

*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 Chapayev V.I. str.**  
**Editorial address: 410035, Saratov,**  
**5 Mamontovoi str.**

*Подписано в печать 30.09.2024  
Дата выхода номера 31.10.2024  
Формат 60×90 1/8*

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

**Signed in print 30.09.2024**  
**Release date 31.10.2024**  
**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 2024/3  
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***

**2024 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. Кикун П.Ф. (Владивосток), д.б.н., доцент Князева О.А. (Уфа), д.м.н. Косарева П.В. (Пермь), д.б.н. Ларионов М.В. (Балашов), д.б.н. Лебедева С.Н. (Улан-Удэ), д.б.н., д.м.н. Медведев И.Н. (Москва), д.б.н. Мосягин В.В. (Курск), д.б.н. Околелова А.А. (Волгоград), д.с.-х.н., проф. Партоев Курбонали (Душамбе), д.б.н. Петраш В.В. (Санкт-Петербург), д.т.н. Похиленко В.Д. (Оболенск), 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 / Biological sciences**

### СТАТЬИ

- АГРОХИМИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ПОЧВОГРУНТОВ,  
ОБРАЗУЮЩИХСЯ НА ОБСОХШЕМ ДНЕ АРАЛЬСКОГО МОРЯ  
AGROCHEMICAL CHARACTERISTICS OF SOILS FORMED  
ON THE DRIED BOTTOM OF THE ARAL SEA  
*Дусалиев А.Т., Каттаева Г.Н., Мамажанова У.Х., Исмонов А.Ж.*  
*Dusaliev A.T., Kattaeva G.N., Matajanova U.H., Ismonov A.J.* ..... 5
- СТРАТЕГИЯ КОНТРОЛЯ ЧИСЛЕННОСТИ И РЕГУЛЯЦИИ  
БРОДЯЧИХ СОБАК В АСТАНЕ  
POPULATION CONTROL AND REGULATION STRATEGY  
FOR STRAY DOGS IN ASTANA  
*Кубекова В.К. / Kubekova V.K.* ..... 11
- ПАРАМЕТРЫ ДЕФОРМАЦИОННЫХ СВОЙСТВ ПОЛОЙ ВЕНЫ  
PARAMETERS OF DEFORMATION PROPERTIES OF THE VENA CAVA  
*Муслов С.А., Зайцева Н.В., Корнеев А.А., Чистяков М.В., Завьялова А.И., Солодов А.А.*  
*Muslov S.A., Zaitseva N.V., Korneev A.A., Chistyakov M.V., Zavalova A.I., Solodov A.A.* ..... 16
- СОЛЕУСТОЙЧИВОСТЬ СЕМЕЙ И ЛИНИЙ ХЛОПЧАТНИКА  
С РАЗЛИЧНОЙ ГЕНЕТИЧЕСКОЙ ОСНОВОЙ  
SALT TOLERANCE OF COTTON FAMILY AND LINES WITH  
DIFFERENT GENETIC BASIS  
*Мухаммадиева Ш.Н. / Muhammadiyeva Sh.N.* ..... 22
- НАСЛЕДОВАНИЕ ПРИЗНАКОВ МАССА ХЛОПКА-СЫРЦА ОДНОЙ  
КОРОБОЧКИ И МАССА 1000 ШТУК СЕМЯН У ВНУТРