. 2. Механический состав орошаемых почв Гиждуванского района
Источник: составлено автором

Таблица 2

Изменение механического состава орошаемых луговых почв Гиждуванского района

Глубина слоя, см	Размер частиц, мм (содержание, %)							Физи- ческая глина, %	Механи- ческий состав почвы
	> 0,25	0,25–0,1	0,1–0,05	0,05–0,01	0,01–0,005	0,05–0,001	< 0,001		
2011 год									
0–28	2,3	2,4	7,1	45,6	6,8	6,1	29,7	42,6	средний суглинок
28–50	4,8	3,4	4,6	55,1	7,1	6,9	30,9	44,9	средний суглинок
50–76	4,2	4,6	5,5	54,9	9,2	7,8	28,1	45,1	тяжелый суглинок
76–101	1,2	1,5	11,9	46,8	7,7	11,6	33,9	53,2	тяжелый суглинок
101–113	1,3	0,9	11	53,6	9,5	8,5	28,4	46,4	тяжелый суглинок
2022 год									
0–29	2,5	2,5	7,6	43,6	7,2	6,4	30,2	43,8	средний суглинок
29–51	5,0	3,5	4,7	39,8	8,0	7,2	31,8	47,0	тяжелый суглинок
51–77	4,2	4,5	5,4	39,8	9,5	8,0	28,6	46,1	тяжелый суглинок
77–103	1,0	1,7	12,3	31	7,9	11,9	34,2	54,0	тяжелый суглинок
103–114	1,3	1,0	11,1	39,8	9,5	8,7	28,6	46,8	тяжелый суглинок

Источник: составлено автором.

За 11 лет почвы с тяжелым суглинистым механическим составом увеличились на 10,6%, а почвы со средним суглинистым составом – на 7,8%. Установлено, что механический состав легких суглинистых почв

уменьшился на 7,0%, а супесчаных – на 11,6%. В течение 2011–2022 гг., то есть 11 лет, механический состав почв ухудшался под влиянием орошения сельскохозяйственных культур (антропогенных факторов).

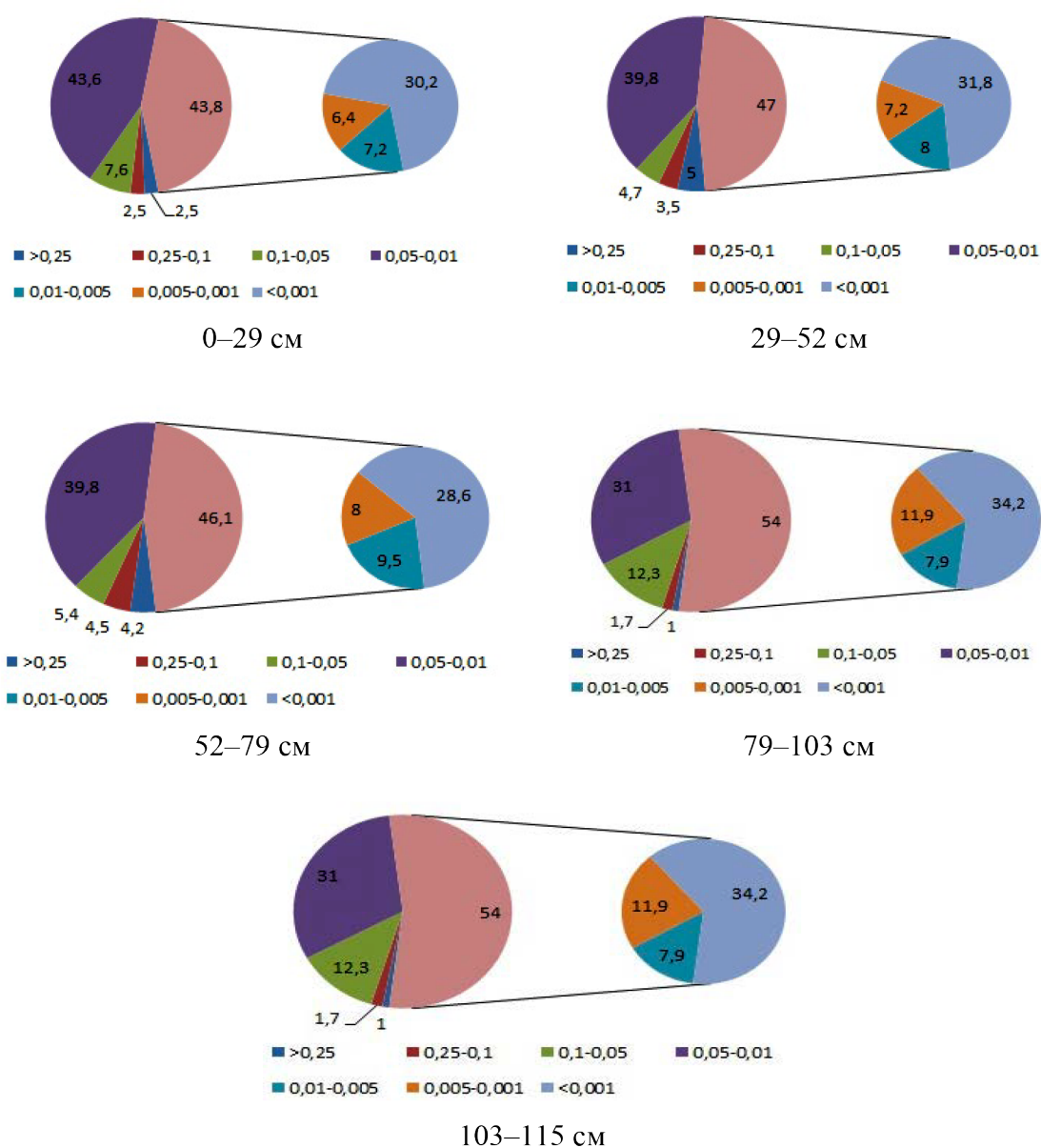


Рис. 3. Механический состав орошаемых луговых почв
Источник: составлено автором

Проанализированы изменения механического состава орошаемых луговых почв фермерского хозяйства «Омад» массива Х. Олимджон (Сармиджон) Гиждуванского района за 2011–2022 гг. По данным на 2011 г., в пахотном слое (0–28 см) содержание физического ила составляло 42,6%, что по механическому составу было средним суглинком, тогда как в пахотном слое содержание физического ила составляло 44,9%, что по механическому составу было средним суглинком. Механический состав почвы по профилю становился тяжелее, а в самом нижнем слое (101–113 см)

физическое содержание глины составляло 46,4%, что по механическому составу было определено как тяжелый суглинок. В 2022 г. было установлено, что в пахотном (0–29 см) слое почвы содержание физической глины составляло 43,8% и среднего суглинка по механическому составу, а в пахотном подпочвенном слое содержание физической глины составляло 47,0% и тяжелого суглинка по механическому составу. Физическое содержание глины в нижних слоях почвенного профиля составляло в среднем 46,1–54,0% и по механическому составу определялось как тяжелый суглинок (табл. 2).

За счет увеличения количества физического ила во всех слоях почвы несколько утяжелился механический состав, изменился механический состав пахотного подстилающего слоя.

В 2022 г. физическое содержание глины в пахотном слое (0–29 см) луговых почв хозяйства «Омад» массива Х. Олимджон (*Сармиджон*) составило 43,8 %, в подпахотном (29–51 см) слое – 47,0 %, в следующем слое, 51–77 см, 46,1 %, в слое 77–103 см – 54,0 %. Механический состав пахотного слоя составлял средний суглинок, а следующие нижележащие слои были определены как тяжелый суглинок (рис. 3).

Огромное количество ученых проводило научные исследования по изменению механического состава орошаемой почвы под воздействием орошения. Например, если в 2010 г. орошаемые луговые почвы, разбросанные по массиву Даргалы Каракульского района, имели содержание физической глины в пахотном слое 22,9 %, а механический состав был слегка суглинистым, то к 2020 г. количество физической глины увеличилось на 37,0 % из-за орошения водой Амударьи и антропогенных факторов, в то же время в нижних слоях под влиянием многолетнего орошения, выщелачивания можно увидеть накопление солей.

Механический состав почвы позволяет определять такие агротехнические мероприятия, как критерий полива сельскохозяйственных культур, приемы полива, продолжительность полива в оптимальных показателях. Изменение механического состава почвы по-разному влияет на показатели водных свойств почвы.

Изменение механического состава почвы под действием поливной воды будет зависеть от таких факторов, как тип культуры, критерий орошения, продолжительность, техника, мутность поливной воды.

Заключение

Проведенные исследования подтвердили значительное влияние антропогенных факторов, прежде всего длительного орошения, на изменение механического состава орошаемых луговых почв Гиждуванского района. В результате многолетней ирригации, сопровождающейся поступлением в почву тонкодисперсных частиц с поливной водой, а также вследствие агротехнической нагрузки произошло общее утяжеление почвенного профиля. Анализ гранулометрического состава почв показал, что содержание физической глины ($< 0,01$ мм) в подпахотных и нижних горизонтах увеличилось до 54,0 %, в то время как в 1984 г. аналогичные значения не превышали 44,9 %.

За период с 2011 по 2022 г. доля тяжелых суглинков в структуре орошаемых земель возросла более чем на 10 %, при одновременном снижении доли легких механических составов. Такие изменения отрицательно сказываются на водно-физических свойствах почв, а также снижают их агрономическую ценность. Полученные результаты подчеркивают необходимость пересмотра существующих методов ирригации, повышения эффективности дренажных систем и внедрения почвозащитных агротехнологий. Это позволит замедлить процессы деградации и обеспечить устойчивое землепользование в условиях аридного земледелия Центральной Азии.

Список литературы

1. Мирзаев У.Б., Умаркулова Б.Н. Влияние антропогенного фактора на эволюцию орошаемых арзлык-шоховых почв // Научное обозрение. Биологические науки. 2020. № 2. С. 5–9. URL: <https://science-biology.ru/ru/article/view?id=1183> (дата обращения: 09.07.2025).
2. Ортиков Т.К., Артикова Х.Т., Умаров О.Р. Микробиологическая активность лугово-аллювиальной почвы Бухарского оазиса в зависимости от типа и степени засоления // Научное обозрение. Биологические науки. 2021. № 3. С. 27–31. URL: <https://science-biology.ru/ru/article/view?id=1234> (дата обращения: 11.07.2025).
3. Ортиков Т.К., Артикова Х.Т., Умаров О.Р., Бафоева З.Х. Изменение агрохимических и микробиологических показателей луговых почв Бухарской области в зависимости от степени засоления // Узбекский биологический журнал. 2019. № 4. С. 57–61. URL: <https://storage.academy.uz/source/1/2019%20%E2%84%964.pdf#page=57> (дата обращения: 11.07.2025).
4. Салимова Х.Х., Артикова Х.Т. Влияние антропогенных факторов на засоление, механический и агрохимический состав лугово-аллювиальных почв Бухарской области // Научное обозрение. Биологические науки. 2022. № 4. С. 96–100. URL: <https://science-biology.ru/ru/article/view?id=1300> (дата обращения: 14.07.2025).
5. Grégory Lesturgez, Roland Poss, Andrew Noble, Olivier Grünberger, Woraphan Chintachao, Daniel Tessier Soil acidification without pH drop under intensive cropping systems in Northeast Thailand // Agriculture, Ecosystems & Environment. 2006. Vol. 114, Is. 2–4. P. 239–248. DOI: 10.1016/j.agee.2005.10.020.
6. Gruba P., Mulder J., Brożek S. Modelling the pH dependency of dissolved calcium and aluminium in O, A and B horizons of acid forest soils // Geoderma. 2013. Vol. 206. P. 85–91. DOI: 10.1016/j.geoderma.2013.04.036.
7. Kazumichi Fujii, Shinya Funakawa, Chie Hayakawa, Takashi Kosaki. Contribution of different proton sources to pedogenetic soil acidification in forested ecosystems in Japan // Geoderma. 2008. Vol. 144, Is. 3–4. P. 478–490. DOI: 10.1016/j.geoderma.2008.01.001.
8. Ortikov T., Umarov O., Bafaeva Z., Jumaev J. Regime of salt in alluvial soils irrigated in Bukhara region, Uzbekistan. E3S Web of Conferences. 2024. Vol. 587. № 04001. DOI: 10.1051/E3SCONF/202458704001.
9. Ortikov T., Umarov O., Bafaeva Z., Ochilova M. Microbiological activity of irrigated meadow-alluvial soil in Bukhara depending on salinity level. E3S Web of Conferences. 2024. Vol. 587. № 04015. DOI: 10.1051/e3sconf/202458704015.
10. Ortikov T., Umarov O., Sayidov M., Artikova M., Bafaeva Z. Microorganisms of the taxonomic group of irrigat-

ed meadow-alluvial soils of the Bukhara region T. E3S Web of Conferences. 2024. Vol. 587. № 04010. DOI: 10.1051/e3s-conf/202458704010.

11. Sarah J. Kemmitt, David Wright, David L. Jones Soil acidification used as a management strategy to reduce nitrate losses from agricultural land // *Soil Biology and Biochemistry*. 2005. Vol. 37, Is. 5. P. 867–875. DOI: 10.1016/j.soilbio.2004.10.001.

12. Schulze-Makuch D., Kennedy J.F. Microbiological and chemical characterization of hydrothermal fluids at Tortugas mountain geothermal area, southern new Mexico, USA // *Hydrogeology journal*. Heidelberg. 2000. № 3. P. 295–309. DOI: 10.1007/s100400050016.

13. Umarov O., Bafaeva Z., Avezov T. The effect of salinity levels on certain physiological groups of microorganisms in irrigated soils of Bukhara region. E3S Web of Conferences. 2024. Vol. 549. № 03018. DOI: 10.1051/e3sconf/202454903018.

14. Yue Dong, Jin-Ling Yang, Xiao-Rui Zhao, Shun Hua Yang, Jan Mulder, Peter Dörsch, Xin-Hua Peng, Gan-Lin Zhang Soil acidification and loss of base cations in a subtropical agricultural watershed // *Science of The Total Environment* 2022. Vol. 827. P. 154338. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2022.154338.

15. Yue Dong, Jin-Ling Yang, Xiao-Rui Zhao, Shun-Hua Yang, Gan-Lin Zhang Contribution of different proton sources to the acidification of red soil with maize cropping in subtropical China // *Geoderma*. 2021. Vol. 392. P. 114995. DOI: 10.1016/j.geoderma.2021.114995.

СТАТЬЯ

УДК 633.175

**ДЕЙСТВИЕ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ПРЕПАРАТОВ
НА ПРОДУКТИВНОСТЬ РАСТЕНИЙ МОГАРА
СОРТА СТЕПНОЙ МАЯК**

Сухарева Л.В.

*ФГБУН Вологодский научный центр Российской академии наук,
Вологда, e-mail: lyubov.suxareva@yandex.ru*

Цель исследования заключается в оценке эффективности использования микробиологических препаратов для улучшения ростовых характеристик могара в условиях Вологодской области, как при внесении удобрений, так и без них. В работе проводится анализ морфометрических параметров растений могара под влиянием биологических препаратов в различных условиях применения удобрений. В статье приводится аргументация важности создания стабильной кормовой базы для Северо-Западного региона, которая учитывала бы особенности местных почвенно-климатических условий. Такая база должна минимизировать использование пестицидов, обеспечивать животных необходимыми питательными веществами и оставаться экономически рентабельной. Могар является довольно ценной кормовой культурой, но его возделывание в условиях Северо-Запада может быть осложнено местными почвенно-климатическими условиями. При проведении исследования было выявлено увеличение общей кустистости относительно контроля от 15,8 до 63,2%. Увеличение количества листьев от 52,8 до 80,5%, а также увеличение зеленой массы на 1,8% – до 79,6%. Наблюдаемое увеличение биомассы отражает положительное влияние биопрепаратов в совокупности с внесением удобрений на продуктивность опытной культуры, что, вероятно, может быть связано со стимулирующим действием бактерий на лучшую усвояемость удобрений.

Ключевые слова: могар, сырая масса, количество листьев, кустистость, биопрепараты

**EFFECT OF EXPERIMENTAL PREPARATIONS
ON PRODUCTIVITY OF PLANTS OF MOGAR
SORSTA STEPPE LIGHTHOUSE**

Sukhareva L.V.

*Vologda Research Center of the Russian Academy of Sciences,
Vologda, e-mail: lyubov.suxareva@yandex.ru*

The purpose of the study is to evaluate the effectiveness of using microbiological preparations to improve the growth characteristics of mogar in the Vologda region, both with and without fertilizers. The paper analyzes the morphometric parameters of mogara plants under the influence of biological preparations in various conditions of fertilizer application. The article provides an argument for the importance of creating a stable forage base for the Northwestern region, which would take into account the peculiarities of local soil and climatic conditions. Such a base should minimize the use of pesticides, provide animals with essential nutrients, and remain economically viable. Mogar is a fairly valuable forage crop, but its cultivation in the North-West can be complicated by local soil and climatic conditions. The study revealed an increase in total bushiness relative to the control from 15.8% to 63.2%. An increase in the number of leaves from 52.8% to 80.5%, as well as an increase in the green mass by 1.8% to 79.6%. The observed increase in biomass reflects the positive effect of biologics combined with fertilizers on the productivity of experimental crops, which may probably be due to the stimulating effect of bacteria on the better digestibility of fertilizers.

Keywords: mogar, raw weight, number of leaves, bushiness, biopreparations

Введение

В Вологодской области основным направлением сельского хозяйства является молочное животноводство. Растениеводству поставлена задача формирования устойчивой кормовой базы, соответствующей специфическим почвенно-климатическим условиям Северо-Западного региона. Эта база должна характеризоваться минимальными затратами на технику, допускать использование пестицидов в ограниченных количествах, обеспечивать животных необходимыми питательными веществами и быть экономически обоснованной [1; 2].

Вопросы кормопроизводства являются актуальными по сей день. Система производства кормов постоянно совершенствуется для достижения оптимального значения, то есть получения большего выхода надземной массы кормовых растений с наименьшими затратами [3; 4]. Укрепление кормовой базы путем использования высокопродуктивных кормовых растений с биохимическим составом, соответствующим физиологическим нуждам животных, а также интродукция и расширение ассортимента кормовых культур представляют собой важнейшие задачи в области кормопроиз-

водства. В этом контексте особое значение имеет выбор культур, которые должны характеризоваться коротким вегетационным периодом, а также ценными морфологическими и химическими свойствами. Могар – ценная кормовая культура, зеленая масса используется в летний период в скошенном виде или в качестве однолетних пастбищ, а также для заготовки кормов на зиму и хорошо поедается всеми сельскохозяйственными животными [5, с. 37–43; 6]. Неземельченное зерно служит кормом для птиц, в размолотом виде – для всех животных. При посеве весной могар позволяет получить один укос и отаву, при поукосном посеве – для осеннего пастбища. В могоаре содержится 0,21 ЭКЕ для крупного рогатого скота, 31 % сырого протеина и 18 г на 1 к.ед. переваримого протеина [7, с. 166, 344].

Цель исследования – анализ эффективности использования микробиологических препаратов для улучшения ростовых характеристик могоара в условиях Вологодской области как с применением удобрений, так и без них. Указанная цель стала основой для определения и выполнения следующих задач:

- оценить действие биопрепаратов компаний ООО «Биотроф» и ВНИИ Сельскохозяйственной микробиологии на ростовые параметры сельскохозяйственных культур в разных фазах вегетации путем постановки мелкоделяночного полевого опыта;
- оценить действие биопрепаратов компаний ООО «Биотроф» и ВНИИ Сельскохозяйственной микробиологии на качественные показатели зеленой массы;
- определить предполагаемую значимость культур для кормовых целей в заданных условиях.

Материалы и методы исследования

Объектом исследования являются биологические препараты.

Предметом исследования была выбрана культура могоара (*Setaria italica* (L.) P. Beauv. subsp. *italica*) сорта Степной маяк, который включен во все регионы допуска сортов сельскохозяйственных растений России. Указанный сорт могоара пригоден для всех регионов возделывания, что особенно важно для Нечерноземной зоны Северо-Запада РФ [8; 9]. В условиях заданного опыта уборка проходила на 75–82-й день вегетации. Вид выбранного растения является однолетним. Культура была выбрана с учетом потребностей в питании крупного рогатого скота, при этом основными критериями отбора стали универсальность использования и показатели зеленой массы растений, такие как содержание углеводов, белков, каротина,

дубильных веществ и витаминов. Благодаря высокому содержанию сахаров в стеблях, получается сбалансированный силос и сенаж, что позволяет сохранить высокую продуктивность посевов. Оригинатором и патентообладателем является Северо-Кавказский Федеральный научный аграрный центр.

Постановка эксперимента по изучению роста и развития культуры могоара с биопрепаратами дублировалась с аналогичным вариантом, где уже вносились удобрения на опытном поле, расположенном близ д. Дитятеево в Вологодской области в период с 2020 по 2022 г. (методика полевого опыта по Б.А. Доспехову) [10, с. 216].

При проведении опыта в качестве объекта использовались такие биопрепараты, как «Натурост-Актив» – *Lactobacillus buchneri*, «Натурост-М» – *Bacillus megaterium*, «Натурост» – *Bacillus subtilis*. Перечисленные препараты на основе живых клеток микроорганизмов разрабатывались компанией ООО «Биотроф» (г. Санкт-Петербург), препарат «Р-20» на основе *B. amyloliquefaciens* создан ВНИИ Сельскохозяйственной микробиологии.

Полевой эксперимент включал в себя следующие варианты: контрольная обработка водой, контрольная обработка водой с добавлением удобрений, а также варианты с внесением препаратов и дублирующие варианты, которые сочетали внесение препаратов и удобрений [11].

Повторность опыта трехкратная, площадь учетной делянки составляла 25,5 м². Посев осуществлялся в соответствии с рекомендованными нормами высева. Ширина междурядий составила 45 см. Семенной материал в вариантах с использованием биопрепаратов перед посевом инокулировали в рабочих растворах препаратов в концентрации 1 мл препарата на 1 л воды, семена контрольной группы замачивались в воде. В течение вегетационного периода проводили опрыскивание растений рабочими растворами той же концентрации согласно рекомендациям производителя, в фазу кущения. Уход за культурами проводили в соответствии с общепринятыми агротехническими приемами [11].

Посев семян проходил во вторые-третьи декады мая 2020–2022 гг. Образцы отбирались несколько раз за сезон, в фазу 3–5 листьев, кущения, трубкования, выметывания. Погодные условия Вологодской области могли неоднозначно повлиять на рост и развитие растений могоара. Для области характерен умеренно континентальный климат с продолжительно холодной зимой, относительно коротким теплым летом. Средняя температура самого теплого месяца,

июля, +17,4 °С, самого холодного, февраля, -11,2 °С. Среднегодовая температура воздуха – +3,3 °С. Погодные условия в 2020 г. были различными. Май отмечен пониженным температурным режимом, несколько ниже допустимого при возделывании могоара, и избытком влаги [12]. В июне было тепло, но недостаточно влаги. И только со второй декады июля установилась дождливая погода. Возделываемые культуры относятся к засухоустойчивым растениям, но тем не менее влаголюбивым, поэтому довольно обильное количество осадков в мае и июле должно было благотворно сказаться на морфометрических показателях. С 22 мая по 10 сентября среднее значение температуры воздуха на высоте 2 м над поверхностью земли было +15,4 °С, минимальное, 3,0 °С, 22 мая, максимальное значение температуры, +28,5 °С, 7 июля. Средняя относительная влажность за приведенный период 72 % на высоте 2 м над поверхностью земли. Количество осадков составляет 326 мм в сумме за дни с осадками (67). В день посева 22 мая температура была около +5 °С. Относительная влажность 75 %. Сумма осадков в день посева составила 12 мм. Погодные условия с мая по август 2022 г. могли неоднозначно повлиять на рост и развитие злаковых культур. После посева температура два раза падала ниже 10 °С, что могло вызвать медленное прорастание и длительный межфазный период посев – всхожесть. Для изучаемой культуры биологический минимум сводится к 11 °С. Среднесуточная температура в период вегетации была

+19,2 °С, что несколько ниже требуемых. Влажность в среднем за все время была 71 % [11; 12; 14].

На опытном участке почва осушенная, дерново-подзолистая, среднесуглинистая.

Результаты исследования и их обсуждение

Среднегодовая кустистость могоара Степной Маяк в вариантах «Натурост» и «Р-20» уменьшается на 5,3 % по сравнению с контрольным показателем. Однако при использовании удобрений эти же варианты демонстрируют прирост кустистости на 15,8 и 26,3 % соответственно. Особого внимания заслуживают варианты «Натурост-Актив» + удобрение и «Натурост-М» + удобрение, которые обеспечивают наибольшие значения кустистости – 3 и 3,1 стебля на растение. Это соответствует увеличению относительно контроля на 57,9 и 63,2 % соответственно (рис. 1).

Увеличение количества листьев в опытных вариантах относительно контроля может свидетельствовать о возрастании продуктивного потенциала культуры для местных условий произрастания (рис. 2). В вариантах с внесением удобрений увеличивается количество листьев на 33,3 % (контроль + удобрение), 61,1 % («Натурост» + удобрение), 52,8 % («Натурост-Актив» + удобрение), 72,2 % («Натурост-М» + удобрение), 80,6 («Р-20» + удобрение). В вариантах, где используются только биопрепараты, видно некоторое снижение количества листьев – от 5,6 до 11,1 %.

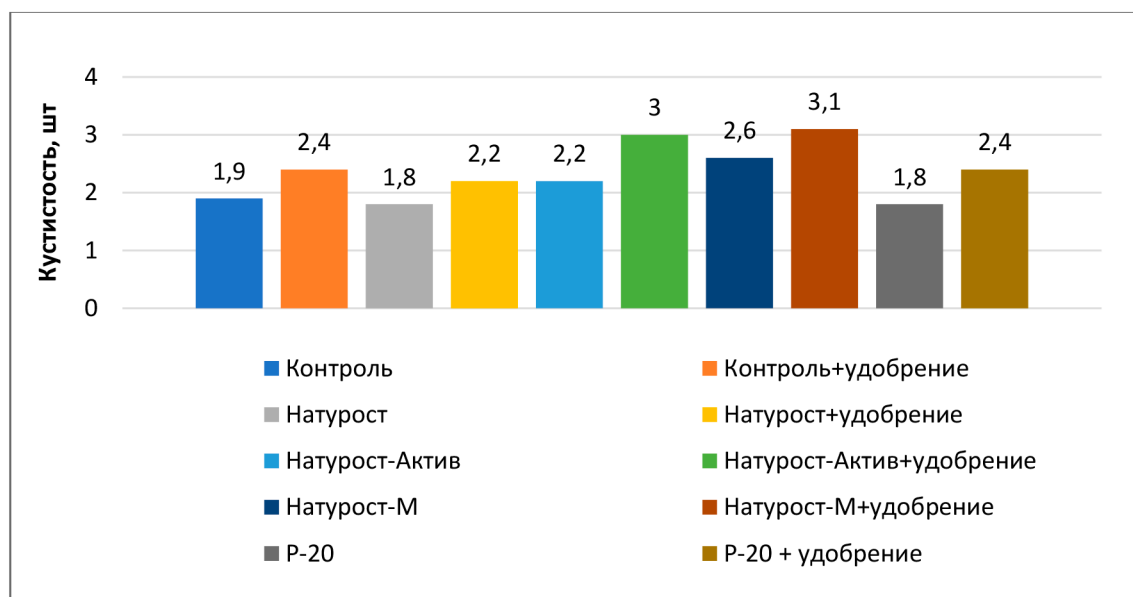


Рис. 1. Среднегодовое значение общей кустистости за 2020–2022 гг.
Источник: составлено автором

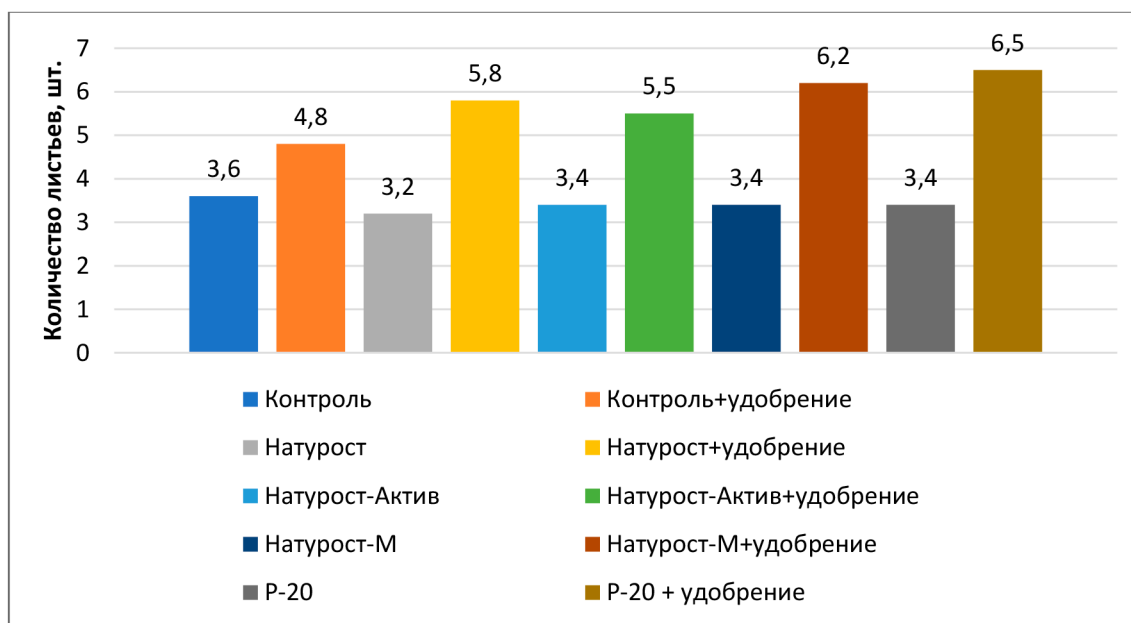


Рис. 2. Среднее количество листьев за 2020–2022 гг., шт.
Источник: составлено автором

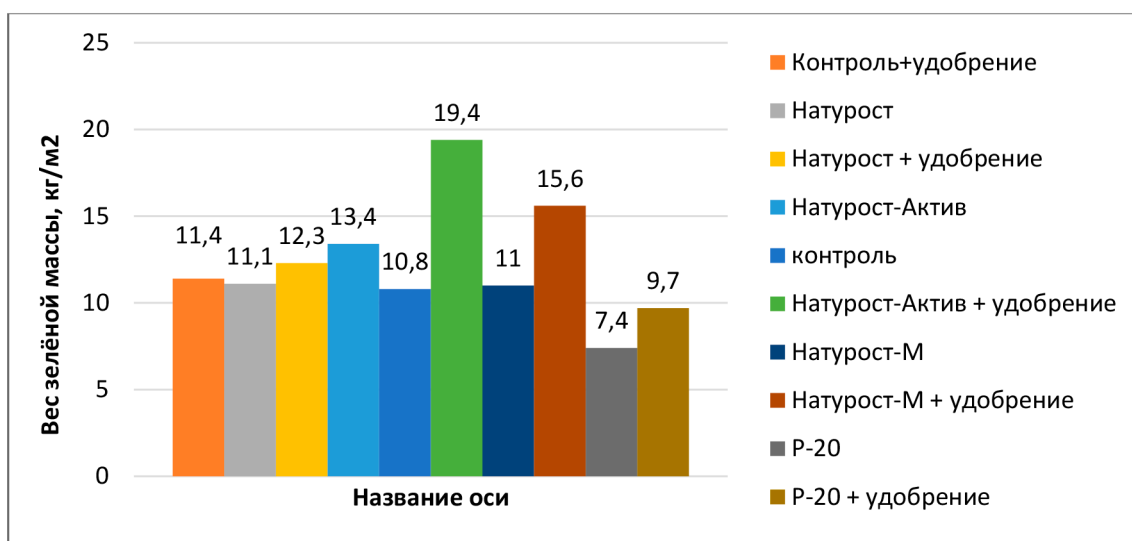


Рис. 3. Вес зеленой массы в среднем за исследуемый период 2020–2022, кг/м²
Источник: составлено автором

Вес зеленой массы довольно сильно варьировал. Максимальную прибавку показал вариант «Натурост-Актив» + удобрение, что составило 79,6% к контролю (рис. 3). Стоит также выделить варианты «Натурост-актив», «Натурост-М» + удобрение, где прибавка к контролю составила 24,1 и 44,4% соответственно. Зеленая масса в вариантах с использованием препарата «Р-20» и дублирующего варианта с удобрением за годы исследований показала отри-

цательный результат относительно контроля в 31,5 и 10,2%. Варианты «Натурост» и «Натурост-М» показали незначительную прибавку к контролю в 2,7 и 1,9%.

Закключение

Одним из путей повышения эффективности деятельности АПК является использование достижений биотехнологии в сельскохозяйственном производстве. С помощью их рационального использо-

вания можно добиться повышения продуктивности животных и растений, качества кормов и сельскохозяйственной продукции, увеличения сроков использования сельскохозяйственных животных, минимизации негативного влияния пестицидов и агрохимикатов.

В ходе полевых опытов установлен положительный эффект от применения экспериментальных микробиологических препаратов «Натурост», «Натурост-Актив», «Натурост-М» и «Р-20».

Кустиность могора сорта Степной маяк в вариантах с применением препаратов «Натурост» и «Р-20» снизилась относительно контрольной группы на 5,2 и 6,5% соответственно. Стоит выделить варианты «Натурост -Актив» + удобрение и «Натурост-М» + удобрение показавшие прибавку по общей кустиности в 57,9 и 63,2%. Количество листьев в вариантах варьировалось от 33,3% (контроль + удобрение) до 80,6% («Р-20» + удобрение) относительно контроля. В вариантах с внесением только препаратов, с наименьшим колебанием значений, показано снижение количества листьев в среднем на растение от 5,6 до 11,1%. Достаточно значимую прибавку к зеленой массе показали варианты: «Натурост» – 13,9%, «Натурост» + удобрение – 24,1%, «Натурост-Актив» – 79,6% и «Натурост-М» + удобрение – 44,4%. Таким образом, стоит отдельное внимание уделить препаратам «Натурост» в комплексе с удобрениями. Препарат «Р-20» показал хорошую прибавку к контрольной группе в увеличении количества листьев, но на увеличении зеленой массы это не слишком сказалось.

При выращивании могора в условиях Вологодской области использование современных биопрепаратов в целом способствовало улучшению ростовых характеристик и повышению продуктивности данной культуры. Можно предположить, что это связано со стимулирующим действием бактерий на лучшую усвояемость удобрений, то есть увеличение коэффициента использования минеральных и органических удобрений («Натурост-М»), укрепление иммунитета, ускорение роста вегетативных частей («Натурост»), антифунгицидное действие, улучшение всхожести семян и приживаемости растений, а также стимулирующее воздействие карбоновых кислот на развитие корневой и вегетативной систем растений («Натурост-Актив»).

Нетрадиционная для региона и области культура могора вполне может хорошо расти и давать урожай. Используя культуру как подсевную или промежуточную

в посевах основных кормовых трав, можно улучшить питательность как зеленого корма, так и заготавливаемых кормов. Дальнейшее развитие опыта по возделыванию могора в условиях Вологодской области позволит подобрать оптимальную систему возделывания, учитывая потребность в минеральном и органическом питании, определить нормы высева на заданные цели, подобрать сорта и схемы возделывания совместно с традиционными кормовыми культурами.

Список литературы

1. Сухарева Л.В. Вопросы интродукции некоторых кормовых культур в Вологодской области // Сельское и лесное хозяйство: инновационные направления развития: Сборник научных трудов Всероссийской научно-практической конференции с международным участием. Отв. за выпуск О.В. Чухина. Вологда – Молочное: ФГБОУ ВО «Вологодская государственная молочнохозяйственная академия имени Н. В. Верещагина», 2021. С. 51–55. [Электронный ресурс]. URL: https://molochnoe.ru/resources/files/nauka/sborniki/sbornik_1_2021.pdf (дата обращения: 03.03.2025).
2. Серекпаев Н.А., Зотиков В.И., Стыбаев Г.Ж. Урожайность зеленой массы пайзы в зависимости от сроков посева в условиях сухостепной зоны Центрального Казахстана // Зернобобовые и крупяные культуры. 2016. № 2 (18). С. 149–153. EDN: WDCRXH.
3. Котляров В.В., Сединина Н.В., Донченко Д.Ю., Котляров Д.В. Системное использование препаратов на основе бактерий и грибов в защите растений и улучшении микробиологического состава почв // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. Краснодар. 2015. № 105. С. 636–647. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/sistemnoe-ispolzovanie-preparatov-na-osnove-bakteriy-i-gribov-v-zaschite-rasteniy-i-uluchsheni-mikrobiologicheskogo-sostava-pochv> (дата обращения: 10.02.2025).
4. Копылов В.Л., Шестак Н.М. Сравнительная продуктивность просовидных кормовых культур и эффективность возделывания пайзы в зависимости от количества укосов в условиях республики Беларусь // Зернобобовые и крупяные культуры. 2016. № 2 (18). С. 154–159. URL: https://journal.vniizbk.ru/journals/18/j_vniizbk_2016_2-154-159.pdf (дата обращения: 10.02.2025).
5. Каюмов Д.С., Козлова М.Ю. Эффективность биопрепаратов и модифицированных удобрений при возделывании озимой ржи // Сборник материалов Всероссийской научно-практической конференции «Наука и молодежь: новые идеи и решения в АПК России». Т. 1. Иваново: ФГБОУ ВО «Ивановская государственная сельскохозяйственная академия имени Д.К. Беляева». 2022. С. 37–43. [Электронный ресурс]. URL: <https://ivgsha.ru/nauka/files/%D0%A2%D0%BE%D0%BC%20%D1%80%D0%B5%D0%B4%D0%B0%D0%BA%D1%86%D0%B8%D1%8F.pdf> (дата обращения: 10.02.2025).
6. Муханов Н.К., Серекпаев Н.А., Зотиков В.И., Стыбаев Г.Ж., Байтеленова А.А. Формирование урожайности зеленой массы пайзы в зависимости от особенности выращивания на богарных землях и при орошении в сухостепной зоне Северного Казахстана // Зернобобовые и крупяные культуры. 2017. № 4 (24). С. 79–84. URL: https://journal.vniizbk.ru/journals/24/j_vniizbk_2017_4.pdf (дата обращения: 10.02.2025).
7. Нормы и рационы кормления сельскохозяйственных животных. Справочное пособие. 3-е изд., перераб. и доп. / Под ред. А.П. Калашникова, В.И. Фисинина, В.В. Щеглова, Н.И. Клейменова. М., 2003. 456 с. ISBN 5-94587-093-5.

8. Государственная комиссия Российской Федерации по испытанию и охране селекционных достижений (ФГБУ «Госсорткомиссия»). [Электронный ресурс]. URL: <https://gossortrf.ru/registry/gosudarstvennyy-reestr-selektionnykh-dostizheniy-dopushchennykh-k-ispolzovaniyu-tom-1-sorta-rasteni/> (дата обращения: 15.05.2025).
9. Кулинцев В.В., Чумакова В.В., Володин А.Б. [и др.]. Сорты и гибриды сельскохозяйственных культур селекции ФГБНУ «Северо-Кавказский ФНАЦ»: каталог / 12-е изд., испр. и доп. Ставрополь, 2022. 203 с. ISBN 978-5-9909080-2-4.
10. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта: 5-е изд., доп. и перераб. М: Агропромиздат, 1985. 351 с.
11. Сухарева Л.В. Действие биопрепаратов на ростовые параметры *Sorghum sudanense* (Piper) Stapf // Аграрный вестник Урала. Т. 24. № 1. 2024. С. 12–21. DOI: 10.32417/1997-4868-2024-24-01-12-21.
12. Справочно-информационный портал «Погода и климат». 2004–2024 гг. [Электронный ресурс]. URL: http://www.pogodaiklimat.ru/history/27037_2.htm (дата обращения: 16.05.2025).
13. Сухарева Л.В., Чухина О.В. Некоторые данные о возделывании *Sorghum saccharatum* Jakushev с использованием биопрепаратов в условиях Вологодской области // Передовые достижения науки в молочной отрасли. Сборник научных трудов по результатам работы IV Международной научно-практической конференции, посвященной дню рождения Николая Васильевича Верещагина. 2022. С. 188–193. EDN: GNQOYX.
14. Сухарева Л.В. Оценка влияния биопрепаратов на рост и развитие сорговых культур в условиях Вологодской области // АгроЗооТехника. 2021. Т. 4. № 3. DOI: 10.15838/alt.2021.4.3.3. EDN: RPFRCJ.

УДК 582:615.281.9

КИПРЕЙ УЗКОЛИСТНЫЙ – ИСТОЧНИК БИОЛОГИЧЕСКИ АКТИВНЫХ ВЕЩЕСТВ

Лукашук С.П., Сергеева Е.Б., Папаяни А.В.

Пятигорский медико-фармацевтический институт – филиал
ФГБОУ ВО «Волгоградский государственный медицинский университет»
Министерства здравоохранения Российской Федерации, Пятигорск,
e-mail: Sergeeva.l2006@yandex.ru

Цель исследования – фитохимическое изучение биологически активных веществ травы кипрея узколистного, их качественное и количественное определение и установление микробиологической активности. Качественное и количественное определение биологически активных веществ проводили с использованием методов Государственной фармакопеи XV издания. В работе использовали клинические штаммы *Escherichia coli* 19, *Enterococcus faecalis*, *Pseudomonas aeruginosa* 22, *Staphylococcus aureus* 31, *Candida albicans* SG, *Candida tropicalis*. Для культивирования микроорганизмов использовали наборы коммерческих реагентов (питательные среды): мясопептонный бульон, среда Гивентали – Ведыминой, среда Сабуро. В результате данного эксперимента проведены качественные реакции для обнаружения основных групп биологически активных веществ – флавоноидов и дубильных веществ, что позволяет проводить диагностику данного растения, а также установлено количественное содержание: дубильных веществ – 14,32% (в пересчете на абсолютно сухое сырье), флавоноидов – 0,89%. Для водного извлечения, полученного из травы кипрея узколистного, установлена противомикробная активность, сопоставимая с действием извлечения из листьев шалфея лекарственного и даже превосходящая его в отношении *Escherichia coli* 19, *Pseudomonas aeruginosa* 22. Это позволяет рекомендовать использование кипрея узколистного в качестве противомикробного средства.

Ключевые слова: кипрей узколистный, флавоноиды, дубильные вещества, противомикробная активность

NARROW-LEAVED CYPRESS IS A SOURCE OF BIOLOGICALLY ACTIVE SUBSTANCES

Lukashuk S.P., Sergeeva E.B., Papayani A.V.

Pyatigorsk Medical and Pharmaceutical Institute – branch of the Volgograd State
Medical University of the Ministry of Health of the Russian Federation,
Pyatigorsk, e-mail: Sergeeva.l2006@yandex.ru

The purpose of the study: phytochemical study of biologically active substances of aqueous extraction from the herb of narrow-leaved cypress, their quantitative determination and establishment of microbiological activity. Phytochemical study of biologically active substances of narrow-leaved cypress grass, their qualitative and quantitative determination and establishment of microbiological activity. Clinical strains of *Escherichia coli* 19, *Enterococcus faecalis*, *Pseudomonas aeruginosa* 22, *Staphylococcus aureus* 31, *Candida albicans* SG, *Candida tropicalis* were used in the work. Commercial reagent kits (nutrient media) were used for the cultivation of microorganisms: meat peptone broth, Givental's environment is a witch's, Saburo medium. As a result of this experiment, qualitative reactions were carried out to detect the main groups of biologically active substances: flavonoids and tannins, which makes it possible to diagnose this plant, and their quantitative content was established: tannins content of 14.32% (in terms of absolute dry raw materials), flavonoids – 0.89%. For the aqueous extraction obtained from the herb Cypress, antimicrobial activity has been established, comparable to the effect of extraction from medicinal sage leaves, and even superior to *Escherichia coli* 19, *Pseudomonas aeruginosa* 22. This allows us to recommend the use of narrow-leaved cypress as an antimicrobial agent.

Keywords: narrow-leaved cypress, flavonoids, tannins, antimicrobial activity

Введение

Кипрей узколистный (*Chamaenrion angustifolium* L.), также известный под народным наименованием иван-чай, является представителем семейства Кипрейные (Onagraceae) – это растения, которые могут достигать высоты от 50 до 120 см, а некоторые индивидуумы вырастают и до 200 см. У них прямостоящий стебель с округлым поперечным сечением, на котором располагается значительное количество листьев. Листья преимущественно сидячие, располагаются поочередно, в редких случаях обладают короткими черешками; форма

листовой пластинки заостренная. Цветки, окрашенные в лилово-пурпурные тона, собраны в удлиненные кистевидные соцветия. Корневая система стержневого типа, имеются горизонтальные утолщенные корни. Плод – коробочка, имеющая опушение и изогнутую конфигурацию; семена не имеют опушения и обладают способностью к распространению на значительные дистанции. Созревание плодов отмечается в конце лета – начале осени. На территории Российской Федерации ареал вида охватывает преимущественно нечерноземную зону. Значительные площади данный вид

занимает в регионах Кавказа, Урала и Алтая [1]. Это растение предпочитает хорошо освещенные места, такие как опушки смешанных и хвойных лесов, осушенные болота, железнодорожные насыпи, берега карьеров и оврагов, а также лесные ручьи. Оно является характерным элементом растительных сообществ на участках, где проводились лесозаготовки и возникли вырубки, сохраняясь на этих территориях до десяти лет, после чего его место занимают такие виды, как малина и таволга [2, 3].

Экстракты, получаемые из надземной части кипрея узколистного, находят применение в официальной и традиционной медицине, включая использование при терапии онкологических патологий; для них характерно проявление бактерицидной, антиоксидантной, противоопухолевой, противовирусной и желчегонной активности [4]. Кипрей узколистный представляет собой ценный источник витаминов и эссенциальных микроэлементов, которые играют важную роль в окислительно-восстановительных процессах, способствуют повышению иммунного статуса, оказывают влияние на процессы гемопоэза и активность витаминов в организме, а также обладают существенным значением в контексте терапии заболеваний крови и атеросклероза [5]. Это растение успокаивает нервную систему, и, хоть его седативные свойства немного слабее, чем у валерианы, кипрей обладает противосудорожным эффектом, который отсутствует у валерианы [6]. Водные и углекислотные экстракты растения показывают антигипоксические свойства. Кипрей помогает регулировать настроение, снижает агрессивность, выполняет функцию стресспротектора и оказывает легкий успокаивающий эффект. [7]. Согласно данным научной литературы, в различных органах кипрея узколистного установлено присутствие широкого спектра биологически активных веществ (БАВ). Корневища характеризуются содержанием углеводов (крахмал, слизи в количестве 15%, сахара, пектин), алкалоидов (0,1%), дубильных веществ (в диапазоне 3–20%), фенолкарбоновых кислот (представленных галловой кислотой), флавоноидов, жирного масла и танина (концентрация до 20 мг%). Стебли аккумулируют дубильные вещества в количестве 4–6%. В цветках обнаруживаются следовые концентрации алкалоидов, аскорбиновая кислота (витамин С) и дубильные вещества. В лепестках содержатся антоцианы. Пыльца является источником высших жирных кислот (линолевой и пальмитиновой). В плодах обнаруживаются флавоноиды (кемпферол, кверцетин,

мирицетин). В источниках отечественной и зарубежной научной литературы представлены сведения о наличии в надземной части (траве) кипрея узколистного комплекса активных компонентов: фенилпропаноиды и фенолкарбоновые кислоты, а именно хаманериевая кислота, феруловая и кофейная кислоты, 3-О-кофеилхинная и 5-О-кофеилхинная кислоты; флавоноиды в гликозидированной и свободной формах, преимущественно являющиеся производными кемпферола [8, 9].

В рамках данного экспериментального исследования было использовано растительное сырье, заготовленное в Даутском ущелье Карачаево-Черкесской Республики. Значительно разнообразный химический состав кипрея узколистного в сочетании с его широким спектром фармакологического действия позволяет выдвинуть предположение о том, что кипрей узколистный может служить перспективным растительным сырьевым источником для разработки лекарственных средств различной фармакологической направленности, включая таковые с антимикробной активностью [10].

Цель исследования – фитохимическое изучение биологически активных веществ травы кипрея узколистного, их качественное и количественное определение и установление микробиологической активности.

Материалы и методы исследования

Качественный и количественный анализ БАВ осуществляли в соответствии с методологическими подходами, изложенными в Государственной фармакопее Российской Федерации XV издания [11, 12]. Содержание флавоноидов определялось с использованием спектрофотометрического метода, основанного на реакции с хлоридом алюминия, а измерения проводились с помощью спектрофотометра СФ-2000. Взаимодействие флавоноидов с этим соединением приводит к образованию комплексов, что вызывает bathochrome смещение полосы поглощения в ультрафиолетовой области спектра. Это смещение фиксируется как максимум абсорбции в диапазоне 380–420 нм, что позволяет избежать влияния других интерферентных веществ. Для количественного определения дубильных веществ применялся перманганатометрический метод. Согласно данному методу процентное содержание дубильных веществ, приведенное к абсолютно сухому сырью, вычисляется по формуле, в которой учитываются объем раствора перманганата калия, использованный для титрования образца, объем раствора, затраченный в контрольном эксперименте, количество

дубильных веществ, соответствующее 1 мл перманганата калия, масса пробного сырья и его влажность.

В исследовании были задействованы следующие клинические изоляты (штаммы) микроорганизмов: *Escherichia coli* 19, *Enterococcus faecalis*, *Pseudomonas aeruginosa* 22, *Staphylococcus aureus* 31, *Candida albicans* SG, *Candida tropicalis*. Указанные тест-культуры микроорганизмов были предоставлены сотрудниками лаборатории микробиологии ФГБУ «Научно-исследовательский институт по изучению лепры» Министерства здравоохранения Российской Федерации (г. Астрахань). Для культивирования микроорганизмов применяли коммерчески доступные наборы реагентов (питательные среды): мясопептонный бульон, агар Гивенталия – Ведыминой (АГВ), используемый для оценки антибактериальной активности методом диффузии в агар, и среда Сабуро (производства ООО «Научно-исследовательский центр фармакотерапии», г. Санкт-Петербург, Россия). Приготовление инокулята тест-штаммов проводили из суточной культуры, выращенной в мясопептонном бульоне. Полученные микробные культуры подвергали центрифугированию, отмывке клеток физиологическим раствором и последующему удалению надосадочной жидкости. Из осажденных клеток готовили суспензию, стандартизованную до оптической плотности, соответствующей 0,5 ед. по стандарту мутности McFarland. Далее, чашки Петри, содержащие по 20 мл соответствующей питательной среды (АГВ для бактериальных культур или среда Сабуро для дрожжеподобных грибов), инокулировали сплошным газоном с использованием стерильного тампона, пропитанного стандартизованной суспензией тест-культуры. После 30-минутной подсушки в термостате, в агаре чашек Петри стерильным сверлом (6 мм) формировали лунки, расположенные на расстоянии 2,5 см от центра и равномерно распределенные. В каждую лунку вносили 0,05 мл исследуемого образца. Инкубацию проводили в термостате при 37 °С в течение 18–24 ч. По завершении инкубационного периода проводили измерение диаметров зон ингибирования роста микроорганизмов вокруг исследуемых объектов (лунок), включая диаметр самой лунки. Каждый эксперимент по оценке антимикробной активности выполняли не менее чем в шести повторностях [13]. В качестве препарата сравнения (положительного контроля) использовали водное извлечение из листьев шалфея лекарственного (ООО «ПКФ Фи-

тофарм», Россия). Статистический анализ полученных экспериментальных данных выполняли с применением программного пакета BioStat-2009.

Результаты исследования и их обсуждение

В ходе исследования было выполнено качественное и количественное определение содержания дубильных веществ и флавоноидов, а также их идентификация с использованием хроматографических методов [14, 15]. По результатам проведенного анализа присутствие флавоноидов было подтверждено посредством качественных реакций, в частности цианидиновой пробы. Для обнаружения дубильных веществ применяли реакцию с раствором железом-аммонийных квасцов, в ходе которой наблюдалось формирование черно-синего окрашивания. Спектрофотометрический метод был использован для количественного определения флавоноидов. На полученном спектре четко визуализируется максимум светопоглощения при длине волны 420 нм, что является свидетельством присутствия рутина в исследуемом растительном сырье.

Полученный экстракт фильтровали с помощью бумаги, выбрасывая первые 10 мл фильтрата, который обозначался как раствор А. Затем 2 мл раствора А переносили в мерную колбу и добавляли 2 мл 2%-ного раствора хлорида алюминия, приготовленного на 70%-ном этаноле, и 0,1 мл разбавленной уксусной кислоты. Объем раствора доводили до калибровочной метки 70%-ным этанолом и оставляли на 30 мин для развития окраски, получив раствор Б. Оптическую плотность раствора Б измеряли с помощью спектрофотометра при длине волны 420 нм, используя кювету с оптическим путем 10 мм. В качестве сравнения (бланка) использовали исходный экстракт (раствор А) без добавления хлорида алюминия. Содержание флавоноидов вычисляли в пересчете на рутин, учитывая массу исходного сырья и потери при сушке. Для определения содержания дубильных веществ использовали перманганатометрический метод, следуя фармакопейной инструкции [11]. Около 2 г измельченного растительного материала (прошедшего через сито с ячейками 3 мм) точно взвешивали и помещали в коническую колбу объемом 500 мл. Затем в колбу добавляли 250 мл кипящей воды и экстрагировали в течение 30 мин, используя обратный холодильник для предотвращения испарения. Во время экстракции смесь периодически перемешивали.

Изучение противобактериальной и противогрибковой активности
водного извлечения травы кипрея узколистного

Тест-культуры	Размеры зоны задержки роста по диаметру, мм	
	Водное извлечение из травы кипрея узколистного	Водное извлечение из листьев шалфея лекарственного
<i>Candida albicans</i> SG	15,2±0,98	8,2±0,01
<i>Candida tropicalis</i>	8,1±0,01	8,1±0,02
<i>Escherichia coli</i> 19	23,2±1,36	20,4±0,89
<i>Enterococcus faecalis</i>	21,6±1,57	8,4±0,02
<i>Pseudomonas aeruginosa</i> 22	15,6±0,89	14,8±0,47
<i>Staphylococcus aureus</i> 31	17,2±0,38	8,0±0,02

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

После охлаждения до комнатной температуры полученный экстракт фильтровали через вату, чтобы удалить твердые частицы, и собирали фильтрат в мерную колбу объемом 250 мл. Колбу доводили до метки дистиллированной водой, тщательно перемешивая для получения однородного раствора.

Для анализа 25 мл полученного водного экстракта переносили в коническую колбу объемом 1000 мл, добавляли 500 мл воды и 25 мл раствора индигосульфокислоты. Этот раствор титровали 0,02 М раствором перманганата калия до появления устойчивого золотисто-желтого оттенка, постоянно перемешивая.

Одновременно проводили контрольный опыт: в другую коническую колбу объемом 1000 мл помещали 525 мл воды и 25 мл раствора индигосульфокислоты и также титровали 0,02 М раствором перманганата калия до аналогичного золотисто-желтого цвета.

Один миллилитр 0,02 М раствора калия перманганата равен 0,004157 г дубильных веществ, пересчитанных на танин.

По результатам выполненных исследований в растительном сырье кипрея узколистного было установлено содержание дубильных веществ на уровне 14,32% и флавоноидов – 0,89%.

Оценка результатов антибактериальной активности производилась путем измерения диаметра зон ингибирования роста микроорганизмов вокруг лунки, причем в измерение включался и диаметр самой лунки. Измерения зон проводили с использованием миллиметровой бумаги. В случаях, когда зоны угнетения роста имели эллиптическую форму, измеряли как максимальный, так и минимальный диаметры зоны, после чего вычисляли среднее арифметическое значение, которое и принималось в качестве итогового показателя.

Отсутствие зон задержки роста микроорганизмов вокруг лунки с исследуемым препаратом интерпретировалось как нечувствительность данной тест-культуры к препарату. Наличие зон ингибирования роста с диаметром более 10 мм указывало на чувствительность испытуемой культуры к данному препарату. При этом чем больше размер зоны задержки роста тест-культуры, тем выше ее чувствительность к исследуемому извлечению.

Результаты определения антимикробной активности представлены в таблице.

При оценке действия на исследуемые тест-культуры водное извлечение, полученное из травы кипрея узколистного, продемонстрировало значительный уровень антимикробной активности в отношении *Escherichia coli* 19, *Enterococcus faecalis*, *Staphylococcus aureus* 31, *Candida albicans* SG и *Pseudomonas aeruginosa* 22. Исключение составила культура *Candida tropicalis*, для которой активность была менее выражена. Препарат сравнения (водное извлечение из листьев шалфея лекарственного) проявил низкую активность по отношению к большинству исследуемых микроорганизмов. Антибактериальное действие для данного препарата сравнения было зафиксировано только в отношении *Escherichia coli* 19 и *Pseudomonas aeruginosa* 22, где зона задержки роста микроорганизмов соответственно была 20,4 мм и в отношении *Pseudomonas aeruginosa* 22–14,8 мм.

Заключение

В ходе выполненной работы были проведены качественные реакции, позволившие идентифицировать основные группы биологически активных соединений: флавоноиды и дубильные вещества. Полученные результаты могут быть использованы для целей диагностики (аутифици-

кации) данного вида растительного сырья. Также было осуществлено количественное определение содержания указанных групп веществ. Для водного извлечения, приготовленного из травы кипрея узколистного, была установлена антимикробная активность. Эта активность была сопоставима с действием референтного водного извлечения из листьев шалфея лекарственного, а в отношении культур *Escherichia coli* 19 и *Pseudomonas aeruginosa* 22 даже превосходила его.

Список литературы

1. Бушуева Г.Р., Сыроешкин А.В., Максимова Т.В., Скальный А.В. Кипрей узколистный – перспективный источник биологически активных соединений // Микроэлементы в медицине. 2016. № 17 (2). С. 15–23. URL: [https://journal.microelements.ru/uploads/2016_2/15_17\(2\)_2016.pdf](https://journal.microelements.ru/uploads/2016_2/15_17(2)_2016.pdf) (дата обращения: 14.07.2025). DOI: 10.19112/2413-6174-2016-17-2-15-23.
2. Кукина Т.П., Фролова Т.С., Сальникова О.И. Липофильные кислоты иван-чая узколистного // Химия растительного сырья. 2014. № 1. С. 139–146. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/lipofilnye-kisloty-ivan-chaya-uzkolistnogo> (дата обращения: 22.07.2025).
3. Государственная фармакопея РФ XIV издания. Минздрав РФ. М., 2018. [Электронный ресурс]. URL: <http://femb.ru/femb/pharmacopea.php> (дата обращения: 30.07.2025).
4. Bartfay W.J., Bartfay E., Johnson J.G. Gram-negative and grampositive antibacterial properties of the whole plant extract of willow herb (*Epilobium angustifolium*) // Biol. Res. Nurs. 2012. Jan. 14 (1). С. 85–89. URL: <https://www.scrip.org/reference/ReferencesPapers?ReferenceID=2318724> (дата обращения: 28.07.2025). DOI: 10.1177/1099800410393947.
5. Савоськина О.А. Почвозащитные приемы обработки – важнейший резерв снижения потерь биофильных элементов на эрозивноопасных землях // Агрохимический вестник. 2011. № 1. С. 19–23. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/pochvozaschitnye-priemy-obrabotki-vazhneyshiy-rezerv-snizheniya-poter-biofilnyh-elementov-na-erozivnoopasnyh-zemlyah> (дата обращения: 22.07.2025). EDN: NDXUMN.
6. Набатников С.А., Мартиросян Л.Ю. Некоторые аспекты использования кипрея узколистного (*Chamaenerion angustifolium*) // Аграрная наука. 2022. № 12. С. 130–134. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/nekotorye-aspekty-kultivirovaniya-kipreya-uzkolistnogo-chamerion-angustifolium-l-holub-onagraceae> (дата обращения: 23.07.2025). DOI: 10.32634/0869-8155-2022-365-12-130-134.
7. Кароматов И.Д., Тураева Н.И. Кипрей узколистный (Иван-чай) // Биология и интегративная медицина. 2016. № 6. С. 160–169. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/kiprey-uzkolistny-ivan-chay?ysclid=mdrv9xt8vs994489339> (дата обращения: 28.07.2025).
8. Горбунова Е.В., Горбунов Р.В. Перспективное направление переработки кипрея узколистного, как источника биологически активных веществ // Известия сельскохозяйственной науки Тавриды. 2016. № 5 (168). С. 85–90. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/perspektivnoe-napravlenie-pererabotki-kipreya-uzkolistnogo-kak-istochnika-biologicheskii-aktivnyh-veschestv> (дата обращения: 23.07.2025).
9. Самбукова Т.В., Овчинников Б.В., Ятманов А.Н., Шабанов П.Д. Фитопрепараты в регуляции дезадаптационных нарушений у практически здорового человека // Обзоры по клинической фармакологии и лекарственной терапии. 2017. Т. 15. № 4. С. 24–29. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/fitopreparaty-v-regulyatsii-dezadaptatsionnyh-narusheniy-u-prakticheski-zdorovogo-cheloveka> (дата обращения: 28.07.2025). DOI: 10.17816/RCF15424-29.
10. Попов И.В., Козлова В.В., Попова О.И., Конавалов Д.А. Исследования по формированию модели и методического обеспечения оценки качества фармацевтических услуг в фитотерапии на курортах Кавказских Минеральных Вод // Фармация и фармакология. 2015. № 2 (9). С. 67–71. URL: <https://www.pharmpharm.ru/jour/article/view/115> (дата обращения: 25.07.2025). DOI: 10.19163/2307-9266-2015-3-2(9)-67-71.
11. Трухачев В.И. Об итогах международной научной конференции «Агроботехнология-2021» // Известия Тимирязевской сельскохозяйственной академии. 2021. № 5. С. 5–18. URL: <https://izvestiya.timacad.ru/jour/article/view/224> (дата обращения: 28.07.2025). DOI: 10.26897/0021-342X-2021-5-5-18.
12. Попова О.И., Никитина А.С., Азрякова Е.А. Количественное определение суммы флавоноидов в траве шалфея мучнистого (*Salvia Farinacea* Benth.) // Фармация и фармакология. 2016. Т. 4. № 1 (14). С. 55–65. URL: <https://www.pharmpharm.ru/jour/article/view/188/304> (дата обращения: 24.07.2025). DOI: 10.19163/2307-9266-2016-4-1(14)-55-65 (6).
13. Царев В.Н., Базарнова Н.Г., Дубенский М.М. Кипрей узколистный (*Chamaenerion angustifolium* L.): химический состав, биологическая активность (Обзор) // Химия растительного сырья. 2016. № 4. С. 15–26. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/kiprey-uzkolistnyy-chamerion-angustifolium-l-himicheskii-sostav-biologicheskaya-aktivnost-obzor> (дата обращения: 28.07.2025). DOI: 10.14258/jcpm.2016041549.
14. Суржик М.М., Зориков П.С. Кипрей узколистный (*Chamaenerion angustifolium* (L.) Scop.) в Приморском крае // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. 2018. № 11–1. С. 119–123. URL: <https://applied-research.ru/ru/article/view?id=12461> (дата обращения: 05.07.2025). DOI: 10.17513/mjpf.12461.
15. ОФС.1.5.3.0008. Общая фармакопейная статья. Определение содержания дубильных веществ в лекарственном растительном сырье и лекарственных средствах растительного происхождения (утв. и введена в действие Приказом Минздрава России от 20.07.2023 № 377) (Государственная фармакопея Российской Федерации. XV издание) [Электронный ресурс] URL: <https://minzdrav.gov.ru/ministry/61/10/gosudarstvennaya-farmakopeya-rossiyskoj-federatsii-xv-izdaniya> (дата обращения: 25.07.2025).

УДК 582.28(575.151)

НОВЫЕ СВЕДЕНИЯ О ВИДАХ РОДА *CYTOSPORA* В УЗБЕКИСТАНЕ

¹Мардонов Ш.У., ¹Маллаев М.Х., ²Турабоев М.Б., ²Мустафаев И.М.

¹Денауский институт предпринимательства и педагогики, Денау;

²Ташкентский ботанический сад имени Ф.Н. Русанова при Институте ботаники Академии наук Республики Узбекистан, Ташкент, e-mail: elyor-mustafayev@inbox.ru

В настоящем исследовании представлены результаты изучения таксономического разнообразия грибов рода *Cytospora*, выявленных на территории Узбекистана. На основе анализа опубликованных научных источников, а также собственных полевых и лабораторных исследований авторов установлено присутствие 26 видов *Cytospora*, поражающих более 40 видов растений-хозяев, относящихся к 26 различным родам. Два вида, *Cytospora terebinthi* и *Cytospora acericola*, впервые зарегистрированы как новые для микобиоты Узбекистана. В рамках исследования использовались классические микологические методы: макро- и микроскопический анализ, морфологическое описание плодовых тел и спор, а также сопоставление полученных данных с международными базами данных (Mycobank и POWO). Полевые исследования проводились в различных эколого-географических зонах, включая горные районы хребтов Нурота, Боботог, Кугитанг, а также на территории Ташкентского ботанического сада. Полученные результаты свидетельствуют о высоком видовом разнообразии патогенных пикнидиальных грибов рода *Cytospora* в республике и подчеркивают их значимость с экономической и экологической точек зрения. В перспективе рекомендуется продолжить исследования с использованием молекулярно-генетических методов для более глубокого понимания экологии и систематики этих грибов в условиях Узбекистана.

Ключевые слова: Ascomycota, Sordariomycetes, Diaporthales, Valsaceae, конидиомата, конидия, растения-хозяева

NEW DATA ON SPECIES OF THE GENUS *CYTOSPORA* IN UZBEKISTAN

¹Mardonov Sh.U., ¹Mallaev M.Kh., ²Turaboev M.B., ²Mustafaev I.M.

¹Denau Institute of Entrepreneurship and pedagogy, Denau;

²Tashkent Botanical Garden named after F.N. Rusanov at the Institute of Botany of the Academy of Sciences of the Republic of Uzbekistan, Tashkent, e-mail: elyor-mustafayev@inbox.ru

This study presents the results of an investigation into the taxonomic diversity of fungi of the genus *Cytospora* identified in the territory of Uzbekistan. Based on the analysis of published scientific sources, as well as the authors' own field and laboratory research, the presence of 26 *Cytospora* species has been confirmed. These fungi affect more than 40 species of host plants belonging to 26 different genera. Two species – *Cytospora terebinthi* and *Cytospora acericola* – have been recorded for the first time as new to the mycobiota of Uzbekistan. The study employed classical mycological methods, including macro- and microscopic analyses, morphological description of fruiting bodies and spores, and comparison of the obtained data with international databases (Mycobank and POWO). Field research was conducted in various ecological and geographical zones, including the mountainous regions of the Nurata, Bobotog, and Kugitang ranges, as well as the territory of the Tashkent Botanical Garden. The results demonstrate a high species diversity of pathogenic pycnidial fungi of the genus *Cytospora* in the country and highlight their economic and ecological significance. Future research is recommended to include molecular genetic methods for a deeper understanding of the ecology and systematics of these fungi under the conditions of Uzbekistan.

Keyword: Ascomycota, Sordariomycetes, Diaporthales, Valsaceae, conidiomata, conidium, host plants

Введение

Цитоспора (*Cytospora*) – род грибов, относящийся к отделу Ascomycota, классу Sordariomycetes, порядку Diaporthales и семейству Valsaceae. Представители этого рода являются широко распространенными патогенами, вызывающими заболевания типа рака (канкера) и усыхания ветвей более чем у 100 видов лиственных и хвойных растений [1, с. 1–45; 2, с. 521–547; 3, с. 49–60]. Они считаются патогенами, наносящими значительный экономический и экологический ущерб по всему миру. Род *Cytospora* был впервые описан Эренбер-

гом (Ehrenberg) в 1818 г. В бесполой стадии грибы этого рода характеризуются наличием одиночных или лабиринтовидных пикнидиевых камер, нитевидных конидиофоров (с энтеробластическими и фиалидными конидиогенными клетками), которые продуцируют гиалиновые, аллантоидные (изогнутые, бобовидные) конидии. В половой стадии развиваются перитеции, характерные для порядка Diaporthales, удлиненные булавовидные аски с четырьмя или восемью гиалиновыми, аллантоидными аскоспорами. Во влажных условиях конидии выделяются из пикнидиев в виде

желтых, темно-желтых или красноватых желатинозных струек [4].

По данным Index Fungorum, род *Cytospora* включает более 615 видов [5]. Ранее идентификация видов рода *Cytospora* была затруднена из-за морфологического сходства между ними. Многие виды описывались исключительно на основе растений-хозяев, при этом морфологические характеристики зачастую были неполными. Так, Адамс и соавт. (2005) на основе генетического анализа ITS выявили 28 видов *Cytospora* на растениях рода *Eucalyptus*, 11 из которых оказались новыми для науки. В 2006 г. аналогичным методом было описано еще 14 новых видов из Южной Африки [2, с. 521–548; 4].

До 1950-х гг. сведения о пикнидиальных грибах на территории Узбекистана были крайне ограниченными. Лишь в 1950 г. в результате исследований, проведенных П.Н. Головиным в горных районах Средней Азии, было впервые зафиксировано 15 видов пикнидиальных грибов, отмеченных для Узбекистана. С 1953 г. начался активный этап микологических исследований, осуществляемых Н.И. Гапоненко, Г. Баймуратовой, Ф.Г. Ахмедовой, Г. Башировой, Х.М. Киргизбаевой, М.Ш. Сагдуллаевой и другими учеными. В ходе этих исследований был накоплен значительный фактический материал по пикнидиальным грибам. Кульминацией многолетних трудов отечественных микологов стало издание в 1997 г. фундаментальной монографии «Флора грибов Узбекистана», в которой, в частности, приведены сведения о 19 видах рода *Cytospora*, обнаруженных на территории республики [6, с. 80–88].

Основной целью данного исследования является изучение и анализ современного видового разнообразия грибов рода *Cytospora*, распространенных на территории Узбекистана, а также их растений-хозяев.

Материалы и методы исследования

Объектами настоящего исследования выступали представители рода *Cytospora* и их растения-хозяева. Работа основывалась как на анализе ранее проведенных микологических исследований на территории Узбекистана, так и на оригинальных полевых данных, собранных авторами. Для получения достоверной информации о видовой принадлежности грибов рода *Cytospora* и об их распространении были проанализированы научные публикации и справочные источники, вышедшие в свет за последние 30 лет. Особое внимание было уделено литературным источникам, отражающим сведения о микобиоте Узбекистана, включая данные, полученные

в ходе исследований, проведенных в 2022–2025 гг. Полевые микологические исследования были проведены авторами в различных эколого-географических зонах: в горных хребтах Нурота, Бабатау и Кугитанг, а также на территории Ташкентского ботанического сада. В ходе экспедиций осуществлялся сбор образцов пораженных растений-хозяев, на которых визуально фиксировались признаки инфекции, вызванной патогенами рода *Cytospora*.

Для идентификации видов *Cytospora* использовались классические микологические методы, включая макро- и микроскопический анализ морфологических признаков плодовых тел гриба, структуры спороносных органов, формы и размеров спор. Также применялись определители и руководства, принятые в международной и региональной практике микологических исследований [2, с. 542; 6, с. 80–88; 7, с. 325–399]. Собранные образцы были обработаны в лабораторных условиях, где проводились препарирование, микроскопирование и фотодокументация диагностических признаков. Все данные были сопоставлены с литературными описаниями для уточнения видовой принадлежности. Таким образом, сочетание анализа литературных источников с результатами собственных полевых и лабораторных исследований позволило получить комплексное представление о разнообразии видов *Cytospora* на территории Узбекистана и их связи с определенными растениями-хозяевами. Современные названия видов грибов рода *Cytospora* приведены в соответствии с Международной базой данных по микологии – MycoBank [8], а наименования растений-хозяев – согласно базе данных Plants of the World Online (POWO) [9].

Результаты исследования и их обсуждение

По результатам анализа научных источников, посвященных микологическим исследованиям, проведенным в Узбекистане, а также результатам полевых наблюдений самих авторов, на сегодняшний день на территории республики зарегистрировано 26 видов, относящихся к роду *Cytospora*. Ниже приведены краткие сведения о видовом составе этих грибов, их растениях-хозяевах, а также территориях, где они были выявлены.

1. *Cytospora pinastri* Fr. На *Pinus* sp. – Самаркандская обл., Аманкутан, 15.10.1957 [6, с. 82].

2. *Cytospora aurora* Mont.

На ветвях *Salix olgae* Regel – Ташкентская обл., Ахангаранский район, Аблык,

высокие адыры, 29.08.1953; Абиязсай, 02.06.1954; на *Salix* sp., Бухарская обл., Кызылкумская станция Института ботаники АН РУз, 20.04.1964 [6, с. 82].

3. *Cytospora translucens* Sacc.

На *Salix* sp., Ферганская обл., тугай, лесхоз г. Коканда, 28.02.1949 [6, с. 82].

4. *Cytospora salicis* (Corda) Rabenh.

На *Salix songarica* Andersson., Бухарская обл., «Пахтаабад», 29.05.1957 [6, с. 83].

5. *Cytospora chrysosperma* (Pers.) Fr.

На *Populus euphratica* Olivier – Ташкентская обл., Уртасарай, 06.07.1954; на *Populus nigra* (L.), Ангрен, 20.07.1953; на *Populus italica* (Dukoi) Moench., Среднечирчикский район, 28.05.1953 [6, с. 83]; на *Populus alba* (L.), Зааминский национальный природный парк, 07.06.2021.

6. *Cytospora juglandina* Sacc. На *Juglans regia* (L.), Самаркандская обл., Ургутский район, Аманкутан, 22.04.1957, Ташкентская обл., Ангрен, Паркентский район, Аблык, 07.06.1957 [6, с. 83].

7. *Cytospora horrida* Sacc.

На *Betula pendula* subsp. *pendula*, Ташкентская обл., Бостанлыкский район, долина Майданталсая, правый берег, горы, 25.07.1955 [6, с. 84].

8. *Cytospora elaeagni* Allesch.

На *Elaeagnus triflora* var. *triflora*., Каракалпакистан, тугай, 23.07.1951; на *E. songarica* (Bern ex Schlecht.) Schlecht., Ташкентская обл., Ангрен, Пскентский район, Сараймардан, 26.04.1954; на *E. orientalis* (L.), Ташкентская обл., Пскентский район, 55 км от Пскента, равнина, 22.04.1954 [6, с. 82].

9. *Cytospora hippophaës* Thüm.

На *Hippophae rhamnoides* (L.), Самарканд, Аманкутан, 04.1957 [6, с. 85].

10. *Cytospora cydoniae* Schulzer

На *Elaeagnus angustifolia* (L.) Ташкентская обл., Пскент, 28.04.1954 [6, с. 85].

11. *Cytospora schulzeri* Sacc.

На *Malus domestica* (Suckow) Borkh., Ташкентская обл., Паркентский район, Аблык, 7.05.1954; на *Pyrus regelii* Rehder, Нуратинский заповедник, урочище Бешбармак, 15.07.2010 [10].

12. *Cytospora rubescens* Fr.

На *Prunus armeniaca* (L.), Ташкентская обл., Паркентский район, Сукок, 26.06.1954; на *Prunus persica* (L.) Batsch., Ташкентская обл., Ангрен, 26.06.1954 [6, с. 85].

13. *Cytospora carphosperma* Fr.

На *Malus domestica* (Suckow) Borkh., Ташкентская обл., Ахангаранский район, 17.09.1954 [7]; на *Malus* sp., Нуратинский заповедник, Хаятсай, 27.07.2017 [6, с. 82].

14. *Cytospora ceratophora* (Tul. & C. Tul.) Sacc.

На *Prunus amygdalus* Batsch. Ташкентская обл., Паркентский район, Сукок, 03.07.1954 [6, с. 85]; на *Prunus bucharica* (Korsh.) Hand.-Mazz. Сурхандарьинская обл., Сурханский заповедник, Боглидара, 25.04.2025, Боботагский Национальный природный парк, 28.04.2025.

15. *Cytospora microspora* (Desm.) Rabenh.

На *Sorbus tianschanica* Rupr. Ташкентская обл., Паркентский район, Башкызылсай, 01.09.1950; на *Hedlundia persica* (Hedl.) Mezhenzskij, Нуратинский заповедник, урочище Бешбармак, 15.07.2010 [10].

16. *Cytospora leucostoma* (Pers.) Sacc.

На *Prunus armeniaca* (L.), Ташкентская обл., Паркентский район, Сукок, 26.06.1954, Самарканд, пос. Зарафшан, 20.06.1957; на *Prunus avium* (L.), Ташкентская обл., Паркентский район, Сукок, 2.07.1954; на *Prunus persica* (L.) Batsch., Ташкентская обл., Сукок, 26.06.1954, Самарканд, Джамбайский район, 30.05.1956; на *Planera aquatica* J.F. Gmel., Самаркандская обл., Аманкутан, Булбулсай, 15.10.1957 [6, с. 87]; на *Ulmus androssowii* Litw., Наманганский обл., Учкурганский район, 28.06.2001; на *Prunus mahaleb* (L.), на *Acer tataricum* subsp. *semenovii* (Regel & Herder) A.E. Murray, на *Crataegus turkestanica* Pojark, на *Spiraea hypericifolia* (L.), Папский район, 25.11.2000, 30.06.2000 [11].

17. *Cytospora prunorum* Sacc. & P. Syd.

На *Prunus armeniaca* (L.), Бухарская обл., «Пахтаабад», 29.05.1957, 26.06.1958; на *Prunus persica* (L.) Batsch, Бухарская обл., «Пахтаабад», 29.05.1957 [6, с. 87].

На *Prunus domestica* (L.), *Prunus mahaleb* (L.), овсеместно, в бассейне р. Ангрен, Ташкентская обл., 06.08.10, 1954–1955 [6, с. 87].

18. *Cytospora ceratosperma* (Tode) G. C.

На *Rosa* sp., Ташкентская обл., Паркентский район, Башкызылсай, 23.08.1954, Ахангаранский район, Абиязсай, 5.10.1954, долина р. Ангрен, верховье Тераклиясы, 22.07.1954, Средне-Чирчикский район, низкие адыры, 13.05.1954 [6, с. 87].

19. *Cytospora terebinthi* Bres.

На *Pistacia vera* (L.) В хребтах Нурота и Боботог, а также в крупных искусственно созданных фисташковых насаждениях Самаркандской и Джизакской областей были выявлены симптомы цитоспориоза. На основании морфологических и микроскопических анализов было установлено, что возбудителем болезни является *Cytospora terebinthi*. Данный грибок вызывает образование язв на молодых побегах, что в дальнейшем приводит к их усыханию (рис. 1).



Рис. 1. Ветви фисташки, пораженные *Cytospora terebinthi*
Источник: составлено авторами по результатам данного исследования

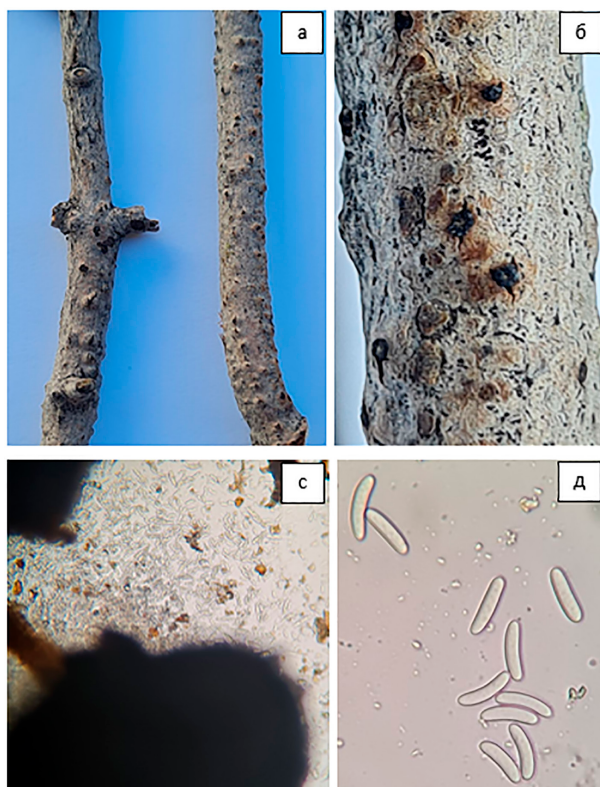


Рис. 2. *Cytospora acericola*: а – общий вид пораженных ветвей, б – конидиоматы, с – споры, выходящие из конидиомата, д – конидии

20. *Cytospora acericola* X.L. Fan, C.M. Tian
На *Acer pentapomicum* J.L. Stewart,
в Сурханском государственном заповеднике,
Национальном природном парке Бабатаг
и Нуратинском хребте.

Конидиомат группами, расположены
рассеянно или плотно, погруженные в кору,
прорываются через ее поверхность, диско-
видные, с несколькими локулами. Конидии
гиалиновые, аллантаидные, тонкостенные,
без капель масла, неразделенные (асеп-
тированные), гладкие, размером 2,5–4×1–
1,5 мкм (рис. 2).

21. *Cytospora sophorae* Bres.

На *Styphnolobium japonicum* (L.) Schott.
г. Карши, 08.03.2017, Ташкентский ботани-
ческий сад, 24.03.2025.

22. *Cytospora ulmi* Norphanphoun

На *Ulmus pumila* (L.), г. Карши,
02.07.2017, Шахрисабз, 09.06.2016 [12].

23. *Cytospora cercidicola* Henn.

На *Cercis canadensis* (L.) г. Карши,
21.05.2017 [12].

24. *Cytospora fraxini* Delacr.

На *Fraxinus sogdiana* Bge. Г. Карши,
23.11.2017; на *Fraxinus excelsior* (L.), г.
Шахрисабз, 08.07.2017 [12].

25. *Cytospora punicae* Sacc.

На *Punica granatum* (L.), Наманганский
обл., Туракуртанский район, Куймазар,
06.08.2000 [11].

26. *Cytospora eurtiae* Kravtzev

На *Ceratocarpus arenarius* (L.), Бу-
харская обл., в 5 км к северу от Шоркуля,
25.10.1956 [6, с. 87].

Заключение

В результате анализа имеющихся на-
учных библиографических источников,
а также на основе собственных полевых ис-
следований на сегодняшний день на терри-
тории Узбекистана зафиксировано распро-
странение 26 видов, относящихся к роду
Cytospora. Из них два вида, *Cytospora*
terebinthi и *Cytospora acericola*, были впер-
вые выявлены как новые для микобиоты
Узбекистана. При анализе видового состава
Cytospora в зависимости от хозяев-расте-
ний установлено, что представители этого
рода проявляют патогенность на 40 видах
растений-хозяев, относящихся к 26 раз-
личным родам, включая хозяйственно важ-
ные плодовые и древесные культуры. Это
свидетельствует о потенциальной угрозе,
которую данные фитопатогены могут пред-
ставлять для сельского хозяйства и зеленого
строительства региона.

Следует отметить, что в дальнейших
исследованиях рекомендуется продолжить

изучение рода *Cytospora* на более глубоком,
в том числе молекулярно-генетическом,
уровне. Это позволит не только уточнить
таксономическое положение изучаемых ви-
дов и выявить скрытое видовое разнообра-
зие, но и более точно оценить их фитопато-
генный потенциал и влияние на агроэкоси-
стемы Узбекистана.

Авторы статьи выражают благо-
дарность руководству и сотрудникам
Нуратинского заповедника, Сурханского
государственного заповедника и Боботаг-
ского национального природного парка
за оказанную помощь в проведении поле-
вых исследований.

Список литературы

1. Fan X.L., Bezerra J.D.P., Tian C.M., Crous P.W. *Cyto-
spora* (Diaporthales) in China // Persoonia. 2020. Vol. 45.
P. 1–45. DOI: 10.3767/persoonia.2020.45.01.
2. Adams G.C., Roux J., Wingfield M.J. *Cytospora* species
(Ascomycota, Diaporthales, Valsaceae), introduced and native
pathogens of trees in South Africa // Australasian Plant Patholo-
gy. 2006. Vol. 35. P. 521–548. DOI: 10.1071/AP06058.
3. Zhu H.Y., Fan X.L., Tian C.M. Multigene phylogeny
and morphology reveal *Cytospora spiraeae* sp. nov. (Diapor-
thales, Ascomycota) in China // Phytotaxa. 2018. Vol. 338, No. 1.
P. 49–62. DOI: 10.11646/phytotaxa.338.1.4.
4. Pan M., Zhu H., Bonthond G., Tian C., Fan X. High
Diversity of *Cytospora* Associated with Canker and Dieback of
Rosaceae in China, With 10 New Species Described // Fron-
tiers in Plant Science. 2020. Vol. 11. Article 690. DOI: 10.3389/
fpls.2020.00690.
5. Index Fungorum. Names database. 2020. [Электронный
ресурс]. URL: [https://www.indexfungorum.org/names/names.
asp](https://www.indexfungorum.org/names/names.asp) (дата обращения: 02.07.2025).
6. Киргизбаева Х.М., Сагдуллаева М.Ш., Рамазанова С.С.,
Гулямова М.Г., Кучми Н.П., Азимходжаева М.Н., Салиева Я.С.
Флора грибов Узбекистана. Т. 8. Пикнидальные грибы. Ташкент:
Фан, 1997. 236 с. ISBN 5-648-01548-8.
7. Lin L., Fan X.L., Groenewald J.Z., Jami F., Wingfield M.J.,
Voglmaier H., Jaklitsch W., Castlebury L.A., Tian C.M., Crous
P.W. *Cytospora*: an important genus of canker pathogens // Stud-
ies in Mycology. 2024. Vol. 109. P. 323–401. DOI: 10.3114/
sim.2024.109.05.
8. MycoBank. Database. 2024. [Электронный ре-
сурс]. URL: <https://www.mycobank.org> (дата обращения:
02.07.2025).
9. Plants of the World Online (POWO). Database. 2025.
[Электронный ресурс]. URL: <https://powo.science.kew.org>
(дата обращения: 02.07.2025).
10. Мустафаев И.М. Микромитеты сосудистых расте-
ний Нуратинского заповедника: автореф. дис. ... канд. биол.
наук (PhD). Ташкент, 2018. 20 с. [Электронный ресурс]. URL:
<https://www.researchgate.net/publication/394710081> (дата об-
ращения: 02.07.2025).
11. Гаффаров Ю.Ш. Микромитеты сосудистых расте-
ний Наманганской области: автореф. дис. ... канд. биол.
наук. Ташкент, 2004. 21 с.
12. Шеркулова Ж.П. Микромитеты интродуциро-
ванных декоративных деревьев и кустарников в условиях
Кашкадарьинского оазиса: автореф. дис. ... канд. биол. наук
(PhD). Ташкент, 2018. 20 с. [Электронный ресурс]. URL:
<https://library.uzfi.uz/ebooks/view?id=6251> (дата обращения:
02.07.2025).

УДК 582.282.23

ВЫДЕЛЕНИЕ, ОЧИСТКА И ХАРАКТЕРИСТИКА БИОЛОГИЧЕСКИ АКТИВНОГО ПОЛИПЕПТИДА ИЗ СУХИХ ДРОЖЖЕЙ *SACCHAROMYCES CEREVISIAE* S288C

Набиева Ф.С.

Самаркандский государственный медицинский университет, Самарканд,
e-mail: nabievafarangiz294@gmail.com

В представленной работе была разработана и апробирована комплексная методика выделения и очистки биологически активного низкомолекулярного полипептида из сухих дрожжей штамма *Saccharomyces cerevisiae* S288C. В ходе исследований экспериментально установлены оптимальные параметры экстракции белковых соединений, включающие использование 0,2% раствора NaOH при температуре 37 °C, гидромодуль 1:5 и ультразвуковую обработку с частотой 34 кГц в течение 5 мин. Эти условия способствуют эффективному разрушению клеточной стенки и обеспечивают максимальный выход целевых белков. Методика очистки представляла собой многоступенчатую схему, включающую фракционирование сульфатом аммония, гель-фильтрацию на сефадексе G25 и последующую лиофильную сушку. Общий выход очищенной полипептидной фракции составил 5,7% от исходной сухой биомассы. Спектроскопическая и электрофоретическая характеристики подтверждают наличие типичных для биологически активных веществ функциональных групп и молекулярную массу в пределах 8–40 кДа. Анализ аминокислотного состава методом высокоэффективной жидкостной хроматографии выявил преобладание аргинина, глицина и гистидина, что указывает на потенциальную антиоксидантную, иммуномодулирующую и регуляторную активность выделенного препарата. Полученные результаты подтверждают перспективность использования дрожжевых полипептидов в фармацевтике, пищевой промышленности и биотехнологии.

Ключевые слова: *Saccharomyces cerevisiae* S288C, полипептиды, экстракция, спектрофотометрия, инфракрасная спектроскопия, аминокислотный анализ, высокоэффективная жидкостная хроматография, электрофорез

ISOLATION, PURIFICATION AND CHARACTERIZATION OF A BIOLOGICALLY ACTIVE POLYPEPTIDE FROM DRIED YEAST *SACCHAROMYCES CEREVISIAE* S288C

Nabieva F.S.

Samarkand State Medical University, Samarkand, e-mail: nabievafarangiz294@gmail.com

In this study, a comprehensive method was developed and tested for the extraction and purification of a biologically active low-molecular-weight polypeptide from dry yeast of the *Saccharomyces cerevisiae* S288C strain. Optimal parameters for protein extraction were experimentally determined, including the use of a 0.2% NaOH solution at 37 °C, a hydromodule of 1:5, and ultrasonic treatment at a frequency of 34 kHz for 5 minutes. These conditions ensured effective disruption of the cell wall and maximized the yield of target proteins. The purification method consisted of a multi-stage scheme, including ammonium sulfate fractionation, gel filtration on Sephadex G25, and subsequent lyophilization. The total yield of the purified polypeptide fraction was 5.7% of the initial dry biomass. Spectroscopic and electrophoretic analyses confirmed the presence of functional groups typical for biologically active substances and a molecular weight range of 8–40 kDa. Analysis of the amino acid composition by high-performance liquid chromatography revealed the predominance of arginine, glycine and histidine, which indicates the potential antioxidant, immunomodulatory and regulatory activity of the isolated drug. The results obtained confirm the promise of using yeast-derived polypeptides in pharmaceuticals, the food industry, and biotechnology.

Keywords: *Saccharomyces cerevisiae* S288C, polypeptides, extraction, spectrophotometry, amino acid analysis, infrared spectroscopy, high performance liquid chromatography, electrophoresis

Введение

В современных биотехнологических и фармакологических разработках наблюдается устойчивый интерес к использованию природных источников биоактивных веществ, обладающих низкой токсичностью, высокой биологической активностью и доступностью. Одним из перспективных объектов являются дрожжи *Saccharomyces cerevisiae*, которые, помимо своей традиционной роли в пищевой промышленности, рассматриваются как источник низкомоле-

кулярных полипептидов с потенциальными функциональными свойствами [1, 2].

Сухие дрожжи штамма S288C являются удобной моделью для получения полипептидных комплексов благодаря устойчивым культурологическим свойствам и генетической изученности [3]. На сегодняшний день недостаточно разработаны и стандартизированы методы получения целевых полипептидных фракций с высокой степенью чистоты и стабильным биохимическим профилем, что обуславливает актуальность настоящего исследования [4, 5].

Цель исследования – разработка и апробация оптимального метода выделения и очистки низкомолекулярных полипептидов из сухих дрожжей *S288C* с последующим анализом их аминокислотного состава и спектроскопических свойств для потенциального применения в биотехнологии и фармакологии.

Материалы и методы исследования

Объектом исследования являлись сухие дрожжи штамма *S288C*. Количественное определение белка проводилось спектрофотометрически с использованием реактива Несслера. Для экстракции использовали 0,2% раствор NaOH при оптимизированном гидромодуле (1:5) и температуре 37 °C с последующей ультразвуковой обработкой (34 кГц, 5 мин). Очистка экстрактов проводилась методом фракционирования сульфатом аммония (20 и 80%), гель-фильтрацией на сефадексе G25 и лиофильной сушкой. Характеризация полипептидов включала инфракрасную спектроскопию (ИК-спектральный анализ), электрофорез в 10% полиакриламидном геле (ПААГ) и аминокислотное секвенирование методом высокоэффективной жидкостной хроматографии (ВЭЖХ) с использованием хроматографа Agilent Technologies 1200.

Результаты исследования и их обсуждение

Определение содержания белка в исследуемых объектах проводили после предварительной минерализации пробы с серной кислотой с последующим определением белкового азота с реактивом Несслера. Для этого использовали прибор спектрофотометр, аналитические весы с точностью до 0,0001 г, фильтровальную бумагу, конические воронки, мерные колбы на 50 мл, натрий едкий, сегнетовую соль, реактив Несслера, дистиллированную воду, серную кислоту концентрированную, перекись водорода концентрированную. От подготовленных проб отбирали навески в термостойкие колбы, приливали концентрированную серную кислоту H_2SO_4 (ρ 1,84 г/см³) и разлагали на песчаной бане или плитке, избегая бурного кипения. Окончанием процесса минерализации являлось получение абсолютно прозрачного бесцветного раствора. В подготовленных пробах определяли содержание белка колориметрическим методом с реактивом Несслера при длине волны 400 нм на спектрофотометре V-5000 Metash. Полученные результаты при двукратной повторности эксперимента представлены в табл. 1.

Таблица 1

Результаты анализа количественного содержания белка

Объект исследования	Навеска, г	Аликвот, мл	400 нм	Белок, %	Азот, %
Дрожжи	0,287	0,2	0,578	44,8	7,16

Источник: составлено автором.

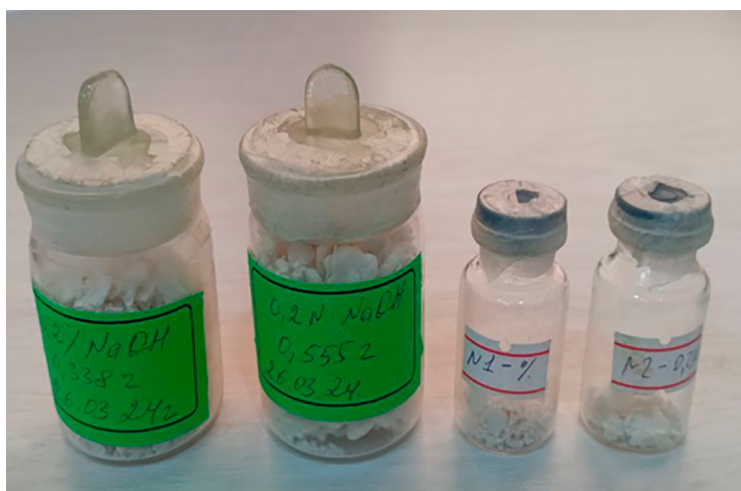


Рис. 1. Очищенные полипептиды штамма дрожжей *S288C*
Источник: составлено автором

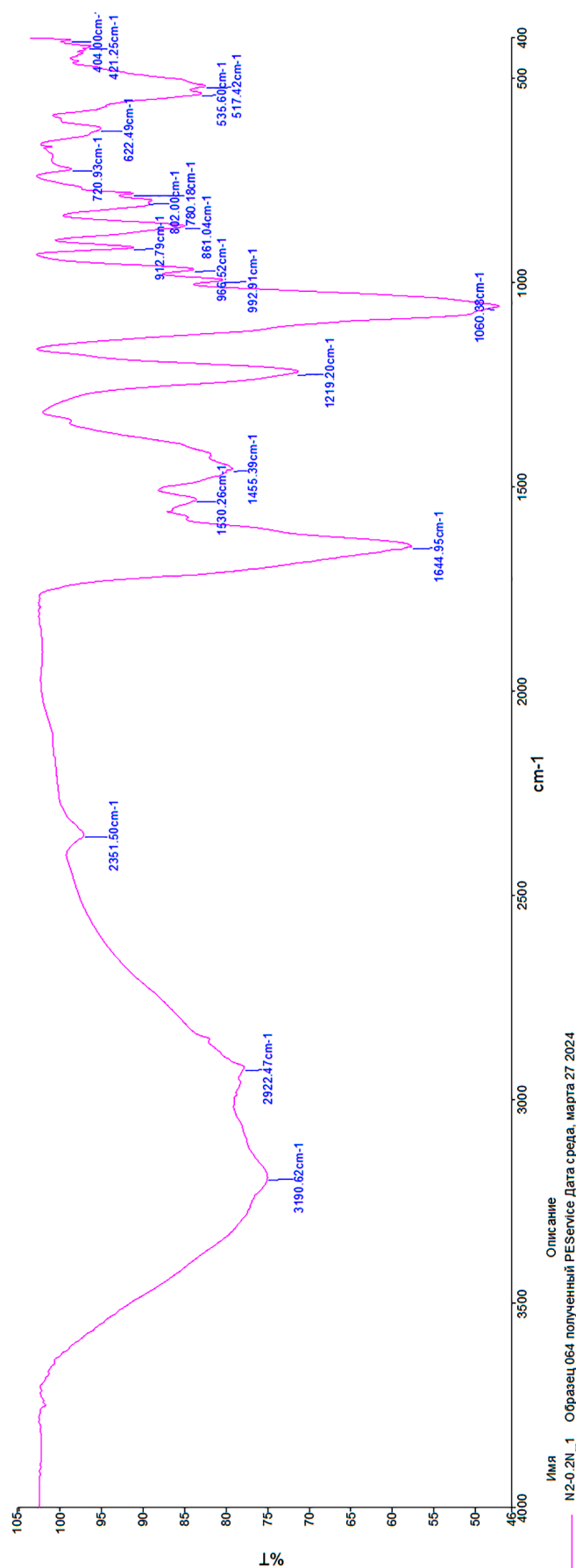


Рис. 2. Полипептид, полученный экстрагентом 0,2 N-ного NaOH
Источник: составлено автором

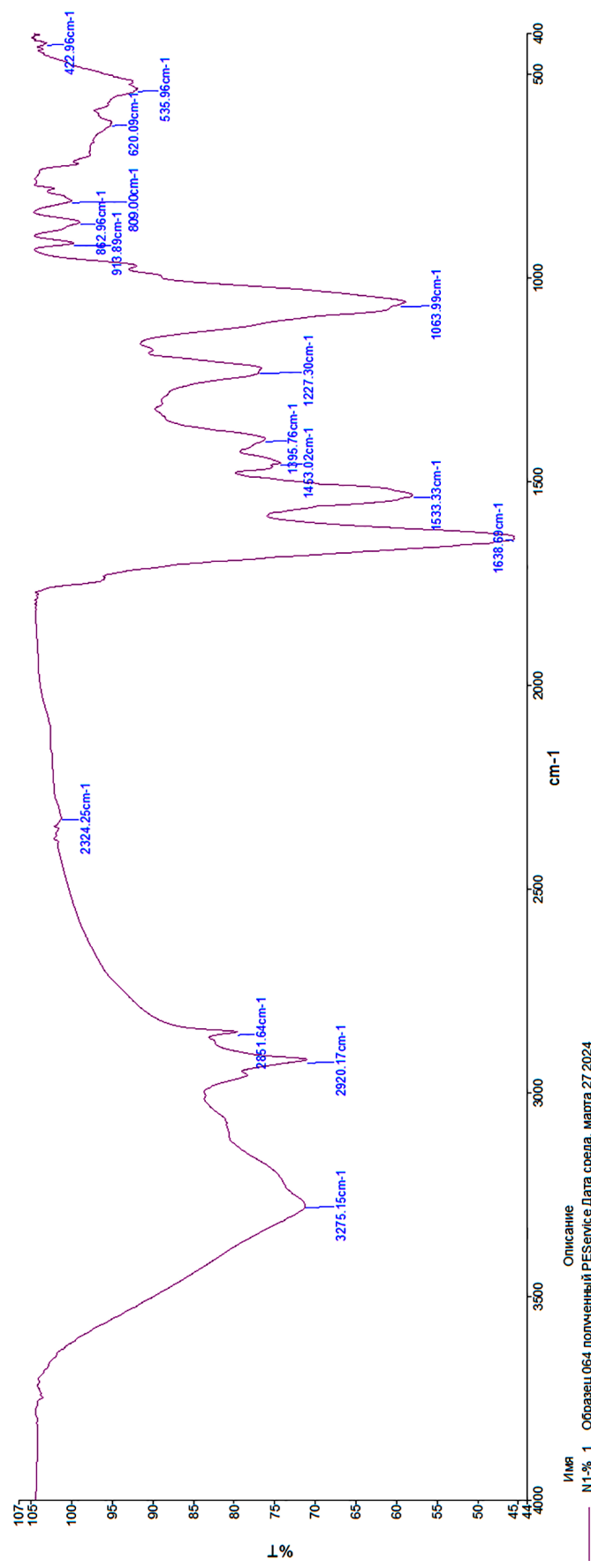


Рис. 3. Полипептид, полученный экстрагентом 0,2 %-ного NaOH
Источник: составлено автором

Затем разрабатывались оптимальные условия для экстракции белков. Экстракцию проводили 0,05 трис HCl (pH 8,5), 2% Na₂CO₃, 0,2% NaOH [3]. Подбирали гидромодуль (1:5, 1:10, 1:15), и время проведения экстракции 60, 120, 180, 240 минут, для полного разрушения клеток гомогенат обрабатывали ультразвуком (частота колебаний) 34 кГц [6, 7].

Экстракцию проводили 0,2% NaOH в течение 3 ч, 370 °С, при гидромодуле 1:5, затем обработку ультразвуком в течение 5 мин, при которых обеспечивается максимальный выход белка. После экстракции проводили центрифугирование в течение 30 мин при 8000 об/мин. На следующем этапе очистки использовали фракционирование сухим сульфатом аммония. Для удаления высокомолекулярных белков использовали сульфат аммония при 20, 40, 60%-ном осаждении. Результаты показали, что 20%-ное высаливание экстракта сульфатом аммония является наиболее, оптимальным для удаления балластных (высокомолекулярных) белков.

Затем использовали сульфат аммония при 80%-ном осаждении для получения низкомолекулярных полипептидов. Экстракт 80%-ного осаждения центрифугировали и полученный осадок низкомолекулярных полипептидов обессоливали на колонке с сефадексе G25. Гель-фильтрацию на сефадексе G25 проводили со сбором элюата по 4 мл [8]. Концентрацию полученных обессоленных белковых фракций определяли на спектрофотометре Cary 60 (Германия) при длине волны 280 и 260 нм. Полученную обессоленную белковую фракцию собирали и лиофильно сушили при высоком вакууме (-870 С) на приборе CHRIST Alpha 2-4 LSCbasic (Германия). Выход очищенных полипептидов составил 5,7% (рис. 1).

Для идентификации функциональных групп получен ИК-спектральный анализ для полипептидов. Геометрия исследуемых соединений построена с помощью программы MaSK и предварительно оптимизирована методом V3LYP1/6-31G (d,p). Расчеты проводили в пакете программ Firefly 8.0.1 ИК-спектры исследуемых полипептидов в таблетках с KBr записаны (4000–400 см⁻¹) на ИК-Фурье-спектрофотометре System 2000 фирмы Perkin-Elmer. ИК-спектры выражены в виде зависимости частот от оптической плотности (Absorbance).

Результаты приведены на рис. 2 и 3.

ИК-спектр (KBr, ν_{max}, см⁻¹): 31-96 (NH), 30-34 (CH₃), 16-46 (S=O), 14-03 сигналов, характерных для ароматического кольца, 1240, 1049 (- C-O-C -), 704 линий поглощения, характерных для аромати-

ческого кольца (S-N), группы размером 602 см⁻¹ (S-SH).

ИК-спектр (KBr, VMAX, SM-1): 3275 (NH), 2920, 2852 (CH₂), 1639 (S=O), 1533, 1453 сигналы, специфичные для ароматических колец, 1396 (CH₃), 1227, 1064 (- C-O-C -), 863, 809 (s-n), 620, 536 см⁻¹ (s-sh, -c-S-C-) группы в ароматическом кольце, демонстрирующие характерные линии поглощения.

Характеристику очищенных полипептидов проводили с помощью электрофореза в 10%-ном ПААГ [9]. В качестве маркеров использовали стандартный набор белков Novex™ Sharp pre-stained Protein Ladder (Invitrogen). Электрофорез проводили в денатурирующих условиях. Образцы наносились по 20 мкл в каждую лунку. Во время миграции образцов в концентрирующем геле (6%) напряжение поддерживали на уровне 50 В. При перемещении фронта в разделяющем геле (10%) напряжение повышали до 80 В. Электрофорез проводили до выхода бромфенолового синего из геля [10]. Гели окрашивали 0,25%-ным раствором Coomassie G250 (Sigma, USA) в смеси вода : этанол : уксусная кислота : вода (1:1:2).

По данным электрофореза очищенные полипептиды имеют идентичный фракционный состав с молекулярной массой от 8 до 40 кДа.

Выделение свободных аминокислот. Осаждение белков и пептидов водного экстракта образцов проводили в центрифужных стаканах. Для этого к 1 мл исследуемого образца добавляли по 1 мл (точный объем) 20% ТХУК. Через 10 мин осадок отделяли центрифугированием при 8000 об/мин в течение 15 мин. Отделив 0,1 мл надосадочной жидкости, лиофильно высушивали. Гидролизат упаривали, сухой остаток растворяли в смеси триэтиламин – ацетонитрил – вода (1:7:1) и высушивали. Эту операцию повторяли дважды для нейтрализации кислоты. Реакцией с фенилтиоизоцианатом получали фенилтиокарбамил-производные (ФТК) аминокислот по методу A. Steven, David Cohen [11]. Идентификацию производных аминокислот проводили методом ВЭЖХ [12]. Полученные результаты при двукратной повторности эксперимента представлены в табл. 2.

Проведенные исследования показали, что содержание общего белка в биомассе дрожжей S288C достигает 44,8%, что свидетельствует о высоком белковом потенциале штамма и его биотехнологической значимости. Оптимальные условия экстракции (0,2% NaOH, 37 °С, 3 ч, гидромодуль 1:5, ультразвуковая обработка) обеспечили эффективное разрушение клеточной стенки и высокий выход белков [13].

Таблица 2

Аминокислотный состав полипептида

Аминокислоты	Белок, мг/гр
Аспарагиновая кислота	21.18344
Глутаминовая кислота	24.64502
Серин	15.31665
Глицин	46.67304
Аспарагин	0
Глутамин	0
Цистеин	2.940984
Треонин	5.240469
Аргенин	44.39112
Аланин	1.088789
Пролин	9.861871
Тирозин	15.83588
Валин	23.9325
Метионин	2.827883
Гистидин	27.41822
Изолейцин	14.51658
Лейцин	24.88968
Триптофан	0
Фенилаланин	6.89199
Лизин	17.61042
Итог	305.2645

Источник: составлено автором.

Фракционирование сульфатом аммония позволило получить низкомолекулярные пептиды (при 80 %-ном насыщении) с выходом 5,7%, аналогично результатам, описанным в [14]. Гель-фильтрация на сефадексе G-25 обеспечила эффективное удаление солей и концентрацию целевых фракций.

ИК-спектроскопия подтвердила наличие функциональных групп, характерных для пептидов, включая алифатические и ароматические аминокислоты. Различия в спектрах указывают на влияние условий экстракции на состав фракций. По данным электрофореза в 10 %-ном полиакриламидном геле, молекулярная масса полипептидов составляет 8–40 кДа, что подтверждает их биологическую активность [15].

Аминокислотный анализ выявил высокое содержание глицина, аргинина и гистидина, обладающих потенциальной антиоксидантной активностью. Отсутствие триптофана и глутамина, вероятно, связано с условиями кислотного гидролиза.

Таким образом, разработанная комплексная методика очистки позволила получить пептидные фракции с перспектив-

ными свойствами для применения в биотехнологии, фармацевтике и пищевой промышленности.

Заключение

В результате проведенного исследования разработана и апробирована эффективная методика выделения и очистки низкомолекулярных полипептидов из сухих дрожжей *S288C*. Оптимизация условий экстракции обеспечила максимальное извлечение белков, а многоступенчатая схема очистки с использованием аммонийного сульфата, гель-фильтрации и лиофильной сушки – получение целевой фракции (5,7%) с молекулярной массой 8–40 кДа.

ИК-спектроскопия и электрофорез подтвердили наличие функциональных групп, характерных для биологически активных молекул. Установленный аминокислотный профиль с преобладанием аргинина, глицина и глутаминовой кислоты указывает на потенциальную биологическую активность полипептидов. Полученные данные могут быть использованы при разработке функциональных биопрепаратов для биотехнологии и фармакологии.

Список литературы

1. Lopes A., Ferreira C., Pereira J.O., Pintado M.E., Carvalho A.P. Peptide extract from spent yeast improves resistance of *Saccharomyces cerevisiae* to oxidative stress // *Applied Microbiology and Biotechnology*. 2023. DOI: 10.1007/s00253-023-12514-3.
2. Mirzaei M., Mirdamadi S., Safavi M. Antioxidant activity and protective effects of *Saccharomyces cerevisiae* peptide fractions against H₂O₂-induced oxidative stress in Caco-2 cells // *Journal of Food Measurement and Characterization*. 2019. Vol. 13, Is. 4. P. 2654–2662. DOI: 10.1007/s11694-019-00186-5.
3. Mohanty S.P., Kumar A., Jha S., Raut A., Barman I., Sarkar D. Extraction of proteins and other intracellular bioactive compounds from baker's yeasts by pulsed electric field treatment // *Frontiers in Bioengineering and Biotechnology*. 2020. Vol. 8. Art. 552335. DOI: 10.3389/fbioe.2020.552335.
4. Abadias M., Aguilo-Aguayo I., Munne-Bosch S., Lopez M.L., Vinas I., Usall J. Production of *Saccharomyces cerevisiae* from agricultural and food processing wastes // *Applied Food Research*. 2025. Vol. 5, Is. 1. P. 100659. DOI: 10.1016/j.afres.2024.100659.
5. Oliveira A.S., Ferreira C., Pereira J.O., Pintado M.E., Carvalho A.P. Valorisation of protein-rich extracts from spent brewer's yeast (*Saccharomyces cerevisiae*): an overview // *Bio-mass Conversion and Biorefinery*. 2025. № 15. P. 1771–1793. DOI: 10.1007/s13399-022-02636-5.
6. De Andrade E.W.V., Dupont S., Beney L. et al. Sonoprocessing is an effective strategy to encapsulate fisetin into *Saccharomyces cerevisiae* cells // *Appl Microbiol Biotechnol*. 2022. 106. P. 7461–7475. DOI: 10.1007/s00253-022-12214-4.
7. Berzosa A., Marin-Sanchez J., Alvarez I., Sanchez-Gimeno C., Raso J. Pulsed Electric Field Technology for the Extraction of *Saccharomyces cerevisiae* glutathione // *Foods*. 2024. Vol. 13, Is. 12. Art. 1916. DOI: 10.3390/foods13121916.
8. Thyab Gddoa Al-sahlany S., Altemimi A.B., Al-Manhel A.J.A., Niamah A.K., Lakhssassi N., Ibrahim S.A. Purification of bioactive peptide with antimicrobial properties produced

- by *Saccharomyces cerevisiae* // Foods. 2020. Vol. 9. P. 324. DOI: 10.3390/foods9030324.
9. Carranza-Oropeza M.V., Sherrill A.W., Sanders J.R. Thermal and mechanical behavior of polypeptide-based polymer systems // Journal of Applied Polymer Science. 2016. Vol. 133, Is. 40. Art. 44063. DOI: 10.1002/app.44063.
10. Santos M.F.D.S., Freitas C.S., Verissimo da Costa G.C., Pereira P.R., Paschoalin V.M.F. Identification of antibacterial peptide candidates encrypted in stress-related and metabolic *Saccharomyces cerevisiae* proteins // Pharmaceuticals (Basel). 2022. Jan 28. Vol. 15 (2). P. 163. DOI: 10.3390/ph15020163.
11. Cohen S.A., Strydom D.J. Amino acid analysis utilizing phenylisothiocyanate derivatives // Analytical Biochemistry. 1988. Vol. 174, Is. 1. P. 1–16. DOI: 10.1016/0003-2697(88)90512-X.
12. Plata M.R., Koch C., Wechselberger P., Herwig C., Lendl B. Determination of carbohydrates present in *Saccharomyces cerevisiae* using mid-infrared spectroscopy and partial least squares regression // Anal Bioanal Chem. 2013. Oct. 405 (25). P. 8241–8250. DOI: 10.1007/s00216-013-7239-9.
13. Branco P., Kemsawasd V., Santos L., Diniz M., Caldeira J., Almeida M.G., Arneborg N., Albergaria H. *Saccharomyces cerevisiae* accumulates GAPDH-derived peptides on its cell surface that induce death of non-Saccharomyces yeasts by cell-to-cell contact // FEMS Microbiology Ecology. 2017. Vol. 93, Is. 5. Art. fix055. DOI: 10.1093/femsec/fix055.
14. Dong L., Li F., Piao Y. et al. Characterization of proteinase A excretion from *Saccharomyces cerevisiae* in high sugar stress conditions // J Korean Soc Appl Biol Chem. 2015. Vol. 58. P. 203–208. DOI: 10.1007/s13765-015-0036-8.
15. Parapouli M., Vasileiadis A., Afendra A.S., Hatziloukas E. *Saccharomyces cerevisiae* and its industrial applications // AIMS Microbiology. 2020. T. 6. № 1. P. 1–31. DOI: 10.3934/microbiol.2020001.

УДК 575.174:618.14-006.6

ГЕНЕТИЧЕСКИЕ И БИОХИМИЧЕСКИЕ ФАКТОРЫ В РАЗВИТИИ ОНКОЛОГИЧЕСКИХ ГИНЕКОЛОГИЧЕСКИХ ЗАБОЛЕВАНИЙ У ЖЕНЩИН

Ойдинова З.Р., Кан С.В., Душанова Г.А.

*Самаркандский государственный университет имени Шарофа Рашидова,
Самарканд, e-mail: gavhar_1969@mail.ru*

Онкологические гинекологические заболевания, включая рак шейки матки и миому матки, представляют собой серьезную медико-социальную проблему и требуют комплексного подхода к изучению факторов риска. Целью настоящего исследования было выявление биохимических, гормональных и генетических факторов, способствующих развитию данных патологий у женщин. В исследование были включены женщины с верифицированными диагнозами миомы матки и рака шейки матки, а также здоровые добровольцы, составившие контрольную группу. В рамках работы проводили биохимический анализ венозной крови, оценку гормонального статуса, молекулярно-генетические тесты и ПЦР-диагностику для обнаружения вируса папилломы человека. Установлены характерные изменения в гематологических и биохимических показателях, снижение уровня гемоглобина, эритроцитов, ферритина, повышение уровня лейкоцитов, тромбоцитов и лактатдегидрогеназы. Также наблюдались колебания уровней половых гормонов, отражающие эндокринные нарушения у пациенток с миомой. Подтверждена гормонозависимая природа миомы и ее связь с мутациями в генах, кодирующих медиаторный комплекс, неканонические архитектурные ядерные белки, а также с хромосомными перестройками в длинном плече 7-й и 12-й хромосом. У пациенток с раком шейки матки выявлены типы вируса папилломы человека высокого онкогенного риска 16 и 18, а также мутации в генах, регулирующих клеточный цикл, включая ген – супрессор опухолей p53, а также гены, ассоциированные с наследственным раком молочной железы и яичников.

Ключевые слова: миома, рак шейки матки, вирус папилломы человека, хромосомные aberrации, гормональные факторы

GENETIC AND BIOCHEMICAL FACTORS IN THE DEVELOPMENT OF ONCOLOGICAL GYNECOLOGICAL DISEASES IN WOMEN

Oyidinova Z.R., Kan S.V., Dushanova G.A.

*Samarkand State University named after Sharof Rashidov, Samarkand,
e-mail: gavhar_1969@mail.ru*

Oncological gynecological diseases, including cervical cancer and uterine fibroids, represent a serious medical and social problem and require a comprehensive approach to studying their risk factors. The aim of the present study was to identify biochemical, hormonal, and genetic factors contributing to the development of these pathologies in women. The study included women with verified diagnoses of uterine fibroids and cervical cancer, as well as healthy volunteers who formed the control group. The research involved biochemical analysis of venous blood, assessment of hormonal status, molecular genetic testing, and PCR diagnostics for the detection of human papillomavirus. Characteristic changes were identified in hematological and biochemical parameters, including decreased hemoglobin, erythrocytes, and ferritin levels, and increased leukocytes, platelets, and lactate dehydrogenase. Hormonal fluctuations indicating endocrine disorders were also observed in patients with fibroids. The hormone-dependent nature of fibroids was confirmed, along with their association with mutations in genes encoding mediator complex subunits, noncanonical architectural nuclear proteins, as well as chromosomal rearrangements in the long arm of chromosomes 7 and 12. In patients with cervical cancer, high-risk oncogenic HPV types 16 and 18 were detected, as well as mutations in genes regulating the cell cycle, including the tumor suppressor gene p53 and genes associated with hereditary breast and ovarian cancer.

Keywords: fibroids, cervical cancer, human papillomavirus, chromosomal aberrations, hormonal factors

Введение

Гинекологические заболевания занимают значительное место в структуре общей заболеваемости у женщин репродуктивного и пострепродуктивного возраста и представляют собой серьезную медико-социальную проблему, занимая одно из ведущих мест в структуре женской заболеваемости и смертности. По данным Всемирной организации здравоохранения, ежегодно в мире регистрируется более 600 тыс. новых случаев рака шейки матки и около 300 тыс. смертей, обусловленных этим заболеванием.

В то же время миома матки, лейомиома диагностируется у 20–40% женщин репродуктивного возраста и остается одной из самых распространенных доброкачественных опухолей женской репродуктивной системы. Гинекологические опухоли классифицируются в зависимости от локализации в органах женской половой системы и могут затрагивать яичники, матку, шейку матки, влагалище и вульву. Среди них злокачественные новообразования шейки матки, тела матки, яичников и др. представляют наибольшую угрозу для жизни женщины.

ны, в то время как доброкачественные образования, такие как миома матки, также способны оказывать значительное влияние на репродуктивное и общее здоровье, нередко требуя хирургического вмешательства [1, с. 57].

Рак шейки матки – это злокачественная опухоль, развивающаяся из клеток эпителия шейки матки. Он тесно связан с персистирующей инфекцией высокоонкогенных типов вируса папилломы человека, однако в последнее время большое внимание уделяется и генетическим, а также биохимическим механизмам канцерогенеза. К числу факторов риска относятся мутации в генах, ответственных за регуляцию клеточного цикла, иммунный ответ, апоптоз и репарацию ДНК. Миома матки, несмотря на свою доброкачественную природу, может сопровождаться тяжелыми клиническими симптомами, включая обильные менструальные кровотечения, болевой синдром и бесплодие. Эти опухоли также имеют полигенную природу и связаны с нарушениями регуляции стероидных гормонов, экспрессией факторов роста и изменениями в сигнальных путях, контролирующих пролиферацию гладкомышечных клеток. Несмотря на различную природу и клинические проявления, эти заболевания нередко характеризуются общими патогенетическими механизмами, связанными с гормональной регуляцией, генетическими мутациями и нарушениями биохимического баланса заболеваний [2, с. 112–115].

Комплексное изучение биохимических и генетических факторов позволяет не только лучше понять патогенез гинекологических заболеваний, но и приблизиться к реализации концепции персонализированной медицины с индивидуальным подбором методов диагностики, профилактики и терапии. Все это определяет значимость проблемы, важность проведения углубленных исследований в этом направлении, решение которых будет способствовать пониманию патогенеза биохимических и генетических механизмов в развитии гинекологических онкологических заболеваний, разработки на этой основе мер профилактики, прогнозирования и разработки персонализированных подходов к терапии. Учитывая высокую распространенность указанных патологий и их влияние на репродуктивное здоровье женщин, исследование генетических и биохимических факторов, лежащих в основе их развития, приобретает особую актуальность.

Цель исследования – изучение биохимических и генетических факторов в раз-

витии некоторых гинекологических заболеваний у женщин на примере миомы и рака шейки матки.

Материалы и методы исследования

Работа выполнялась на базе Самаркандского областного онкологического диспансера и в медицинской лаборатории GENMEDICAL. В качестве биологического материала использовали венозную кровь и цервикальные мазки, полученные от женщин в возрасте 45–60 лет, как здоровых, так и с диагнозами дисплазии и рака шейки матки, а также венозную кровь здоровых и больных женщин с миомой матки возрастом до 45 лет и после 55 лет. Были изучены биохимические показатели женщин разного репродуктивного возраста, здоровых и больных женщин с миомой матки, а также периферическая кровь больных и здоровых женщин с раком шейки матки. Больные являлись жителями Самарканда, а также Пастаргомского, Тайлякского и Джамбайского районов.

Результаты исследования и их обсуждение

Рак шейки матки занимает одно из ведущих мест среди онкологических заболеваний женской популяции и продолжает представлять серьезную медицинскую и социальную проблему, в том числе в странах с развитой экономикой. Средний уровень заболеваемости составляет 10–12 новых случаев на 100 тыс. женщин в год. Прогноз лечения и выживаемость напрямую зависят от стадии процесса и степени распространения опухоли.

В структуре злокачественных новообразований у женщин рак шейки матки занимает пятое место. За последние 15 лет его распространенность увеличилась почти на четверть. Более чем у 65 % пациенток заболевание выявляется на ранних стадиях. Наибольшему риску подвержены женщины среднего возраста: средний возраст постановки диагноза составляет 54 года, однако в последние годы отмечается тенденция к его снижению. Смертность в первый год после выявления заболевания достигает 15%. Ключевым фактором профилактики и снижения смертности остаются своевременная диагностика предопухолевых изменений и раннее начало лечения, что позволяет существенно улучшить прогноз и сохранить качество жизни пациенток. Своевременная диагностика и лечение предраковых изменений шейки матки имеют ключевое значение для прогноза и эффективности терапии на ранних, локализованных стадиях, включая прединвазивную и микроинвазивную

формы рака. Для объективной оценки степени тяжести процесса и разработки персонализированной схемы лечения требуется комплексное обследование, включающее клинические, биохимические, цитологические и молекулярно-генетические методы, что позволяет выявлять патологию на самых начальных этапах ее развития. До того, как будет диагностирована злокачественная опухоль, у женщины часто обнаруживаются предраковые состояния, которые проявляются изменениями в структуре клеток эпителия, способными со временем перерасти в злокачественную форму. Изменения биохимических показателей, наблюдаемые при различных патологических состояниях, как правило, не являются строго специфичными, однако позволяют оценить характер и степень выраженности метаболических нарушений как в организме в целом, так и в отдельных органах. Сопоставление полученных данных с клинической картиной заболевания, а также с результатами других лабораторных и инструментальных методов исследования дает возможность определить функциональное состояние внутренних органов, оценить систему гомеостаза и сформировать представление о характере и активности патологического процесса. Клинико-биохимические исследования при ги-

некологических заболеваниях направлены на комплексную оценку состояния пациентки при наличии новообразований, а также на выявление гормональных нарушений, связанных с пролиферативными изменениями в матке [2, с. 77].

Анализ гемограмм у женщин с раком шейки матки показал снижение уровня гемоглобина, числа эритроцитов и лимфоцитов, что отражает развитие анемического и геморрагического синдромов. По сравнению с контрольной группой у пациенток выявлены тромбоцитопения, лейкопения, а также наличие значительного количества бластных клеток, независимо от общего числа лейкоцитов. Кроме того, зафиксировано незначительное повышение скорости оседания эритроцитов. Присутствие бластных клеток и гранулоцитов в периферической крови рассматривается как важный диагностический критерий онкологического процесса (рис. 1).

Миома матки – одна из наиболее распространенных доброкачественных опухолей, развивающихся из гладкомышечных клеток миометрия. Заболеваемость составляет от 25 до 44% среди женщин репродуктивного возраста, при этом у женщин моложе 30 лет миома выявляется в 3,3–7,8% случаев.

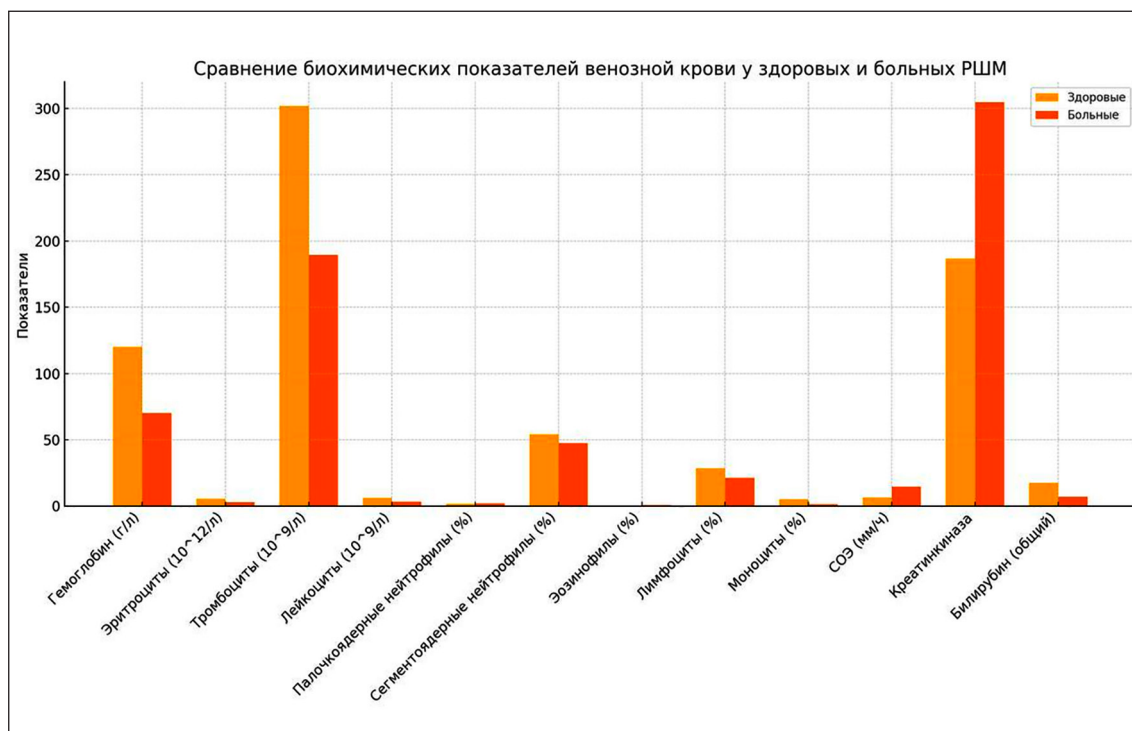


Рис. 1. Биохимические показатели венозной крови здоровых женщин и больных раком шейки матки
Источник: составлено авторами

Хотя она не является злокачественной опухолью, ее наличие может сопровождаться системными и локальными биохимическими изменениями, отражающими гормональный дисбаланс, воспаление, анемию и другие метаболические нарушения. Развитие миомы матки обусловлено совокупностью ряда ключевых факторов, среди которых особое значение имеют наследственная предрасположенность, гормональный дисбаланс, нарушения кровоснабжения органов репродуктивной системы и ряд других причин [3, с. 47]. Патогенез заболевания во многом связан с избыточной продукцией эстрогенов, состояниями, сопровождающимися дефицитом прогестерона, а также с повышенной секрецией гонадотропинов. Под воздействием неблагоприятных внешних и внутренних факторов происходит расстройство местного кровотока, что способствует дистрофическим изменениям тканей матки и формированию гиперэстрогенных состояний. Начинается пролиферация клеток и образование зачатка миоматозного узла. Установлена роль эстрогенов в активации рецепторов, участвующих в регуляции транскрипции многих генов, связанных с клеточной пролиферацией. Таким образом, необходимым условием запуска процессов трансформации в клетках-мишенях является увеличение содержания стероидов, в частности эстрогенов, как следствие этого усиление процессов пролиферации [4].

Исследованиями биохимических показателей женщин с миомой матки в репродуктивном и пострепродуктивном периоде установлено, что у женщин старше 45 лет, больных миомой матки, выявлены характерные изменения в биохимических показателях крови, которые отражают патологические механизмы заболевания. Отмечается снижение уровня гемоглобина, эритроцитов, ферритина, что, вероятно, связано с обильными и продолжительными кровотечениями, приводя к развитию железодефицитной анемии. На этом фоне повышен уровень тромбоцитов. Увеличение числа лейкоцитов указывает на наличие хронического воспалительного процесса, связанного с ростом опухоли. Скорость оседания эритроцитов значительно превышает норму, что является дополнительным подтверждением воспалительного процесса. Увеличено содержание лактатдегидрогеназы в два раза, что свидетельствует об активных процессах клеточной пролиферации и метаболических изменениях, характерных для опухолевой ткани (рис. 2, 3).

У больных женщин показано увеличение эстрадиола, указывая, что миома – эстроген-зависимая опухоль, значения прогестерона могут выходить за пределы нормы, особенно ближе к верхней границе или немного выше, что связано с повышенной экспрессией прогестероновых рецепторов в ткани миомы (рис. 2).

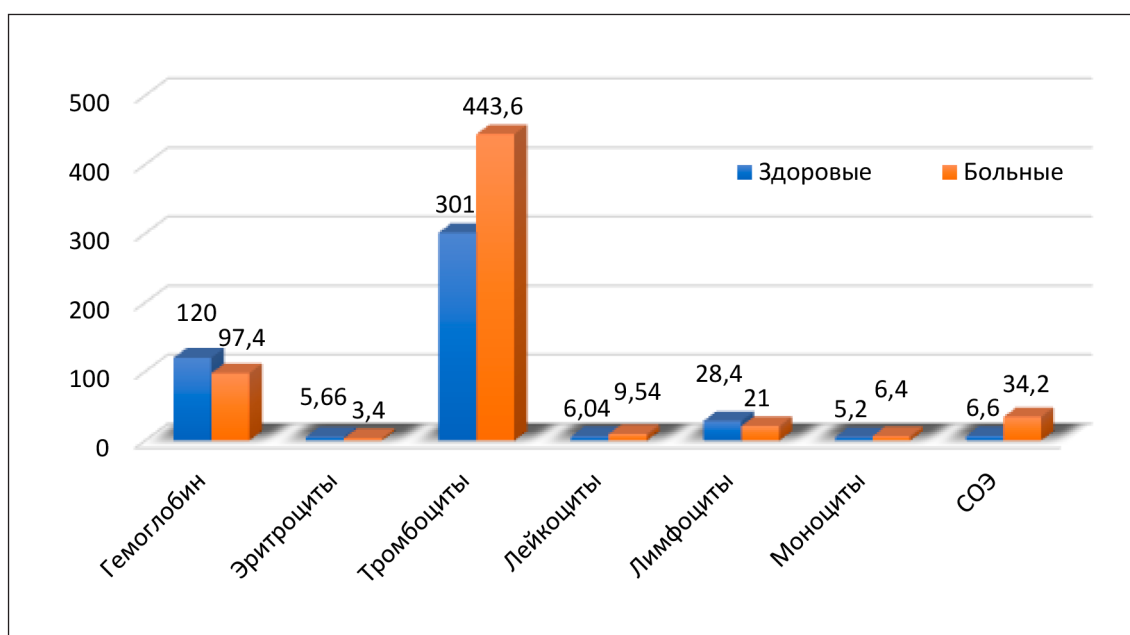


Рис. 2. Гематологические показатели женщин, больных миомой матки в менопаузе
Источник: составлено авторами

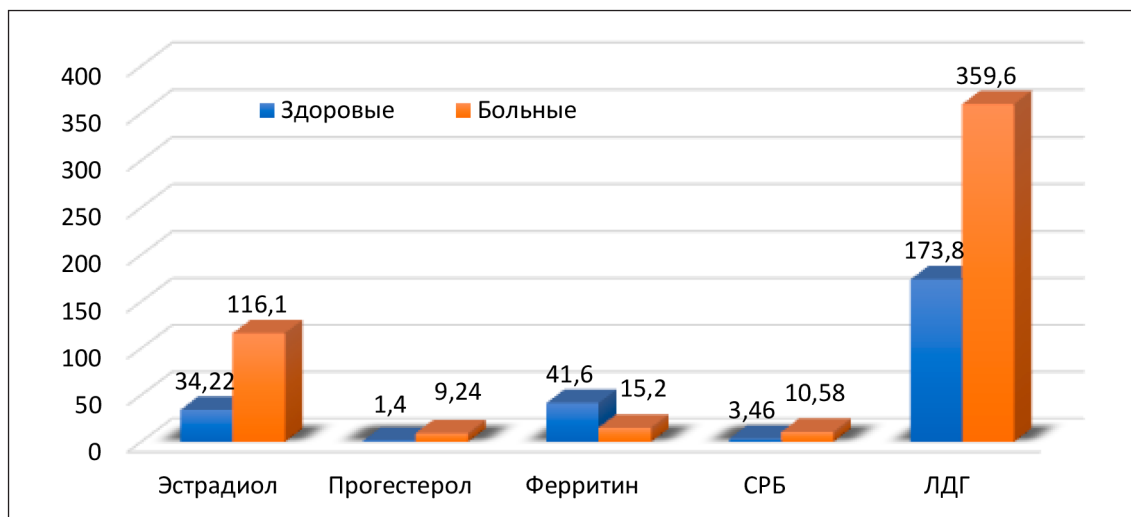


Рис. 3. Биохимические показатели женщин, больных миомой матки в менопаузе
Источник: составлено авторами

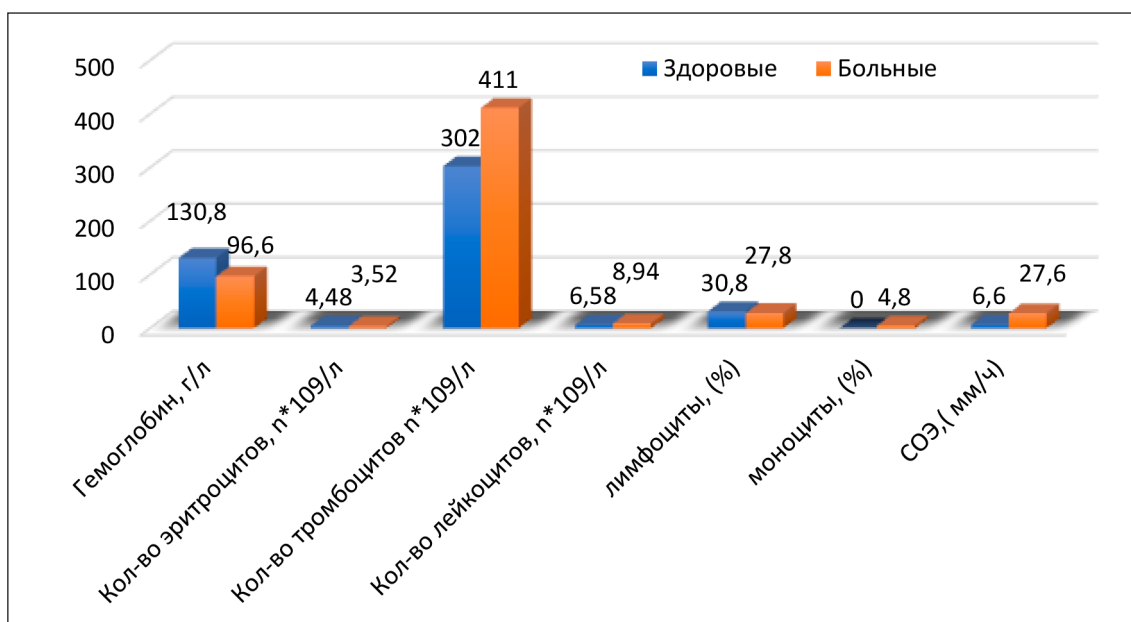


Рис. 4. Гематологические показатели женщин, больных миомой матки в репродуктивном возрасте
Источник: составлено авторами

Для женщин репродуктивного возраста с миомой матки характерны типичные лабораторные изменения, отражающие патофизиологические механизмы заболевания. Снижен уровень гемоглобина, эритроцитов и ферритина, что обусловлено хронической кровопотерей при меноррагиях. Повышен уровень лейкоцитов и тромбоцитов, скорость оседания эритроцитов в 3 раза и концентрации С-реактивного белка более чем в 4 раза соответственно, приводя к дегене-

ративным изменениям в миоматозных узлах. Установлено увеличение содержания прогестерона, эстрадиола и лактатдегидрогеназы более чем в 3 раза по сравнению с контрольной группой здоровых женщин, что свидетельствует о повышении уровня метаболических процессов или деструктивных изменениях в ткани опухоли. Совокупность этих изменений имеет диагностическое значение и позволяет объективно рассматривать клинические проявления заболевания (рис. 4, 5).

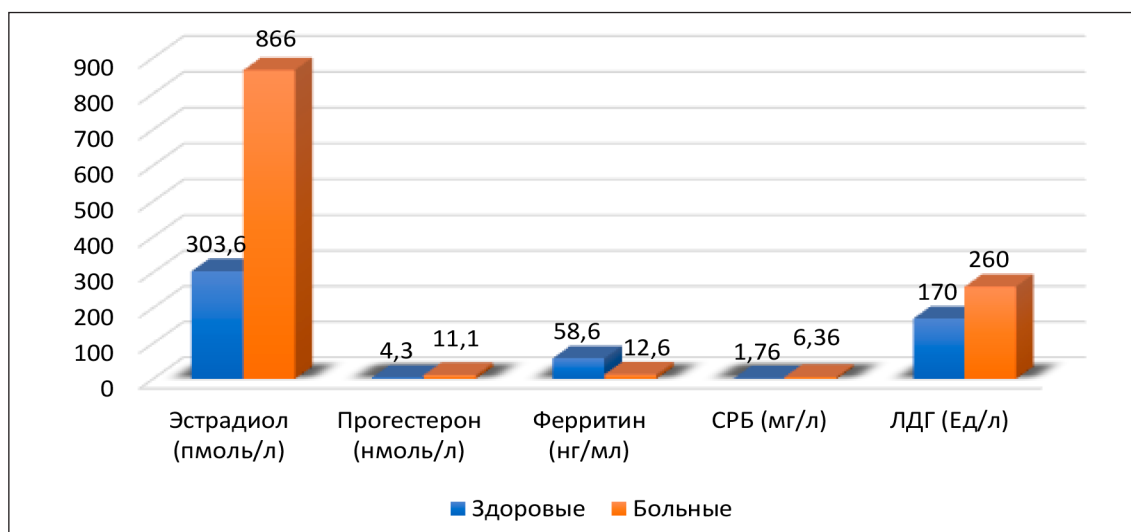


Рис. 5. Биохимические показатели женщин, больных миомой матки в репродуктивном возрасте
Источник: составлено авторами

Сравнительная характеристика лабораторных показателей у женщин репродуктивного возраста с миомой матки и женщин в постменопаузе показывает значимые различия в лабораторных показателях, отражающие особенности уровня гормонов, обмена веществ и гематологических параметров. У женщин больных миомой матки в возрасте до 45–50 лет, как правило, наблюдается повышение уровня эстрадиола более чем в 3 раза, что обусловлено гормонозависимым характером опухоли. В постменопаузе, напротив, уровень эстрадиола резко снижается до 50 пмоль/л и ниже, что связано с угасанием функции яичников и концентрация прогестерона уменьшена $< 0,6$ нмоль/л, что отражает физиологическое прекращение овуляторных циклов.

Установлены различия в гематологических показателях: у женщин репродуктивного возраста с миомой часто выявляется гипохромная анемия, снижены уровни гемоглобина, эритроцитов и ферритина. Это обусловлено хронической кровопотерей, связанной с меноррагиями. У женщин в постменопаузе, при отсутствии кровотечений, эти показатели, как правило, находятся в пределах нормы или ближе к верхним границам контрольных значений. Показатели воспаления также различаются. У женщин с миомой репродуктивного возраста наблюдается умеренное повышение СОЭ, СРБ и ЛДГ, что отражает наличие хронического асептического воспаления или дегенеративных изменений в тканях миоматозных узлов [5].

Таким образом, изучение показателей женщин с диагнозом миома матки в возрасте до 45 лет и после показало что репро-

дуктивный возраст с наличием миомы матки сопровождается выраженными гормональными и гематологическими сдвигами, в то время как постменопаузальный период характеризуется гормональной стабильностью и отсутствием значимых патологических изменений в анализах.

Генетические механизмы играют значительную роль в формировании как миомы матки, так и рака шейки матки. Развитие миомы нередко связано с наследственной предрасположенностью, тогда как ключевым этиологическим фактором рака шейки матки является инфицирование вирусом папилломы человека в сочетании с мутациями в генах, контролирующих клеточный цикл. На сегодняшний день описано более 75 типов ВПЧ, однако штаммы HPV-16 и HPV-18 признаны ведущими онкогенными агентами. Среди 14 высокоонкогенных генотипов именно эти два типа ответственны примерно за 71 % всех случаев рака шейки матки. Канцерогенез при ВПЧ-инфекции имеет многоступенчатый характер: вирусные онкогены интегрируются в геном клетки-хозяина, нарушая регуляцию пролиферации и апоптоза, а эпителиальная ткань шейки матки проходит последовательные стадии морфологической трансформации – от нормально го эпителия через предраковые изменения до инвазивной карциномы [6].

Проведено обследование 35 женщин, из которых у 10 обнаружили ВПЧ 16 и 18 генотипов высокого онкогенного риска, у 18 – ВПЧ других онкогенных типов, у 7 ВПЧ не обнаружены, что составляет 14,3; 51,4 и 20% соответственно (рис. 6).

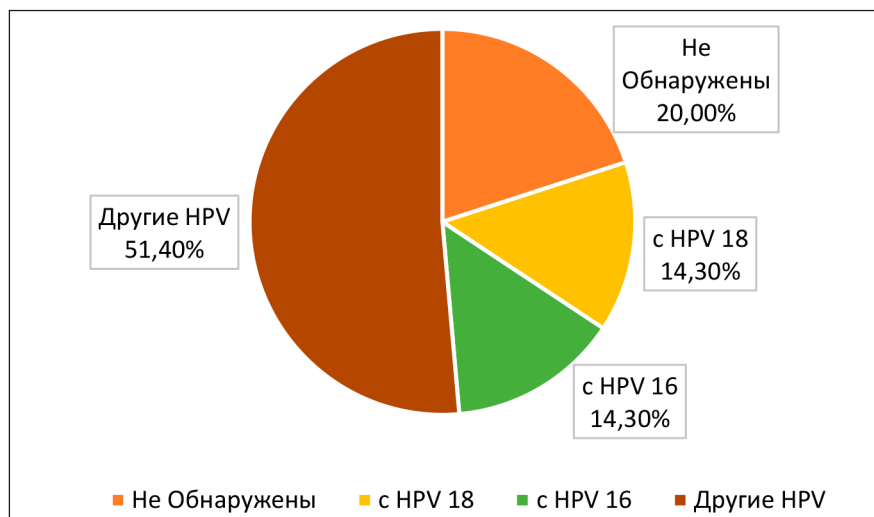


Рис. 6. Показатели урогенитального мазка здоровых и больных женщин, зараженных вирусом ВПЧ, методом ПЦР-анализа
Источник: составлено авторами

В настоящее время установлено, что большинство инфекций, вызванных вирусом папилломы человека, подвергаются спонтанной элиминации, тогда как лишь у небольшой части женщин развивается персистирующая форма, способная со временем приводить к формированию злокачественных новообразований. Несмотря на то, что ВПЧ-инфекция является ключевым звеном в этиопатогенезе рака шейки матки, ее присутствия самого по себе недостаточно для злокачественной трансформации клеток. Канцерогенез в данном случае представляет собой сложный многофакторный процесс, в котором инфекция ВПЧ взаимодействует с рядом внешних и внутренних факторов, определяющих индивидуальную восприимчивость к опухолевому росту.

Существенную роль в этом взаимодействии играют генетические особенности организма, в том числе полиморфизмы генов, регулирующих процессы апоптоза и клеточного цикла. Накопленные данные свидетельствуют, что такие генетические вариации могут определять уровень наследственной предрасположенности к РШМ. Результаты исследований по семейной агрегации и оценке коэффициента наследуемости подтверждают наличие значимого генетического вклада в риск заболевания, однако молекулярно-генетическая основа рака шейки матки остается до конца не раскрытой [7].

Установлены ключевые хромосомные локализации и гены, вовлеченные в патогенез рака шейки матки. К ключевым генетическим изменениям, связанным с развитием заболевания, относят мутации и инактивацию ряда генов, регулирующих клеточный

цикл, апоптоз и иммунный ответ. К ним относят ген TP53, расположенный на хромосоме 17p13.1, кодирует белок p53, участвующий в контроле клеточного цикла и индукции апоптоза. Ген CASP8, локализованный на хромосоме 2q33, участвует в запуске апоптоза, и его мутации или полиморфизмы могут снижать способность клеток к программируемой гибели, способствуя опухолевому росту. Под действием онкобелка E6 вируса папилломы человека p53 инактивируется, что приводит к неконтролируемому делению клеток. Подобный механизм наблюдается и при нарушении функции гена RB1 13q14, который кодирует белок pRb, регулирующий переход клетки из фазы G1 в S-фазу. Онкобелок E7 ВПЧ связывается с pRb, нарушая контроль пролиферации. На хромосоме 6p21 располагаются гены HLA включая HLA-A, HLA-B и HLA-DR, играющие ключевую роль в иммунном ответе. Некоторые аллели HLA ассоциированы с повышенной восприимчивостью или устойчивостью к раку шейки матки. Заболевание развивается как следствие вирус-индуцированных и собственно генетических мутаций, затрагивающих гены, контролирующие апоптоз TP53, CASP8, пролиферацию RB1, PIK3CA, теломерную стабильность TERT иммунный надзор HLA [8, с. 27].

Современные достижения молекулярной медицины значительно расширили понимание механизмов инициации и прогрессирования патологических процессов в матке. В патогенезе миомы ключевое значение имеют генетические изменения, кото-

рые выявляются примерно в 90 % случаев. Рост этой опухоли во многом обусловлен хромосомными и точечными мутациями, запускающими каскад пролиферативных процессов. Хромосомные перестройки регистрируются в 20–40 % образцов миоматозной ткани. Наиболее часто вовлекаются хромосомы 6, 7, 12 и 14, причем аномалии хромосомы 12 выявляются примерно в 20 % случаев, а хромосомы 7 – в 17 %. Выявляемые нарушения носят разный характер от делеций до транслокаций, что приводит к дисрегуляции экспрессии генов, контролирующих клеточный рост и дифференцировку. Подобные цитогенетические изменения, характерные для миомы матки, обнаруживаются и при других доброкачественных опухолях мезенхимального происхождения, включая фиброаденому молочной железы и эндометриальные полипы [9].

Представляет интерес установленная связь между типом хромосомных аномалий и фенотипическими характеристиками миоматозных узлов. Выявлено, что крупные миомы содержат больше клеток с патологическим кариотипом, чем мелкие. В тканях крупных узлов чаще наблюдаются транслокации между хромосомами 12 и 14, тогда как в мелких преобладают делеции хромосомы. Это позволило предположить, что определенные хромосомные нарушения могут ассоциироваться с повышенной митотической активностью опухоли. Однако вопрос о роли этих аномалий в патогенезе миомы остается открытым: неясно, являются ли они первичными событиями, запускающими опухолевый рост, или возникают вторично как следствие нарушений регуляции клеточного деления.

Существенный прогресс в изучении молекулярных механизмов развития миомы матки был достигнут в 2011 г., когда при экзомном секвенировании был идентифицирован ген MED12 – основной кандидат, вовлеченный в патогенез заболевания. Он локализован на длинном плече X-хромосомы (Xq13.1) и кодирует субъединицу медиаторного комплекса, участвующего в регуляции транскрипции, опосредованной РНК-полимеразой II. Доминантные мутации, преимущественно точечные например, с.131G>A в экзоне 2, выявляются примерно у 70 % пациенток с миомой, преимущественно в случаях, не ассоциированных с транслокацией t(12;14). MED12 экспрессируется на ранних стадиях эмбриогенеза, в том числе при формировании нервной системы, через активацию ряда сигнальных путей [10].

Установлено, что мутации MED12 предшествуют хромосомным аномалиям и рассматриваются как первичные события в раз-

витии опухоли. Вторым значимым геном является HMGA2, расположенный на хромосоме 12q15. Он кодирует ДНК-связывающий гистонотипный белок, регулирующий пролиферацию клеток. Повышенная активность HMGA2 наблюдается примерно в 20 % случаев миомы и часто сочетается с транслокацией t(12;14)(q15;q24), что коррелирует с формированием множественных и быстрорастущих узлов [11].

Кроме MED12 и HMGA2 в патогенез миомы вовлечен ряд других генов. К ним относятся TP53 ген – супрессор опухолей; CD4, CD24ST мембранные белки, участвующие в межклеточной сигнализации; а также гены, регулирующие метаболизм и рецепцию стероидных гормонов, включая рецепторы эстрогенов и гены, отвечающие за метилирование. Особое внимание уделяется гормональной регуляции роста опухоли [12; 13].

Нарушение регуляции апоптоза также вносит вклад в рост миомы. Повышенная экспрессия антиапоптотического белка Bcl-2 и избыточная стимуляция факторов роста приводят к снижению программируемой клеточной гибели и усиленной пролиферации. В патогенезе участвуют и структурные гены, такие как COL4A5 и COL4A6 (Xq22.3-Xq23), кодирующие α -цепи коллагена IV типа, который важен для структуры базальной мембраны. Делеции в этих локусах могут сочетаться с миомами и почечными патологиями, указывая на участие в межклеточном взаимодействии и тканевом remodelировании. Существенную роль играет также регион 7q22.1-q31.1, где часто обнаруживаются делеции и транслокации, связанные с активным ростом опухоли. В этой зоне расположены гены PCOLCE, регулирующий формирование внеклеточного матрикса, и CUX1, контролирующей клеточную пролиферацию. Молекулярная диагностика миомы матки включает определение мутаций в MED12, HMGA2, а также исследование хромосомных регионов 7q22.1-q31.1 и Xq23. Выявление этих изменений позволяет уточнить генетический подтип опухоли и выбрать персонализированный подход к лечению: от гормональной терапии до оперативного вмешательства [14, с. 212–213; 15].

Заключение

Анализ биохимических показателей крови у женщин, страдающих миомой матки и раком шейки матки, выявил характерные изменения, включая снижение уровня гемоглобина, количества эритроцитов и лимфоцитов, что указывает на развитие анемического синдрома, лейкопении и тромбоцитопении. В периферической крови таких

пациенток также обнаруживались бластные клетки и гранулоциты, что отражает специфические особенности патологического процесса. Отдельное исследование биохимических показателей у женщин до 45 лет с миомой матки показало наличие выраженных изменений, требующих дальнейшего анализа для выявления взаимосвязи между метаболическими нарушениями и клиническим течением заболевания, и после показало, что репродуктивный возраст с наличием миомы матки сопровождается выраженными гормональными и гематологическими сдвигами, в то время как постменопаузальный период характеризуется снижением гормональных факторов эстрадиола по сравнению с контрольной группой здоровых женщин, что свидетельствует о повышении уровня метаболических процессов и подтверждает гормонозависимую природу миомы, приводя к пролиферации гладкомышечных клеток миометрия и прогрессировании опухолевого процесса. Установлено, что различные типы вируса папилломы человека играют значимую роль как генетический фактор в развитии рака шейки матки у женщин и ассоциированы с наличием опухолевого процесса. Проведенный методом полимеразной цепной реакции анализ выявил значительное превышение содержания ДНК ВПЧ типов 16 и 18 в цервикальных мазках, полученных от пациенток с диагнозом рак шейки матки. К числу генетических изменений, способных инициировать развитие злокачественного процесса в шейке матки, относят мутации в генах, регулирующих клеточный цикл, включая TP53, BRCA1 и BRCA2. Нарушения в этих генах приводят к потере контроля над пролиферацией клеток, что способствует их неконтролируемому делению и формированию опухолей.

Показано, что решающая роль в патогенезе миомы матки принадлежит хромосомным и генным мутациям. Наиболее значимые генетические изменения делеции и транслокации при миоме затрагивают хромосомы 7q31.2 CFTR, 12 HMGA2 и X-хромосома MED12. Сложный патогенез рака шейки матки и миомы основан на взаимодействии биохимических и генетических факторов, вызывая клеточные и тканевые изменения. Биохимические факторы приводят к изменению клеточного метаболизма, гормональному дисбалансу, который выступает в качестве предшественников злокачественной трансформации клеток. Комплексный анализ биохимических показателей, результатов цитологических исследований и гене-

тических маркеров у женщин, страдающих миомой и раком шейки матки, позволяет выявить признаки возможного метастатического процесса. Такие данные обосновывают необходимость проведения более детального и целенаправленного обследования для уточнения диагноза и выбора оптимальной тактики лечения.

Список литературы

1. Giuliani E., As-Sanie S., Marsh E.E. Epidemiology and management of uterine fibroids // *Int. J. Gynaecol. Obstet.* 2020. Vol. 149, Is. 1. P. 3–9. DOI: 10.1002/ijgo.13102.
2. Yang Q., Ciebiera M., Bariani M.V., Ali M., Elkafas H., Boyer T.G., Al-Hendy A. Comprehensive review of uterine fibroids: developmental origin, pathogenesis, and treatment // *Endocr. Rev.* 2022. Vol. 43, Is. 4. P. 678–719. DOI: 10.1210/edrev/bnab039.
3. Vannuccini S., Petraglia F., Carmona F., Calaf J., Chapron C. The modern management of uterine fibroids-related abnormal uterine bleeding // *Fertil. Steril.* 2024. Vol. 122, Is. 1. P. 20–30. DOI: 10.1016/j.fertnstert.2024.04.041.
4. Ahmad A., Kumar M., Bhoi N.R., Badruddeen, Akhtar J., Khan M.I., Ajmal M., Ahmad M. Diagnosis and management of uterine fibroids: current trends and future strategies // *J. Basic Clin. Physiol. Pharmacol.* 2023. Vol. 34, Is. 3. P. 291–310. DOI: 10.1515/jbcp-2022-0219.
5. Marsh E.E., Wegienka G., Williams D.R. Uterine fibroids // *JAMA.* 2024. Vol. 331, № 17. P. 1492–1493. DOI: 10.1001/jama.2024.0447.
6. Всемирная организация здравоохранения (ВОЗ). ВПЧ и рак шейки матки. [Электронный ресурс]. URL: [https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/human-papillomavirus-\(hpv\)-and-cervical-cancer](https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/human-papillomavirus-(hpv)-and-cervical-cancer) (дата обращения: 16.07.2025).
7. Dolmans M.M., Petraglia F., Catherino W.H., Donnez J. Pathogenesis of uterine fibroids: current understanding and future directions // *Fertil. Steril.* 2024. Vol. 122, Is. 1. P. 6–11. DOI: 10.1016/j.fertnstert.2024.02.048.
8. Navarro A., Bariani M.V., Yang Q., Al-Hendy A. Understanding the impact of uterine fibroids on human endometrium function // *Front. Cell Dev. Biol.* 2021. Vol. 9. Art. ID: 633180. DOI: 10.3389/fcell.2021.633180.
9. Donnez J., Taylor H.S., Marcellin L., Dolmans M.M. Uterine fibroid-related infertility: mechanisms and management // *Fertil. Steril.* 2024. Vol. 122, Is. 1. P. 31–39. DOI: 10.1016/j.fertnstert.2024.02.049.
10. Bray F., Ferlay J., Soerjomataram I., Siegel R.L., Torre L.A., Jemal A. Global cancer statistics 2018: GLOBOCAN estimates // *CA Cancer J. Clin.* 2018. Vol. 68, Is. 6. P. 394–424. DOI: 10.3322/caac.21492.
11. Alkhrait S., Malasevskaja I., Madueke-Laveaux O.S. Fibroids and fertility // *Obstet. Gynecol. Clin. North Am.* 2023. Vol. 50, Is. 4. P. 663–675. DOI: 10.1016/j.ogc.2023.08.006.
12. Kirshenbaum M., Rozen G., Polyakov A. Contemporary management of uterine fibroids // *Aust. J. Gen. Pract.* 2024. Vol. 53, Is. 7. P. 488–490. DOI: 10.31128/AJGP-08-23-6919.
13. Huerga López C., Gutiérrez Alagüero A., Cristóbal García I. Management of uterine fibroids: approach to medical treatment // *Med. Clin. (Barc).* 2023. Vol. 161, Suppl. 1. P. S15–S21. DOI: 10.1016/j.medcli.2023.06.035.
14. De La Cruz M.S.D., Buchanan E.M. Uterine fibroids: diagnosis and treatment // *Am. Fam. Physician.* 2017. Vol. 95, Is. 2. P. 100–107.
15. Stewart E.A., Laughlin-Tommaso S.K., Catherino W.H., Lalitkumar S., Gupta D., Vollenhoven B. Uterine fibroids // *Nat. Rev. Dis. Primers.* 2016. Vol. 2. Article ID: 16043. DOI: 10.1038/nrdp.2016.43.

УДК 591.111:599.325.1:636.085

МОРФОЛОГИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ КРОВИ КРОЛИКОВ ПРИ ПРИМЕНЕНИИ ПРОБИОТИЧЕСКОЙ ДОБАВКИ «ОЛИН» К КОРМУ

Рахматова Н.Б.

*Самаркандский государственный университет имени Шарофа Рашидова,
Самарканд, e-mail: nigorarahmatova120@gmail.com*

Цель исследования – определить влияние пробиотического препарата «Олин» на улучшение физиологического состояния кроликов. Задачи исследования – изучить гематологические показатели кроликов и определить их изменения на фоне применения пробиотического препарата «Олин». В частном фермерском хозяйстве Самаркандского района («Абдурауф Давронов») в 2021 г. в ходе эксперимента было отобрано 40 кроликов породы шиншилла в возрасте 60 дней и сформировано 4 группы по 10 голов. При проведении экспериментов кролики были разделены на контрольную и 1, 2 и 3-ю опытные группы, причем контрольную группу кормили на основе традиционного основного рациона для кроликов, а кроликов опытных групп кормили с добавлением 0,01; 0,03 и 0,05 г пробиотиков на 1 кг их веса. Включение в рацион пробиотических препаратов оказало положительное влияние на сохранность и интенсивность прироста живой массы молодняка кроликов. Концентрация гемоглобина в крови подопытных кроликов (120 суток) увеличилась на 6,8% по сравнению с контрольной группой. Исследования по применению пробиотического препарата «Олин» представляют научный и практический интерес и подтверждают актуальность его использования в кролиководстве.

Ключевые слова: пробиотический препарат, «Олин», анализатор, эритроцит, лейкоцит, гемоглобин, кролики, корм

MORPHOLOGICAL INDICATORS OF RABBITS' BLOOD WHEN USING THE PROBIOTIC ADDITIVE "OLIN" TO THEIR FEED

Rakhmatova N.B.

*Samarkand State University named after Sharof Rashidov, Samarkand,
e-mail: nigorarahmatova120@gmail.com*

This article presents the results of preliminary studies on the analysis of some morphological changes in the blood of rabbits when their diet was enriched with the probiotic "Olin". The aim of the study is to determine the effect of the probiotic drug "Olin" on improving the physiological state of rabbits. Objectives of the study: to study the hematological parameters of rabbits and determine their changes against the background of the use of the probiotic drug "Olin". In 2021, during an experiment, 40 Chinchilla rabbits aged 60 days were selected on a private farm in the Samarkand region ("Abdurauf Davronov") and 4 groups of 10 heads were formed. During the experiments, the rabbits were divided into the control, 1st, 2nd and 3rd experimental groups, with the control group being fed on the basis of the traditional basic diet for rabbits, and the rabbits of the experimental groups being fed with the addition of 0.01, 0.03 and 0.05 g of probiotics per kg of their weight. The inclusion of probiotic preparations in the diet had a positive effect on the safety and intensity of live weight gain of young rabbits. The concentration of hemoglobin in the blood of experimental rabbits (120 days) increased by 6.8% compared to the control group. Studies on the use of the probiotic preparation "Olin" are of scientific and practical interest and confirm the relevance of its use in rabbit breeding.

Keywords: probiotic preparation, "Olin", analyzer, erythrocyte, leukocyte, hemoglobin, rabbits, food

Введение

В эпоху рыночной экономики главной задачей животноводов Республики Узбекистан является производство как можно большего количества высококачественных продуктов питания для населения, что можно обеспечить только за счет полноценного кормления животных, обеспечения интенсивности их роста и продуктивности, снижения расхода кормов на единицу продукции. Исследования последних лет показали, что решение этой проблемы в ведущих странах мира реализуется за счет развития кролиководства [1]. Действительно, мясо кролика имеет те преимущества, что оно богато ценным белком, имеет диетические

свойства, легко усваивается и позволяет производить необходимые человеку продукты в короткие сроки и с минимальными затратами. Кроме того, эта отрасль животноводства позволяет получать доход, производя помимо мясной продукции ценные шкуры и мех. За последние годы 20 стран с наиболее развитым сектором кролиководства в мире произвели в общей сложности 1,19 млн т мяса. Как оказалось, почти 86% его производится в Китае, Италии, Испании, Египте и Франции, при этом доля Китая составляет 50,2%. На мировом уровне особое внимание уделяется использованию меха кролика. В частности, объем производства пуха только от ангорских кроликов в мире

составляет 10 тыс. т, из которых 6–7 тыс. т отправляется в Китай, 540 т – в Чили, 400 т – в Аргентину и 200 т – во Францию. Кроме того, в Западной Европе в промышленных масштабах разводят кроликов-бройлеров, пух которых собирают до окончания линьки и используют для изготовления фетра [2, 3].

Если сравнить развитие кролиководства в мировом масштабе с ситуацией в Республике Узбекистан, то станет ясно, как много работы еще предстоит сделать в этой сфере. Одной из самых актуальных задач кролиководства будущего является производство мясной, кожевенной и пушковой продукции для нужд Республики Узбекистан. В республике необходимо внедрять достижения мировой практики в развитии этого направления, в первую очередь организовать кролиководство в промышленных масштабах, а для этого необходимо повысить показатели усвояемости традиционных кормов, используемых в кролиководстве, обеспечить здоровье кроликов в период выращивания и сохранить их поголовье. В целях обеспечения населения Республики Узбекистан химически безопасным, экологически чистым, высококачественным и не содержащим холестерина мясом кроликов особое внимание уделяется сохранению продуктивных качеств завозимых из-за рубежа мясных кроликов, адаптированных к суровым, экстремальным условиям Республики Узбекистан. Достижение эффективности в кролиководческих хозяйствах связано с увеличением количества и качества физиологически здоровой продукции, производимой путем корректировки рациона кроликов по компонентам питания. В последние годы для достижения этой цели уделяется внимание использованию микрофлоры, которая принимает непосредственное участие в координации компонентов пищи в процессе пищеварения. В частности, проводятся исследования по использованию пробиотика «Олин» для перевода заменимых аминокислот и жирных кислот в незаменимые путем синтеза ферментов амилазы, липазы и протеиназы, использования свойств антагонистического действия на патогенную микрофлору, повышения иммунного статуса. Имеется обширная литература, свидетельствующая о том, что применение пробиотиков способствует оптимизации обменных процессов в организме животных, а также о том, что применение различных биологически активных добавок и пробиотиков оказывает влияние на белково-аминокислотный статус, морфологические и биохимические показатели [4–6]. В связи с этим изучение влияния пробиотических

препаратов на физиологическое состояние организма животных имеет как теоретическое, так и практическое значение [7, 8]. В статье представлены результаты предварительных исследований авторов по анализу некоторых морфологических изменений в крови кроликов при обогащении их рациона пробиотиком «Олин».

Цель исследования – определить изменение морфологических показателей крови кроликов породы шиншилла при добавлении пробиотика «Олин» в их пищевой рацион.

Для достижения цели были поставлены следующие задачи:

- определение количества эритроцитов и концентрации гемоглобина в крови, как показателя физиологической функции насыщения крови кислородом, у кроликов породы шиншилла при добавлении разных доз пробиотика «Олин» в их пищевой рацион;

- определение изменения количества лейкоцитов в крови и скорости оседания эритроцитов (СОЭ), как показателя воспалительного процесса, у кроликов породы шиншилла при добавлении разных доз пробиотика «Олин» в их пищевой рацион.

Материалы и методы исследования

Экспериментальная часть исследований проводилась в фермерском хозяйстве имени Абдурауфа Давронова, расположенного в Самаркандском районе, который специализируется на молочном скотоводстве и кролиководстве, в период с 2021 по 2024 г. При организации эксперимента в течение 60 суток было отобрано 40 голов кроликов породы шиншилла местной селекции, из которых сформировано 4 группы по 10 голов. В ходе эксперимента кролики были разделены на контрольную и три опытные группы. Контрольную группу кормили на основе традиционного основного рациона для кроликов. Кроликов опытных групп кормили с добавлением 0,01 г (1-я группа), 0,03 г (2-я группа) и 0,05 г (3-я группа) пробиотика «Олин» (производитель: пробиотик НВП «БашИнком», гель из хитозана, разработанный учеными Центра технологического превосходства НГТУ) на 1 кг веса животного. В ходе экспериментов был организован достаточно высокий уровень нормированного питания с учетом возраста, живой массы и физиологического состояния кроликов. Животные всех опытных групп воду получали без ограничения. Ежедневно проводили учет поедаемости и расхода кормов. Были проведены все необходимые ветеринарные обработки животных и мест их содержания.

Для оценки показателей крови и СОЭ собирали образцы крови кроликов. Сбор образцов проводили в возрасте 60, 90, 120 и 150 суток. Кровь для исследования отбирали в гематологические пробирки путем прокола краевой ушной вены кроликов инъекционной иглой. В лабораторию кровь доставляли в день ее взятия [9, 10]. Анализы проводились на гематологическом анализаторе Mindray BC-5000 в научной лаборатории «Виварий (биофизиологические и биохимические исследования)» Института биохимии Самаркандского государственного университета имени Шарофа Рашидова. Полученные данные статистически обрабатывали при помощи программного обеспечения IBM SPSS Statistics Версия 23. Нормальность распределения выборок оценивали методом Колмогорова – Смирнова. Для нормально распределенных выборок применяли анализ ANOVA, с последующим сравнением групп тестом Бонферрони. Различия показателей считались статистически значимыми при уровне значимости $p < 0,05$.

Результаты исследования и их обсуждение

Как известно, кровь вместе с лимфой и тканевыми жидкостями образует внутреннюю среду организма, снабжая все клетки, ткани и органы организма человека и животных кислородом и питательными веществами, а также удаляя из организма продукты жизнедеятельности. Таким образом, с помощью лабораторного анализа состава крови можно контролировать ряд процессов, происходящих в организме. Изучение состава крови позволяет оценить состояние животного и его общую адаптацию к условиям окружающей среды, а также наблюдать различные изменения, происходящие в организме животного под влиянием питания и ухода, что позволяет оценить общее физиологическое состояние. На основании этого авторы проанализировали некоторые морфологические показатели крови подопытных кроликов. Следует отметить, что в начале эксперимента изучаемые показатели крови у кроликов всех опытных групп различались незначительно и находились в пределах физиологической нормы. Результаты анализа показали, что введение в рацион кроликов пробиотика «Олин» оказывает определенное влияние на гематологические показатели, что в первую очередь связано с неравномерностью темпов роста. При этом были даны комментарии по результатам анализа эритроцитов, количеству лейкоцитов в крови, а также скорости оседания эритроцитов. Как отмечено выше, в начале эксперимента изучаемые показате-

тели крови у кроликов всех опытных групп различались незначительно и находились в пределах физиологической нормы.

Двухфакторная ANOVA показала, что как на количество эритроцитов влияли возраст животных ($F_{3,159} = 85,5$, $p < 0,01$) и доза пробиотика ($F_{3,159} = 89,6$, $p < 0,01$), так и на количество лейкоцитов статически значимый эффект оказывал возраст животных ($F_{3,159} = 29,7$, $p < 0,01$) и доза пробиотика ($F_{3,159} = 166,8$, $p < 0,01$). Изменение скорости оседания эритроцитов достоверно зависело от возраста кроликов ($F_{3,159} = 6,8$, $p < 0,05$) и дозы препарата ($F_{3,159} = 128,9$, $p < 0,01$). Результаты анализа представлены в таблице.

Из таблицы видно, что у кроликов контрольной группы в возрасте 60, 90, 120 и 150 суток нет достоверных различий по количеству эритроцитов и лейкоцитов ($p > 0,05$, Бонферрони апостериорный тест), тогда как показатель скорости оседания эритроцитов увеличивался в последующие сутки ($p < 0,01$, Бонферрони апостериорный тест). Повышение лейкоцитов и скорости оседания эритроцитов свидетельствует об увеличении воспалительного процесса с возрастом у кроликов, это связано с тем, что с возрастом у кроликов, как и у других животных, происходит естественное снижение иммунитета и увеличение вероятности развития хронических воспалительных заболеваний [11]. Добавление в рацион корма пробиотика «Олин» в дозе 0,03 г на 1 кг веса достоверно снизило количество лейкоцитов уже в возрасте 60 суток по сравнению с контролем и продолжало достоверно снижать до возраста 150 суток ($p < 0,01$, Бонферрони апостериорный тест). При дозе 0,03 г на 1 кг веса кролика снижение скорости оседания эритроцитов было на 8,82; 7,35 и 1,47% соответственно для возраста 90, 120 и 150 суток по сравнению с 60 сутками. Скорость оседания эритроцитов в группах с разными дозами пробиотика достоверно снизилась по сравнению с контрольной группой ($P < 0,01$, Бонферрони апостериорный тест). Снижение СОЭ было на 6,25; 12,5 и 18,75%. При всех дозах пробиотика в возрасте 90 суток и далее количество лейкоцитов уменьшилось на 1,58; 3,17 и 4,76% соответственно ($P < 0,01$, Бонферрони апостериорный тест). При дозе 0,05 количество лейкоцитов уменьшилось на 5,88; 4,41 и 7,35%, а СОЭ не изменилось по сравнению с 60 сутками. Одновременно с этим показано, что в возрасте 90 суток происходит достоверное увеличение количества эритроцитов во всех группах с пробиотиком ($P < 0,01$, Бонферрони апостериорный тест). Доза пробиотика 0,05 привела к увеличению количества эритроцитов на 5,76; 9,61 и 11,53% ($P < 0,01$, апостериорный тест Бонферрони).

Изменения некоторых морфологических показателей крови кроликов, рацион которых был обогащен пробиотиком «Олин» ($M \pm m$)

Показатели	Группы			
	1 (контроль) (n = 10)	2 (n = 10)	3 (n = 10)	4 (n = 10)
60 суток				
Эритроциты ($\cdot 10^{12}/л$)	5,2 $\pm$ 0,02	5,2 $\pm$ 0,03	5,4 $\pm$ 0,04	5,2 $\pm$ 0,03
Лейкоциты ($\cdot 10^9/л$)	6,7 $\pm$ 0,03	6,8 $\pm$ 0,03	6,3 $\pm$ 0,04**	6,8 $\pm$ 0,04
СОЭ (мм/ч)	1,5 $\pm$ 0,05	1,5 $\pm$ 0,04	1,6 $\pm$ 0,03	1,4 $\pm$ 0,04
90 суток				
Эритроциты ($\cdot 10^{12}/л$)	5,0 $\pm$ 0,03	5,5 $\pm$ 0,04**,##	5,5 $\pm$ 0,04**	5,5 $\pm$ 0,03**,##
Лейкоциты ($\cdot 10^9/л$)	6,8 $\pm$ 0,04	6,2 $\pm$ 0,04**,##	6,2 $\pm$ 0,02**	6,4 $\pm$ 0,04**,##
СОЭ (мм/ч)	1,9 $\pm$ 0,02##	1,4 $\pm$ 0,03**	1,5 $\pm$ 0,02**	1,5 $\pm$ 0,02**
120 суток				
Эритроциты ($\cdot 10^{12}/л$)	5,2 $\pm$ 0,05	5,8 $\pm$ 0,04**,##	5,8 $\pm$ 0,04**,##	5,7 $\pm$ 0,05**,##
Лейкоциты ($\cdot 10^9/л$)	6,9 $\pm$ 0,04	6,3 $\pm$ 0,04**,##	6,1 $\pm$ 0,04**	6,5 $\pm$ 0,05**,##
СОЭ (мм/ч)	1,9 $\pm$ 0,03##	1,2 $\pm$ 0,02**,##	1,4 $\pm$ 0,02**	1,5 $\pm$ 0,02**
150 суток				
Эритроциты ($\cdot 10^{12}/л$)	5,3 $\pm$ 0,06	5,8 $\pm$ 0,04**,##	5,7 $\pm$ 0,03**,##	5,8 $\pm$ 0,03**,##
Лейкоциты ($\cdot 10^9/л$)	6,9 $\pm$ 0,05	6,7 $\pm$ 0,03	6,0 $\pm$ 0,05**,##	6,3 $\pm$ 0,04**,##
СОЭ (мм/ч)	1,8 $\pm$ 0,02##	1,3 $\pm$ 0,03**,##	1,3 $\pm$ 0,02**,##	1,6 $\pm$ 0,02**,##

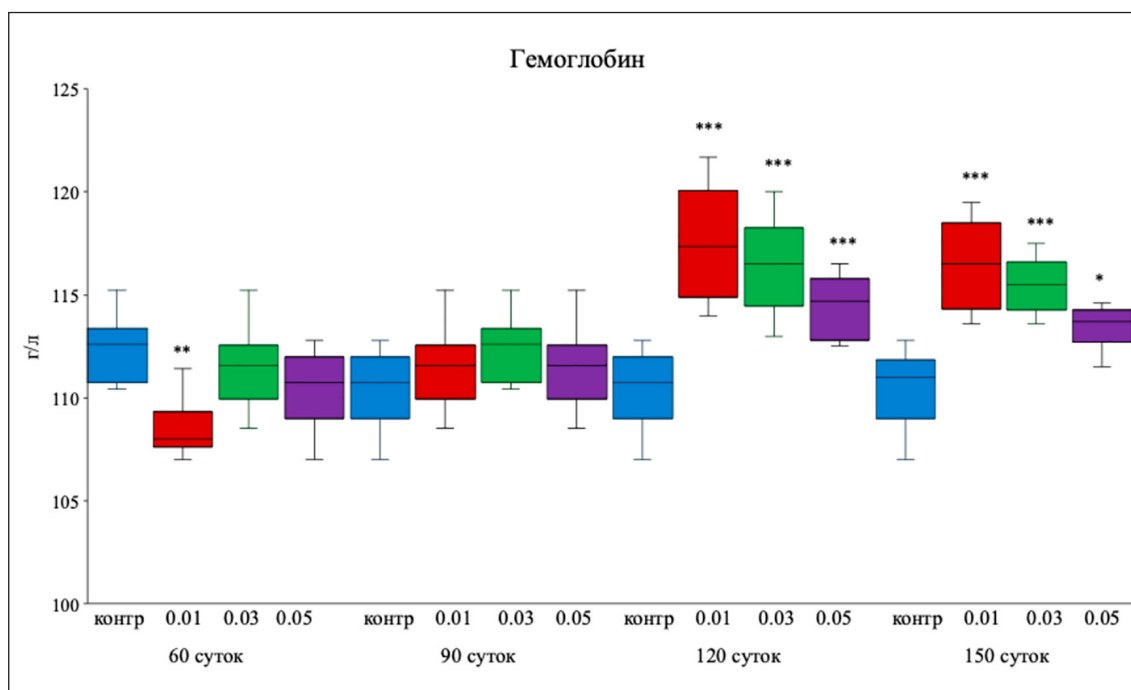
Примечание. ** – $p < 0,01$ по сравнению с контрольной группой тех же суток, апостериорное сравнение тестом Бонферрони; ## – $p < 0,01$ по сравнению с 60 сутками в одной группе, апостериорное сравнение тестом Бонферрони.

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

Таким образом, пробиотик достоверно повышал количество эритроцитов и снижал количество лейкоцитов и СОЭ. Увеличение количества эритроцитов положительно влияет на развитие иммунного статуса, а снижение лейкоцитов и СОЭ свидетельствует о снижении воспаления. Повышение количества эритроцитов у кроликов может благоприятно влиять на кислородный обмен и адаптационные возможности организма. Для понимания эффекта пробиотика «Олин» на дыхательный обмен было необходимо оценить один из важных компонентов эритроцитов – гемоглобин.

Гемоглобин выполняет дыхательную функцию крови и считается дыхательным ферментом. В ходе исследований авторов концентрация гемоглобина в крови подопытных животных изменялась в соответствии с динамикой количества эритроцитов (рисунок). На рисунке показано, что на концентрацию гемоглобина в крови кроликов достоверный эффект оказывали: фактор возраст кролика ($F_{3,159} = 43,2$, $p < 0,01$), фактор доза пробиотика ($F_{3,159} = 19,8$, $p < 0,01$), взаимодействие этих двух факторов ($F_{9,159} = 12,4$, $p < 0,01$).

Без применения пробиотика в контрольной группе количественные показатели концентрации гемоглобина не изменялись у кроликов в возрасте 90, 120 и 150 суток. Изменение в процентах было недостоверным и незначительным – от 1,8 до 1,9%. Добавление в рацион корма пробиотика «Олин» в дозе 0,01 г на 1 кг веса животного достоверно увеличило гемоглобин в возрасте 120 и 150 суток по сравнению с контролем ($P < 0,001$, апостериорный тест Бонферрони). Показатели увеличились через 120 суток на 6,4% и через 150 суток на 6,3%. В эксперименте, где доза пробиотиков была 0,03 г на 1 кг, показатели гемоглобина также достоверно увеличились у кроликов в возрасте 120 суток. Оба эти показателя увеличились на 2,3; 6,8 и 5% соответственно возрасту. При добавлении дозы пробиотика в корм 0,05 г на 1 кг веса наблюдалось достоверное повышение гемоглобина ($P < 0,001$, апостериорный тест Бонферрони). Показатель гемоглобина стал выше на 1; 3,7 и 2,8% в соответствующие возрасту сроки.



*Влияние разных доз пробиотика «Олин» на уровень гемоглобина в крови кроликов. В каждой группе было по 10 самцов. Данные представлены Box plot: среднее значение, стандартная ошибка и стандартное отклонение. *, **, *** – $p < 0,05$; $0,01$; $0,001$ по сравнению с контрольной группой тех же суток, апостериорное сравнение тестом Бонферрони. Источник: составлено авторами по результатам данного исследования*

Таким образом, добавление пробиотика «Олин» не только повысило количество эритроцитов, но и увеличило количество его функционального компонента – гемоглобина. Повышение снабжения кислородом тканей, в том числе и мышечных, будет способствовать повышению качества продукта – мяса кроликов.

В результате полученных данных и их анализа авторы отметили изменения морфологического состава крови как результат включения в рацион кроликов пробиотика «Олин». Авторы считают, что все количественные изменения в крови кроликов обусловлены влиянием пробиотической кормовой добавки «Олин», которая повысила продуктивность кроликов опытных групп и их естественную резистентность.

Закключение

Результаты гематологического анализа свидетельствуют, что добавление пробиотика «Олин» в количестве $0,03$ г на 1 кг живой массы к традиционному рациону кроликов приводит к полному усвоению компонентов рациона, улучшению их общего физиологического состояния, снижению воспаления, а в стрессовых ситуациях – к усилению защитных факторов и, как следствие, повы-

шению их продуктивности. Результаты проведенных исследований доказали целесообразность использования пробиотического препарата «Олин» в составе традиционного рациона в кролиководстве.

Список литературы

1. Комлацкий В.И., Логинов С.В., Комлацкий Г.В., Игнатенко Я.А. Эффективное кролиководство. Краснодар: КубГАУ, 2013. 224 с. [Электронный ресурс]. URL: <https://kubsau.ru/upload/iblock/79b/79b62efba4420920885c31151d340e56.pdf> (дата обращения: 03.07.2025).
2. Moore D.M., Zimmerman K., Smith S.A. Hematological assessment in pet rabbits: blood sample collection and blood cell identification // Veterinary clinics of North America: Exotic animal practice. 2015. Vol. 18, Is. 1. P. 9–19. DOI: 10.1016/j.cvx.2014.09.003.
3. Suckow M.A., Schroeder V., Douglas F.A. The Laboratory Rabbit (2nd ed.). CRC Press, 2010. 148 p. DOI: 10.1201/b13585.
4. Gugolek A., Kowalska D. Feeds of animal origin in rabbit nutrition – a review // Annals of Animal Science. 2022. DOI: 10.2478/aoas-2022-0049.
5. Siddiqui S.A., Gerini F., Ikram A., Saeed F., Feng X., Chen Y. Rabbit meat –production, consumption and consumers' attitudes and behavior // Sustainability. 2023. Vol. 15, Is. 3. P. 2008. DOI: 10.3390/su15032008.
6. Colombino E., Biasato I., Michetti A., Rubino M.G., Franciosa I., Giribaldi M., Antoniazzi S., Bergagna S., Paliasso G., Ferrocino I. Effects of dietary supplementation of *Lactobacillus acidophilus* on blood parameters and gut health of rabbits // Animals. 2022. Vol. 12, Is. 24. P. 3543. DOI: 10.3390/ani12243543.

7. Abd El-Hamid M.I., Ibrahim D., Hamed R.I., Nos-sieur H.H., Elbanna M.H., Baz H., Abd-Allah E.M., El Oksh A.S.A., Ibrahim G.A., Khalifa E. Modulatory impacts of multi-strain probiotics on rabbits' growth, nutrient transporters, tight junctions and immune system to fight against *Listeria monocytogenes* Infection // Animals. 2022. Vol. 12, Is. 2082. DOI: 10.3390/ani12162082.
8. Nwachukwu C.U., Aliyu K.I., Ewuola E.O. Growth indices, intestinal histomorphology, and blood profile of rabbits fed probiotics- and prebiotics-supplemented diets // Translational Animal Science. 2021. Vol. 5, Is. 3. DOI: 10.1093/tas/txab096.
9. Ноздрин Г.А., Громова А.В., Иванова А.Б. Морфологические и биохимические показатели у кроликов при применении пробиотического препарата Велес 6.59 // Достижения науки и техники АПК. 2012. № 10. С. 53–55. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/morfologicheskie-i-biohimicheskie-pokazateli-krovi-u-krolikov-pri-primenenii-probioticheskogo-preparata-veles-6-59> (дата обращения: 03.07.2025).
10. EFSA AHAW Panel (EFSA Panel on Animal Health and Welfare), Saxmose Nielsen S., Alvarez J., Bicot D.J., Calistri P., Depner K., Drewe J.A., Garin-Bastuji B., Gonzales Rojas J.L., Gortazar Schmidt C., Michel V., Miranda Chueca M.A., Roberts H.C., Sihvonen L.H., Spoolder H., Stahl K., Velarde Calvo A., Viltrop A., Buijs S., Edwards S., Candiani D., Mosbach-Schulz O., Van der Stede Y., Winckler C. Scientific opinion on the health and welfare of rabbits farmed in different production systems // EFSA Journal. 2020. Vol. 18, Is. 1. № 5944. P. 96. DOI: 10.2903/j.efsa.2020.5944.
11. García-Rubio V.G., Bautista-Gómez L.G., Martínez-Castañeda J.S., Romero-Núñez C. Multicausal etiology of the enteric syndrome in rabbits from Mexico. Rev Argent Microbiol. 2017. Vol. 49, Is. 2. P. 132–138. DOI: 10.1016/j.ram.2017.03.001.

УДК 597.2/.5:597.4/.5

ИСТОРИЯ ИЗУЧЕНИЯ, ФОРМИРОВАНИЕ И СОВРЕМЕННЫЙ СОСТАВ ИХТИОФАУНЫ НИЖНЕГО ТЕЧЕНИЯ РЕКИ НАРЫН

Умаров Ф.А., Мукимов М.А., Назаров М.Ш.

Ферганский государственный университет, Фергана,
e-mail: nazarovmuhammadrasul04@gmail.com

Река Нарын является одним из главных притоков р. Сырдарьи. Начало изучения ихтиофауны бассейна р. Сырдарьи в целом и р. Нарын в частности, как и других среднеазиатских водоемов, связано с именами российских ученых. Цель настоящей работы – проанализировать историю изучения и формирования ихтиофауны бассейна р. Сырдарьи, в частности нижнего течения р. Нарын, а также определить ее современный таксономический состав. Материалы для настоящего исследования были собраны в 2020–2024 гг. в нижнем течении р. Нарын. Таксономический статус рыб установлен на основе *Eschmeyer's Catalog of Fishes* (каталога рыб Эйшмейера), опубликованного при Академии наук Калифорнии. Первичные ихтиологические исследования этого бассейна были проведены в конце XIX – начале XX в. Л.С. Берг (1948) охарактеризовал 47 видов рыб бассейна Сырдарьи. М.Ф. Вундтсеттель (1994) привел данные о 51 виде рыб по всему бассейну Сырдарьи и 25 видах для нижнего течения р. Нарын. В последние десятилетия были обнаружены новые виды рыб в водоемах, относящихся к бассейну верхнего течения Сырдарьи. Например, Sheraliev и Peng (2021) сообщили об открытии нового для науки вида *Triplophysa ferganaensis* из рода *Triplophysa* семейства Nemacheilidae в левом притоке Шахимардансая. По результатам данного исследования, современный состав ихтиофауны нижнего течения реки Нарын включает 23 вида, относящихся к 12 семействам.

Ключевые слова: ихтиофауна, формирование, нижнее течение, верхнее течение, бассейн, биоразнообразие, эндемический вид, инвазивный вид

HISTORY OF STUDY, FORMATION AND MODERN COMPOSITION OF THE ICHTHYOFAUNA OF THE LOWER REACH OF THE NARYN RIVER

Umarov F.A., Mukimov M.A., Nazarov M.Sh.

Fergana State University, Fergana, e-mail: nazarovmuhammadrasul04@gmail.com

The Naryn River is one of the main tributaries of the Syr Darya River. The beginning of ichthyofaunal research in the Syr Darya River basin in general, and the Naryn River in particular, as with other water bodies in Central Asia, is associated with Russian scientists. The purpose of this work is to analyze the history of the study and formation of the ichthyofauna of the Syr Darya River basin, in particular the lower reaches of the Naryn River, and to determine its modern taxonomic composition. The material for this study was collected during 2020–2024 in the lower course of the Naryn River. The taxonomic status of the fish species was determined based on *Eschmeyer's Catalog of Fishes*, published by the California Academy of Sciences. Initial ichthyological studies in this basin were conducted in the late 19th and early 20th centuries. L.S. Berg (1948) described 47 fish species in the Syr Darya basin. M.F. Wundtsettel (1994) reported 51 fish species across the entire Syr Darya basin and 25 species for the lower course of the Naryn River. In recent decades, new fish species have been discovered in water bodies belonging to the upper Syr Darya basin. For instance, Sheraliev and Peng (2021) reported the discovery of a new species for science - *Triplophysa ferganaensis* from the genus *Triplophysa* (family Nemacheilidae) - in the left tributary of the Shahimardansay River. According to the results of this study, the modern composition of the ichthyofauna of the lower reaches of the Naryn River includes 23 species belonging to 12 families.

Keywords: ichthyofauna, formation, lower course, upper course, basin, biodiversity, endemic species, invasive species

Введение

Бассейн р. Сырдарьи является одним из крупнейших водных бассейнов Центральной Азии, протекающим через горные, предгорные и равнинные районы четырех стран региона и впадающим в Аральское море, обеспечивая пресной водой обширные территории. Он охватывает значительную часть территории указанных государств и включает разнообразные природные зоны.

Наибольший интерес в изучении ихтиофауны бассейна Сырдарьи представляют

работы многих исследователей. В их трудах содержатся достаточно подробные описания ихтиофауны бассейна и видового состава рыб. Так, Л.С. Берг отметил 38 видов рыб в бассейне Сырдарьи, включая и Аральский участок [1, с. 9–10, 25–27, 220–221, 263]. Г.В. Никольский приводит сходные данные. Ф.А. Турдаков несколько расширил список – до 41 вида, при этом он подчеркивал, что перечень видов неполный, особенно в отношении среднего течения Сырдарьи и ее притоков. Наиболее полные сведения о видо-

вом составе приводит Г.К. Камилов (1973) – 54 вида рыб, а М.Ф. Вундцеттель (1994) указывает на 51 вид [2, с. 10–12; 3, с. 208–210].

К настоящему времени естественная гидрографическая сеть Аральского бассейна существенно изменилась: сток основных рек зарегулирован уже в пределах предгорных участков, создана развитая сеть ирригационных и коллекторно-дренажных каналов, построено большое количество водохранилищ. Зарегулирование стока привело к изменению гидрологического режима рек, что, в свою очередь, отразилось на составе фауны и биологических характеристиках населяющих их рыб.

Проводимые в течение последних 60–70 лет акклиматизационные мероприятия также оказали значительное влияние на ихтиофауну: произошло ее реструктурирование, в результате чего наряду с промысловыми видами в водоемах распространились многочисленные малоценные и непромысловые виды рыб.

Основные реки Аральского бассейна, включая Сырдарью, являются трансграничными, проходящими по территории нескольких государств. Сохранение биоразнообразия и рациональное использование ихтиофауны возможно только при согласованных действиях этих стран на основе современных данных о видовом составе, распределении, биологических особенностях и воспроизводстве основных видов рыб.

Все притоки верхнего течения Сырдарьи, расположенные на территории Ферганской долины Узбекистана, являются горными. К их числу относится и Нарын – один из главных источников Сырдарьи. Она берет начало в Центральном Тянь-Шане и является трансграничной рекой. Ее общая длина составляет 534 км, а площадь бассейна – 58370 км². Вода в нижнем течении Нарына отличается прозрачностью и прохладой: в июле ее температура достигает +16...+17 °С, а зимой понижается до +3...+4 °С.

Цель исследования – проанализировать историю изучения и формирования ихтиофауны бассейна р. Сырдарьи в целом и нижнего течения р. Нарын в частности, а также определить ее современный таксономический состав.

Материалы и методы исследования

Материалы для настоящего исследования были собраны в 2020–2024 гг. в нижнем течении р. Нарын, относящемся к бассейну верхнего течения р. Сырдарьи. Географические координаты изучаемого участка: 41°01'05.4" с.ш. и 71°56'52.8" в.д.

Отлов рыб проводился с использованием ставных сетей, рыболовных сачков и крючковой снасти. Для определения видов рыб применялись определители различных авторов. После предварительной анестезии образцы фиксировались в 10%-ном формалине.

Таксономический статус рыб установлен на основе *Eschmeyer's Catalog of Fishes* (каталога рыб Эйшмейера), опубликованного при Академии наук Калифорнии [4], а также с опорой на международные базы данных по ихтиофауне [5 с. 299; 6].

У исследуемых рыб измерялись: общая длина тела (TL, до конца хвостового плавника), стандартная длина тела (SL, до окончания чешуйного покрова) с точностью до 1 мм, общая масса тела (W), масса тела без внутренних органов (W1) с точностью до 0,01 г. Дополнительно фиксировались меристические признаки (количество лучей плавников, чешуй и др.), что позволяло уточнять видовую принадлежность.

Результаты исследования и их обсуждение

К числу первых фундаментальных ихтиологических исследований по Сырдарье относятся труды К.Ф. Кесслера «Ихтиологическая фауна Туркестана» (1872) и «Рыбы, водящиеся и встречающиеся в Арало-Каспийско-Понтийской ихтиологической области» (1877) [2].

В период с 1899 по 1907 г. Л.С. Берг занимался изучением ихтиофауны Аральского моря и Сырдарьи, собрав богатый материал по систематике, биологии и промысловому значению рыб. Его обобщение было опубликовано в сводной работе «Рыбы Туркестана» (1905), в которой он, в частности, указывает на наличие в р. Нарын таких видов, как *Pseudoscaphirhynchus fedchenkoi*, *Schizothorax eurystomus*, *Diptychus maculatus* и *Salmo oxianus* [7].

Значительный вклад в изучение ихтиофауны Сырдарьи внес также Г.В. Никольский, обобщивший собственные исследования в монографии «Ихтиофауна Аральского моря» (1938–1940) [3, с. 205–208]. Существенные данные о рыбах предгорной и горной части бассейна Сырдарьи были собраны Ф.А. Турдаковым (1948, 1954, 1963 и др.), который уделял особое внимание вопросам систематики и зоогеографии ихтиофауны [8, с. 120].

В 1948–1949 гг. Л.С. Берг опубликовал обширный труд «Рыбы пресных вод СССР и сопредельных стран», состоящий из трех томов, где представлена полная характеристика ихтиофауны бассейна Сырдарьи. В данной работе он описывает 47 видов

рыб, обитающих в бассейне. В числе видов, зарегистрированных им в р. Нарын, указаны: *Gobio lepidolaemus*, *Luciobarbus capito*, *Schizothorax eurystomus*, *Alburnus taeniatus*, *Cyprinus carpio*, *Iskandaria kuschelewitschi*, *Dzhunia amudarjensis*, *Cobitis aurata*, *Silurus glanis*, *Glyptosternon oschanini* [1, с. 9–10, 25–27, 220–221, 263].

Ф.А. Турдаков в работе 1963 г. приводит сведения о 17 видах рыб, обнаруженных им в р. Нарын на территории Киргизии. Среди них: *Aspiolucius esocinus*, *Gobio lepidolaemus*, *Barbus capito conocephalus* (ныне *Luciobarbus capito*), *Schizothorax eurystomus*, *Schizothorax intermedius euryccephalus*, *Diptychus sewerzowi*, *Diptychus gymn. oschanini*, *Nemacheilus conipterus*, *Nemacheilus dorsalis* (ныне *Triplophysa dorsalis*), *Gambusia affinis* (ныне *Gambusia holbrooki*), *Silurus glanis*, *Glyptosternon reticulatum* (ныне *Glyptosternon oschanini*) и *Cottus spinulosus*. Он также указывает на наличие ряда видов в нижнем течении р. Нарын на территории Ферганской долины Узбекистана, среди которых *Nemacheilus kuschakewitschi*, *Schizothorax eurystomus*, *Glyptosternon oschanini*, *Gobio lepidolaemus*, *Nemacheilus amudarjensis*, *Alburnoides taeniatus* [8, с. 25–29, 152–158].

В 1973 г. Г.К. Камилов определил 54 вида рыб для среднего и верхнего течения Сырдарьи. В 1994 г. М.Ф. Вундцеттель указал 51 вид рыб по всему бассейну Сырдарьи, из которых 25 видов зафиксированы в нижнем течении р. Нарын. Т.В. Салихов (1990) и Т.В. Салихов совместно с Б.Г. Камиловым (1995) также изучали ихтиофауну среднего течения Сырдарьи [9, с. 102–105].

Во второй половине XX в. началась деградация Аральского моря. Реки Амударья и Сырдарья стали приносить все меньше воды, в результате чего уровень моря с каждым годом снижался. Арал утратил свое рыбохозяйственное значение: к концу XX в. из-за высокой солености воды в нем уже не могли обитать рыбы. Многие ценные виды исчезли, а некоторые, такие как *Pseudoscaphirhynchus fedtschenkoi*, *Pseudoscaphirhynchus hermanni*, *Pseudoscaphirhynchus kaufmanni*, были внесены в Международную Красную книгу.

В целях компенсации утраченных промысловых ресурсов, повышения рыбопродуктивности прудовых хозяйств республики и более эффективного использования естественной кормовой базы водоемов были начаты акклиматизационные работы по заселению водоемов Узбекистана промысловыми видами рыб. Так, уже в 1930-е гг. в Узбекистан впервые была интродуцирована *Gambusia holbrooki* для борьбы с маляри-

ей. В 1951–1952 гг. в прудовые хозяйства республики был завезен *Carassius gibelio* из Московской области, а в 1958 г. – *Abramis brama* в одно из водохранилищ. С 1961 г. широко развернулись работы по акклиматизации таких ценных промысловых видов рыб, как *Hypophthalmichthys molitrix* и *Ctenopharyngodon idella*, для выращивания в прудовом рыбоводстве Узбекистана. Эти виды были завезены из рек Дальнего Востока Азии и относятся к китайскому равнинному зоогеографическому комплексу. Впоследствии *Hypophthalmichthys molitrix* и *Ctenopharyngodon idella* проникли в естественные водоемы региона, вошли в состав ихтиофауны бассейна Аральского моря, заняли свободные экологические ниши и стали важными объектами промысла. Интродукция осуществлялась из разливов р. Янцзы (Центральный Китай), и вместе с планово вселяемыми видами случайно были завезены и другие рыбы. Некоторые из них успешно натурализовались в новых условиях, вошли в состав местной ихтиофауны и начали конкурировать с аборигенными видами [10]. В 1963 г. в Чардаринское водохранилище (в среднем течении Сырдарьи) из р. Урал (Россия) был акклиматизирован *Sander lucioperca*. Из Чардаринского водохранилища он распространился в систему озер Арнасай. Многие из интродуцированных видов, продвигаясь по руслу Сырдарьи, достигли и р. Нарын. Некоторые из них успешно прижились и в настоящее время встречаются в этих водах в значительном количестве.

Изменение облика ихтиофауны Сырдарьинского бассейна обусловлено не только интродукцией чужеродных видов, но и рядом других факторов. В качестве примера можно привести открытие за последние десятилетия нескольких новых видов рыб в водоемах, относящихся к бассейну верхнего течения Сырдарьи. Так, Sheraliev и Peng (2021) сообщили об обнаружении нового для науки вида *Triplophysa ferganaensis* из рода *Triplophysa* семейства Nemacheilidae в левом притоке Шахмарданская – р. Аксув [11]. На сегодняшний день данный вид считается эндемиком Ферганской долины [12, с. 43–49].

В горной реке Сох, также расположенной в Ферганской долине, был выявлен еще один новый вид рыб – сохский голец (*Triplophysa daryovae* Sheraliev, Kayumova & Peng, 2022), относящийся к тому же семейству Nemacheilidae [13; 14]. В Большом Ферганском канале (Ферганская долина) найден еще новый вид рыб – *Dzhunia pseudoamudarjensis* из рода *Dzhunia* [15].

Современный видовой состав ихтиофауны нижнего течения р. Нарын

№	1	2	3	4	5	6
1	Salmoniformes Bleeker, 1859 <i>Salmo oxianus</i> (Kessler, 1874)				+	+
2	<i>Oncorhynchus mykiss</i> (Walbaum, 1792)		+			
3	Cypriniformes Bleeker, 1859 <i>Triplophysa strauchii</i> (Kessler, 1874)			+		
4	<i>Triplophysa labiata</i> (Kessler, 1974)			+		
5	<i>Carassius gibelio</i> (Bloch, 1782)		+			
6	<i>Cyprinus carpio</i> Linnaeus, 1758	+				
7	<i>Schizothorax eurystomus</i> Kessler, 1872	+				
8	<i>Hemiculter leucisculus</i> (Basilewsky, 1855)			+		
9	<i>Hypophthalmichthys molitrix</i> (Valenciennes, 1844)		+			
10	<i>Opsariichthys bidens</i> (Guntner, 1873)			+		
11	<i>Rhodeus ocellatus</i> (Kner, 1866)			+		
12	<i>Abbottina rivularis</i> (Basilewsky, 1855)			+		
13	<i>Gobio lepidolaemus</i> Kessler, 1872	+			+	
14	<i>Pseudorasbora parva</i> (Temminck & Schlegel, 1846)			+		
15	<i>Alburnus chalcoides</i> (Güldenstädt 1772)	+				
16	<i>Alburnus taeniatus</i> Kessler, 1874	+			+	
17	<i>Leuciscus squaliusculus</i> (Kessler, 1872)	+			+	
18	<i>Rutilus lacustris</i> (Pallas, 1814)	+				
19	Siluriformes Cuvier, 1817 <i>Silurus glanis</i> Linnaeus, 1758	+				
20	<i>Glyptosternon oschanini</i> (Herzenstein, 1889)	+			+	+
21	Gobiiformes Günther, 1880 <i>Rhinogobius cf. lindbergi</i>			+		
22	Cyprinodontiformes Berg, 1940 <i>Gambusia holbrooki</i> Girard, 1859		+			
23	Perciformes Bleeker, 1863 <i>Cottus spinulosus</i> Kessler, 1872	+			+	+

Примечание. 1 – таксономический статус рыб; 2 – местные виды; 3 – акклиматизированные виды; 4 – случайно занесенные виды; 5 – виды-эндемики; 6 – виды, занесенные в Красную книгу Узбекистана. Источник: составлено авторами.

Кроме того, в результате молекулярно-генетического анализа, основанного на исследовании гена, кодирующего белок, связывающий интерфоторецепторный ретиноид (interphotoreceptor retinoid-binding protein, IRBP), было установлено, что *Petroleuciscus squaliusculus* (Kessler, 1872), ранее считавшийся единственным представителем рода *Petroleuciscus* в Центральной Азии и эндемиком Ферганской долины, на самом деле относится к роду *Leuciscus* [16]. Также была уточнена систематическая принадлежность одного из таксонов рода *Rhinogobius* sp., ранее не идентифицированного, встречающегося в бассейне Сырдарьи, в том числе в р. Карадарья. На основании молекулярных данных установлено, что этот вид следует относить к *Rhinogobius cf. lindbergi* [16; 17].

По итогам многолетних исследований был определен современный видовой состав ихтиофауны нижнего течения р. Нарын на территории Ферганской долины Узбекистана. Он включает 23 вида, относящихся к 12 семействам и 6 отрядам (таблица).

Заключение

История изучения ихтиофауны р. Нарын неразрывно связана с исследованиями, проводившимися в бассейне р. Сырдарьи, к которому Нарын относится. К числу крупнейших исследователей, внесших вклад в изучение видового состава ихтиофауны бассейна Сырдарьи в целом и Нарына в частности, относятся К.Ф. Кessler, Л.С. Берг, Г.В. Никольский, Ф.А. Турдаков, Г.К. Камбаров, М.Ф. Вундцетель и др.

Последние известные на сегодняшний день исследования по ихтиофауне нижнего течения р. Нарын были проведены М.Ф. Вундцеттелем в 1994 г. В его работе были описаны 25 видов рыб, из которых 15 являлись аборигенными, а 10 – интродуцированными.

Согласно результатам данного исследования, современный видовой состав ихтиофауны нижнего течения р. Нарын составляет 23 вида рыб, относящихся к 6 отрядам и 12 семействам. Из них местные виды составляют 10 (43,5%), акклиматизированные – 5 (21,7%), случайно завезенные – 8 (34,8%). Промысловое значение имеют 9 видов (39,1%). Среди аборигенных рыб 5 видов являются эндемиками, а 3 вида занесены в Красную книгу Узбекистана.

Современная ихтиофауна нижнего течения р. Нарын, как и всей р. Сырдарьи в целом, формировалась под влиянием трех основных факторов: естественного обитания аборигенных видов, целенаправленной интродукции промысловых видов и случайного заноса инородных видов в водоемы региона.

Помимо этого, в последние десятилетия в бассейне верхнего течения Сырдарьи были открыты новые для науки виды рыб. Так, Sheraliev и Peng (2021) описали новый вид *Triplophysa ferganaensis* из семейства Nemacheilidae, обнаруженный в левом притоке Шахмардансая – р. Аксу; *Triplophysa daryoae* был описан Sheraliev, Kayumova & Peng (2022) в горной реке Сох (Ферганская долина), и в Большом Ферганском канале (Ферганская долина) найден еще новый вид рыб – *Dzhunia pseudoamudariensis* из рода *Dzhunia*.

Кроме того, на основе молекулярно-генетического анализа была уточнена родовая принадлежность ранее считавшегося эндемиком Ферганской долины *Petroleuciscus squaliusculus* (Kessler, 1872), который переключен в род *Leuciscus*. Также была установлена систематическая принадлежность одного из малоизученных таксонов рода *Rhinogobius* sp., встречающегося в бассейне Сырдарьи: на основании молекулярных данных он отнесен к виду *Rhinogobius* cf. *lindbergi*.

Акклиматизированные и случайно занесенные виды рыб в р. Нарын составляют более половины ее современной ихтиофауны. При этом случайно интродуцированные виды формируют около одной трети всей ихтиофауны. С момента их появления в водоемах бассейна Аральского моря прошло не менее 50–60 лет, за которые данные виды

не только успешно прижились, но и начали естественно воспроизводиться в новых условиях.

Интродуцированные виды заняли свободные экологические ниши и вступили в конкуренцию с аборигенными формами за ресурсы среды обитания. Эти виды прочно вошли в структуру местной ихтиофауны, оказав значительное влияние на биологическое разнообразие региона. Они стали частью трофических цепей, адаптировались к природным условиям и изменили облик водных экосистем.

Дополнительную трансформацию ихтиофауны региона вызвали новейшие открытия: описания новых видов, перенос отдельных видов из одного рода в другой, а также пересмотр таксономической принадлежности ранее известных форм. Все эти изменения привели к перестройке таксономической структуры и научной классификации ихтиофауны.

Таким образом, современное биоразнообразие ихтиофауны как водоемов Узбекистана в целом, так и бассейна верхнего течения реки Сырдарьи в частности претерпело коренные изменения, обусловленные как естественными, так и антропогенными факторами.

Список литературы

1. Берг Л.С. Рыбы пресных вод СССР и сопредельных стран. Ч. 2. М. – Л.: Изд-во АН СССР, 1949. С. 925.
2. Вундцеттель М.Ф. Эколого-зоогеографический анализ современной ихтиофауны бассейна реки Сырдарьи: автореф. дис. ... докт. биол. наук. Москва, 1994. 59 с. [Электронный ресурс]. URL: <https://earthpapers.net/ekologo-zoogeograficheskiy-analiz-sovremennoy-ichtiofauny-basseyna-reki-syrdari> (дата обращения: 12.07.2025).
3. Никольский Г.В. Рыбы Аральского моря. М.: МОИП, 1940. 216 с.
4. Fricke R., Eschmeyer W.N., Van der Laan R. Eschmeyer's Catalog of Fishes: Genera, Species, References. 2023. [Электронный ресурс]. URL: <http://researcharchive.calacademy.org/research/ichthyology/catalog/fishcatmain.asp> (дата обращения: 12.07.2025).
5. Kottelat M., Freyhof J. Handbook of European freshwater fishes. Cornol; Berlin: Kottelat & Freyhof, 2007. XIV. 646 p. ISBN 978-2-8399-0298-4.
6. Froese R., Pauly D. FishBase. 2019. [Электронный ресурс]. URL: www.fishbase.org (дата обращения: 16.07.2025).
7. Karimov E.B., Karimov B.K., Schletterer M., Hayes D.S. Ichthyological research in the Koxu River, Uzbekistan // Experimental Biology. 2023. Vol. 96, Is. 3. P. 133–141. DOI: 10.26577/EB.2023.V96.I3.011.
8. Турдаков Ф.А. Рыбы Киргизии. Фрунзе: Изд-во АН Киргизии, 1963. 240 с.
9. Юлдашов М.А., Салихов Т.В., Камиллов Б.Г. Рыбы Узбекистана (*Fishes of Uzbekistan*). Ташкент: GOLD-PRINT NASHR, 2018. 178 с.
10. Sharapovich N.M., Adxamovich M.M.K., Mirzakarimovich M.M., Iqboljonovna G.G., Abdulfattoyevich U.F. Influence of accidentally introduced fish species on the biodiversity of ichthyofauna of reservoirs in the upper reaches of the Syrdarya

River Basin // In: Samoylenko I., Rajabov T. (eds) Innovations in Sustainable Agricultural Systems. Vol. 1. ISAS 2024. Lecture Notes in Networks and Systems. Vol. 1130. Springer, Cham, 2024. P. 75–84. DOI: 10.1007/978-3-031-70673-8_6.

11. Sheraliev B., Peng Z. *Triplophysa ferganaensis*, a new loach species // Journal of Fish Biology. 2021. Vol. 99, Is. 3. P. 807–817. DOI: 10.1111/JFB.14764.

12. Мирабдуллаев И.М., Муллабаев Н.Р. Ихтиофауна Узбекистана: таксономический состав и современное состояние // Узбекский биологический журнал. 2020. № 5. С. 43–49. URL: <https://storage.academy.uz/source/1/journals/Био2020-5.pdf> (дата обращения: 16.07.2025).

13. Sheraliev B., Kayumova Y., Peng Z. *Triplophysa daryoae*, a new nemacheilid loach // ZooKeys. 2022. Vol. 1125. P. 47–67. DOI: 10.3897/ZOOKEYS.1125.85431.

14. Sheraliev B.M. The systematic analysis of the fish fauna of the Fergana Valley // European Journal of Biomedical and Life Sciences. 2015. No. 2. P. 80–84. DOI: 10.20534/EL-BLS-15-2-80-84.

15. Sheraliev B., Kayumova Y. *Dzihunia pseudoamudariensis*, a new loach // Zootaxa. 2024. Vol. 5536, Is. 1. P. 185–192. DOI: 10.11646/ZOOTAXA.5536.1.8.

16. Sheraliev B., Peng Z. Fish diversity in a doubly landlocked country: a description of the fish fauna of Uzbekistan using DNA barcoding // bioRxiv. 2021. May 8. DOI: 10.1101/2021.05.08.443274.

17. Sheraliev B., Peng Z. Molecular diversity of Uzbekistan's fishes assessed with DNA barcoding // Scientific Reports. 2021. Vol. 11. Art. No. 16894. DOI: 10.1038/S41598-021-96487-1.

УДК 631.416.9:631.452

ИЗМЕНЕНИЯ СОДЕРЖАНИЯ АМИНОКИСЛОТ В ПОЧВАХ ВЕРТИКАЛЬНЫХ И ГОРИЗОНТАЛЬНЫХ ЗОН ФЕРГАНСКОЙ ДОЛИНЫ УЗБЕКИСТАНА

Исомиддинов З.Ж.*Кокандский государственный университет, Коканд, e-mail: 0901zokir@gmail.com*

В данном исследовании были изучены изменения содержания аминокислот в почвах Ферганской долины в условиях вертикальной и горизонтальной зональности. Количественные и качественные вариации выявленных аминокислот были проанализированы с учетом природных и антропогенных факторов. Было установлено, что вариабельность аминокислотного профиля определялась состоянием почвенной среды, степенью засоления, содержанием гумуса, уровнем окультуренности и климатическими условиями. Результаты показали, что содержания глутаминовой и аспарагиновой кислот были относительно схожими в различных типах почв как вертикальной, так и горизонтальной зональности, тогда как серин в большем количестве содержался в недавно орошаемых типичных сероземах. В светло-каштановых почвах с горизонтальной зональностью было выявлено высокое содержание пролина, что было связано с генезисом и эволюцией данных почв. Тирозин был обнаружен исключительно в горных бурых почвах, а валин достигал наибольшей концентрации именно в этом типе почв. Таким образом, определение количественных и качественных характеристик аминокислот в зависимости от генетических свойств почвы, процессов трансформации и экосистемных факторов позволило выявить биогеохимические особенности почвообразования в Ферганской долине и стало научной основой для оценки их плодородия и продуктивности.

Ключевые слова: органическое вещество, кислотный гидролиз, гумус, минерализация, трансформация

CHANGES IN AMINO ACID CONTENT IN SOILS OF VERTICAL AND HORIZONTAL ZONES OF THE FERGANA VALLEY OF UZBEKISTAN

Isomiddinov Z.Zh.*Kokand State University, Kokand, e-mail: 0901zokir@gmail.com*

This study examined the changes in amino acid content in the soils of the Fergana Valley under conditions of vertical and horizontal zonality. Quantitative and qualitative variations in the identified amino acids were substantiated in relation to natural and anthropogenic factors. It has been established that the soil environment, salinity, humus content, degree of cultivation, and climatic conditions determine the variability of the amino acid profile. The results showed that the contents of glutamic and aspartic acids were relatively similar across different soil types of both vertical and horizontal zonality, whereas serine was more abundant in newly irrigated typical sierozems. In gray-brown soils with horizontal zonality, a high proline content was detected, which is associated with the genesis and evolution of these soils. Tyrosine was found exclusively in mountain brown soils, whereas valine exhibited the highest concentration in this soil type. Thus, the determination of the quantitative and qualitative characteristics of amino acids in relation to soil genetic properties, transformation processes, and ecosystem factors makes it possible to reveal the biogeochemical features of soil formation in the Fergana Valley and serves as a scientific basis for assessing their fertility and productivity.

Keywords: organic matter, acid hydrolysis, humus, mineralization, transformation

Введение

В почвах Ферганской долины, характеризовавшихся ярко выраженной вертикальной и горизонтальной зональностью, содержание свободных аминокислот оставалось малоизученным. Эти соединения являлись важным источником органического азота и чувствительно реагировали на орошение, засоление и климатические факторы. Недостаток данных о распределении и динамике аминокислот в различных почвенных зонах затруднял понимание особенностей азотного цикла и его влияния на плодородие.

Изучение аминокислотного состава почв и его роли в процессах почвообразования и продуктивности растений на протяжении последних десятилетий привлекало внимание исследователей. Актуальность

данной проблематики объяснялась тем, что аминокислоты составляли значительную часть органического азота, участвовали в формировании гумуса и биогеохимическом круговороте элементов, оказывая влияние на плодородие почв и рост растений.

Впервые систематические сведения об аминокислотах в составе гумусовых веществ были получены на примере тундровых почв [1]. В условиях Узбекистана исследования сероземов Ферганской долины выявили наличие 14–20 свободных аминокислот, количественный и качественный состав которых варьировал в зависимости от степени антропогенной нагрузки и режима орошения [2; 3, с. 20; 4, с. 144]. Современные зарубежные работы показывали влияние глубины почвенного профиля

и систем удобрений на распределение аминокислот и пептидов в субтропических рисовых агроценозах [5], а также роль микроорганизмов в утилизации серосодержащих аминокислот в зависимости от доступности элементов [6].

Устанавливалось, что длительное внесение органических удобрений [7] и возврат соломы [8] способствовали накоплению аминокислотного азота, улучшая азотный баланс и устойчивость агроэкосистем.

Исследования ризосферы показывали, что цистеин и метионин становились объектом конкуренции между корневыми системами растений и микробиотой [9]. Кроме того, использование аминокислотных растворов в гидропонных условиях положительно влияло на фотосинтетический аппарат и биохимический состав растений [10].

Аминокислоты играли ключевую роль в азотном цикле почв, выступая источником органического азота [11]. В северной части Ферганской долины устанавливались различия в их составе между целинными и орошаемыми сероземами [12], что связывалось с ирригационными изменениями кальцисолей [13] и проблемой вторичного засоления [14].

Таким образом, обзор литературы подтверждает, что аминокислотный состав почв зависит как от климатических и экологических условий, так и от морфологии почвенных горизонтов и характера антропогенного воздействия. Повышение содержания свободных аминокислот за счет процессов гумификации, минерализации и применения органических удобрений способствует оптимизации плодородия почв и устойчивому развитию экосистем. При этом роль отдельных D-аминокислот и механизмы их взаимодействия с растениями и микробными сообществами остаются недостаточно изученными, что определяет перспективность дальнейших исследований.

Цель исследования – выявление количественных и качественных изменений содержания аминокислот в почвах Ферганской долины в условиях вертикальной и горизонтальной зональности, а также в установлении их зависимости от генетических свойств почв, степени окультуренности, содержания гумуса и влияния ирригации.

Материалы и методы исследования

Объектами исследования являлись почвы Ферганской долины, сформировавшиеся в условиях вертикальной и горизонтальной зональности. Определение свободных аминокислот проводили по методике Стивена и Коэна [15] с использованием фенилтиокарбамоильных производных. Хромато-

графический анализ осуществляли методом ВЭЖХ на системе *Agilent 1200* с колонкой *Discovery HS C18*, при градиентном режиме элюирования с применением ацетатного буфера и ацетонитрила. Детектирование осуществляли при длине волны 269 нм. Для контроля качества использовался стандартный набор аминокислот (*Sigma-Aldrich*). Каждое определение выполняли в трехкратной повторности, что обеспечивало достоверность и воспроизводимость результатов.

Результаты исследования и их обсуждение

Органические вещества, образующиеся из остатков живых организмов, их химические процессы и биогеохимические свойства полученных органических соединений представляют собой весьма сложные процессы. Почвенные аминокислоты, сформировавшиеся в различных почвенно-климатических и природно-исторических условиях, особенно свободные аминокислоты, занимают особое место в научных исследованиях и производстве.

В настоящее время при кислотном гидролизе всегда выявляется около 20 типов аминокислот. Большинство почв, особенно богатых гумусом, содержат значительное количество углерода. Поэтому количество свободных аминокислот в них неодинаково. Различается и их состав. Подобные ситуации были зафиксированы в охраняемых и освоенных типичных и темно-серых почвах.

Количество свободных аминокислот в составе староорошаемых и новоорошаемых серо-бурых почв Узбекистана было впервые определено нами и представлено ниже (таблица).

Согласно полученным результатам, свободные, то есть все 20 аминокислот, не были выявлены во всех генетических горизонтах исследованных почв, а именно было установлено отсутствие аспарагиновой кислоты, цистеина, треонина, аргинина, метионина, гистидина и лизина. Таким образом, в настоящее время эти аминокислоты не участвуют в процессах формирования серо-бурых почв, образовавшихся в климатических условиях пустынного региона.

Кроме того, в результате гидролиза гуминовых кислот образуется ряд моносахаридов, к которым относятся глюкоза, галактоза, манноза, арабиноза, ксилоза, рибоза, фукоза и др.

Содержание гумуса, органического вещества, живых и неживых организмов в составе почвы изменяется под воздействием природных и антропогенных факторов. Эти изменения, в свою очередь, приводят к из-

менению количества аминокислот. В частности, под влиянием орошения почвенные процессы и преобразования в их формировании изменяются по сравнению с естественными процессами. Таким образом, происходят изменения в количестве и качестве макро- и микроэлементов в почве, растениях и особенно в овощных культурах.

В этом процессе, то есть под воздействием орошения, изменяется содержание гумуса в почве. Поскольку почва является частью биосферы, ее физическое и химическое состояние, а также почвенно-климатические условия в ней постоянно меняются. В большинстве случаев процессы гумусообразования и минерализации в почве протекают непрерывно, но с разной скоростью и в разное время. В процессах минерализации и гумусообразования органического вещества белки, аминокислоты и другие азотсодержащие органические соединения образуются как промежуточные вещества.

Одним из важнейших свойств аминокислот является их способность выступать в качестве дополнительного источника азота. Орошение изменяет естественное состояние почв, при этом существенно меняется водный режим. Формируется водный режим ирригационного типа, изменяется температурный режим, состав группы микроорганизмов и происходят изменения в продуктивности. Происходят изменения в количестве и качестве аминокислот.

Органическое вещество почвы содержит свободные и связанные аминокислоты. Эта особенность имеет большое значение в процессе почвообразования. Аминокислоты входят в состав гумуса. При разложении гумуса аминокислоты присутствуют как органические продукты.

В почвах, как правило, содержится очень малое количество свободных аминокислот. Предварительные данные показывают, что в охраняемых почвах содержание аминокислот выше, чем в орошаемых. Одной из причин этого является относительно высокая минерализация гумуса в орошаемых почвах, а также поглощение образующихся аминокислот возделываемыми растениями и их вымывание под воздействием орошения. Орошение существенно влияет на процесс естественного почвообразования, что значительно увеличивает количество энергии, затрачиваемой на этот процесс. Происходят изменения в биогеохимическом круговороте и в его количественных показателях.

Теоретически процесс трансформации органического вещества в орошаемых почвах протекает относительно интенсивно.

При орошении в результате процессов гумусообразования и минерализации органического вещества ускоряется минерализация гумуса. Это состояние в большей степени соответствует начальному этапу орошения, а позднее стабилизируется. По мере продолжения орошения степень окультуренности почвы, а значит, и ее продуктивность повышаются. В результате на данном этапе аминокислоты также находятся в оптимальных количествах.

Содержание свободных аминокислот в пахотном слое или условных слоях ряда вертикально-зональных почв и бурых почв разной степени окультуренности, то есть новоорошаемых и староорошаемых, также приведено (таблица). Согласно данным таблицы, как отмечалось выше, более высокое содержание некоторых аминокислот в охраняемых почвах по сравнению с орошаемыми особенно выражено в аспарагиновой кислоте, то есть установлено, что в горных бурых почвах ее количество в 1,5 раза выше, чем в типичных орошаемых серых почвах. В исследованных орошаемых бурых почвах эта аминокислота не была обнаружена. Такая тенденция прослеживается и по остальным аминокислотам, что свидетельствует в пользу горных бурых почв.

Одной из основных причин этого является большое содержание гумуса в горных бурых почвах, преимущество процесса гумусообразования и обилие общих веществ в верхнем 0–20 см слое и др. Лишь гистидин содержится в почти одинаковом количестве как в горных бурых, так и в других почвах. Состояние глутаминовой кислоты в верхних слоях исследованных почв, то есть ее количественные показатели, близки к аспарагиновой кислоте и составляют 0,007–0,004 мг/г. Содержание серина варьирует от 0,007 до 0,06 мг/г, то есть почти в десять раз, в исследованных почвах.

Наибольшая концентрация серина выявлена в слое 0–28 см типичных новоорошаемых серых почв. Следующая по величине концентрация отмечена в новоорошаемых серо-бурых почвах, где данный показатель составляет 0,049 мг/г. Наименьшая концентрация серина зафиксирована в горных бурых и староорошаемых типичных серых почвах, а наибольшая концентрация (0,019–0,049 мг/г) – в серо-бурых почвах. Глицин также повторяет картину, наблюдаемую у серина, то есть количественные показатели несколько снижены. Такое же явление отмечается и для аспарагина. Это можно объяснить близостью свойств серина, глицина и аспарагина. Среди изученных аминокислот глутамин по количественным характеристикам уступает лишь валину.

Содержание аминокислот в горных бурых и орошаемых почвах, мг/г

Аминокислота	Горная бурая (0–20 см)	Новоорошаемая серая (0–28 см)	Староорошаемая серая (0–33 см)	Новоорошаемая гипсовая (0–22 см)	Староорошаемая бурая (0–26 см)
Аспарагин	0,009	0,006	0,006	0,0	0,0
Глутамин	0,097	0,091	0,095	0,083	0,006
Серин	0,008	0,060	0,007	0,049	0,019
Глицин	0,006	0,042	0,004	0,032	0,011
Цистеин	0,006	0,004	0,005	0,0	0,0
Треонин	0,005	0,003	0,005	0,0	0,0
Аргинин	0,004	0,0	0,003	0,0	0,0
Аланин	0,004	0,066	0,073	0,056	0,022
Пролин	0,016	0,013	0,014	0,012	0,077
Тирозин	0,003	0,0	0,0	0,0	0,0
Валин	0,270	0,180	0,220	0,124	0,004
Метионин	0,006	0,003	0,004	0,0	0,0
Гистидин	0,007	0,007	0,006	0,005	0,0
Изолейцин	0,006	0,004	0,004	0,003	0,002
Лейцин	0,006	0,003	0,005	0,002	0,001
Триптофан	0,063	0,0	0,006	0,0	0,028
Фенилаланин	0,059	0,033	0,043	0,019	0,021
Лизин	0,009	0,005	0,007	0,0	0,0

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

Наименьшее значение, 0,006 мг/г, отмечено в ранее орошаемых серо-бурых почвах, тогда как в других исследованных почвах этот показатель составляет 0,083–0,097 мг/г. Цистеин, аргинин и аланин обнаружены в сходных количествах в исследованных почвах, преимущественно в пределах 0,003–0,005 мг/г. В орошаемых серо-бурых почвах количественные значения не выявлены.

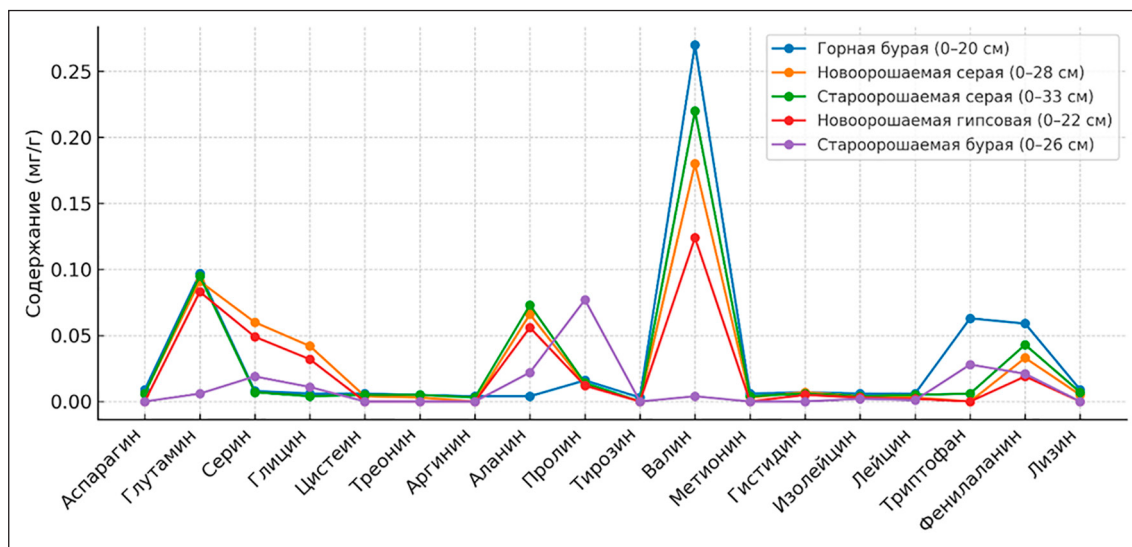
Пролин выделяется среди вышеуказанных аминокислот относительно высокими количественными показателями. В горных бурых почвах его содержание составляет 0,016 мг/г, в типичных орошаемых серых почвах – 0,013–0,014 мг/г, а в серовато-бурых почвах – 0,012–0,077 мг/г. Это связано с генезисом, эволюцией и процессами трансформации данных почв.

Тирозин был обнаружен только в горных бурых почвах на уровне 0,003 мг/г, тогда как в остальных исследованных почвах тирозин не выявлен, то есть отсутствует. Среди этих аминокислот валин четко выделяется по количественным показателям, в основном колеблясь в диапазоне 0,124–0,270 мг/г. Как и ожидалось, наибольшее его количество зафиксировано в горных бурых почвах, а наименьшее – в новоорошаемых серо-бурых почвах. Метионин, гистидин,

изолейцин и лейцин распределяются в исследованных почвах в сходных пропорциях, но их минимальные значения отмечены в горных бурых почвах.

Степень насыщенности аминокислотами в каждом типе почв среди исследованных образцов также различается, но находится в близких пределах. Этот показатель рассчитывается по формуле Маргалефа. Обычно он отражает разнообразие видов аминокислот и называется также индексом разнообразия. Как правило, чем выше разнообразие аминокислот, тем выше разнообразие продуктов. Согласно полученным результатам, количество аминокислот составляет 20, при этом они, разумеется, имеют разный состав и индексы.

При расчете индекса Маргалефа были выявлены следующие показатели. В частности, наибольший коэффициент соответствует новоорошаемым типичным серым почвам, при этом значение индекса составляет 8,84. Следующее место по величине занимает горная бурая почва со значением индекса 7,36. Далее следуют староорошаемые серо-бурые почвы с показателем 7,22 и новоорошаемые серо-бурые почвы с индексом 6,99. Очевидно, что наибольший показатель характерен для новоорошаемых типичных серых почв.



*Изменения содержания аминокислот в почвах различных зон Ферганской долины
Источник: составлено автором по результатам данного исследования*

Это означает, что относительно более высокие урожаи различных видов сельскохозяйственных культур на этих почвах по сравнению с другими исследованными почвами генетически обусловлены. Если сравнить количественные показатели аминокислот в этих почвах, то данная ситуация представлена на рисунке. Согласно этим данным, горные бурые почвы характеризуются более низким содержанием большинства аминокислот по сравнению с типичными новоорошаемыми серыми почвами. Наибольшая разница наблюдается по валину и глутамину.

Если рассмотреть данную ситуацию в типичных серых почвах, которые являются новоорошаемыми и староорошаемыми, то замечен явный избыток глутамина, аланина и валина в типичных серых почвах, которые являются староорошаемыми. В староорошаемых и новоорошаемых серо-бурых почвах также наблюдается преимущество староорошаемых почв, то есть в них содержится больше серина, глицина, аланина, пролина и триптофана.

Такая разница в содержании аминокислот в почвах связана с их генезисом и степенью окультуренности, а также с количеством гумуса, и эти показатели являются одними из основных как для охраняемых, так и для орошаемых почв. В таком виде, то есть на сравнительной основе, они и представлены.

Закключение

Исследование показало, что аминокислотный состав почв Ферганской до-

лины определяется их генетическими свойствами, степенью окультуренности и влиянием ирригации. Установлено, что распределение серина, пролина и валина отражает процессы почвообразования и эволюции почв, а выявленные различия могут служить основой для оценки плодородия и продуктивности исследованных территорий.

Анализ показал, что аминокислотный профиль почв Ферганской долины формируется под влиянием генетических свойств пород и режима орошения. В горных бурых почвах доминируют валин, триптофан и фенилаланин, тогда как в орошаемых сероземах отмечается рост содержания серина, глицина и аланина, отражающий активизацию микробиологических процессов. Староорошаемые почвы характеризуются снижением разнообразия аминокислот и накоплением отдельных соединений, что свидетельствует о деградации органического пула и адаптационных реакциях к засолению. Таким образом, орошение и минералогический состав субстрата определяют биогеохимический потенциал и экологическую устойчивость почв региона.

Список литературы

1. Vasilevich R.S., Beznosikov V.A. Amino acid composition of humic substances in tundra soils // Eurasian Soil Sc. 2015. 48. P. 593–599. DOI: 10.1134/S1064229315060125.
2. Jharna D.E. et al. Selection of drought tolerant groundnut genotypes (*Arachis hypogaea* L.) based on total sugar and free amino acid content // Journal of Environmental Science and Natural Resources. 2013. Т. 6. № 2. С. 1–5. DOI: 10.3329/jesnr.v6i2.22077.

3. Хайдаров М.М. Химическая и биогеохимическая характеристика северных сероземов Ферганской долины: автореф. дис. ... канд. биол. наук. Ташкент, 2020. 20 с. [Электронный ресурс]. URL: <https://e-catalog.nlb.by/Record/BY-NLB-br0001709512?ysclid=mg6dqs1z3z155209101> (дата обращения: 10.09.2025). ISBN: 978-5-00123-456-7.
4. Гафурова Л.А., Мадраимов Р.М. Почвы юго-западной части Хорезмского оазиса. Ташкент: Фан, 2020. 144 с. ISBN: 978-9943-777-45-1.
5. Wang H., Wang J., Xiao M., Ge T., Gunina A., Jones D.L. The fate of amino acid and peptide as affected by soil depth and fertilization regime in subtropical paddies // *Science of the Total Environment*. 2023. Vol. 889. P. 164245. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2023.164245.
6. Ma Q., Yao R., Liu X. et al. Effect of elements availability on the decomposition and utilization of S-containing amino acids by microorganisms in soil and soil solutions // *Plant Soil*. 2025. Vol. 509. P. 347–361. DOI: 10.1007/s11104-024-06864-8.
7. Lu T., Lu Z., Shi J. et al. Long-term application of manure increased soil amino acid pool under maize-maize-soybean rotation system // *J Soils Sediments*. 2024. Vol. 24. P. 3572–3584. DOI: 10.1007/s11368-024-03922-7/
8. Hu L., Chen H., Zhou Y., Zhang J., Nadeem M.Y., Miao C., Li G. Long-term straw returning improved soil nitrogen sequestration by accelerating the accumulation of amino acid nitrogen // *Agriculture, Ecosystems & Environment*. 2024. Vol. 362. P. 108846. URL: <https://www.sciencedirect.com> (дата обращения: 22.08.2025). DOI: 10.1016/j.agee.2023.108846.
9. Cheraghvareh L., Pourakbar L., Siavash Moghaddam S. et al. The effect of biofertilizers on nickel accumulation, nitrogen metabolism and amino acid profile of corn (*Zea mays* L.) exposed to nickel stress // *Environ Sci Pollut Res*. 2024. Vol. 31. P. 49498–49513. DOI: 10.1007/s11356-024-34507-z.
10. Sowmya R.S., Krishnamoorthy V., Kumaravelu G. et al. Effect of amino acids on growth, elemental content, functional groups, and essential oils composition on hydroponically cultivated coriander under different conditions // *Industrial Crops and Products*. 2023. Vol. 197. P. 116577. DOI: 10.1016/j.indcrop.2023.116577.
11. Homyak P.M., Hobbie S.E., Schimel J.P. et al. Amino acids dominate diffusive nitrogen fluxes across soil depths in acidic tussock tundra // *New Phytologist*. 2021. Vol. 231. Is. 6. P. 2162–2173. DOI: 10.1111/nph.17315.
12. Хайдаров М., Урунов Б., Абдухаков А., Мирзаев У. и др. Аминокислотный состав целинных и орошаемых сероземов севера Ферганской долины // *Journal of New Century Innovations*. 2023. Т. 38. № 2. С. 123–127. URL: <https://newjournal.org/new/article/view/9014> (дата обращения: 22.09.2025).
13. Urdaliev A., Yuldashev G., Khaydarov M., Abdulkhakimova K., Muratova R., Azimov Z., Sotiboldieva G., Mirzaev U., Isagaliyev M., Holdarov H. et al. Irrigation-Initiated Changes in Physicochemical Properties of the Calcisols of the Northern Part of Fergana Valley // *Applied Sciences*. 2024. Vol. 14, Is. 13. P. 5762. URL: <https://www.mdpi.com/2076-3417/14/13/5762> (дата обращения: 22.09.2025). DOI: 10.3390/app14135762.
14. Kholdarov D., Mukhammadjonov A., Yuldashev B. et al. Current state of saline soils in the Fergana Valley // *E3S Web of Conferences*. 2024. Vol. 563. P. 1–6. DOI: 10.1051/e3s-conf/202456303053.
15. Steven A., Cohen D.J. Amino acid analysis utilizing phenylisothiocyanate derivatives // *Journal of Analytical Biochemistry*. 1988. Vol. 174, Is. 1. P. 1–16. URL: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/3064649/> (дата обращения: 23.08.2025). DOI: 10.1016/0003-2697(88)90512-X.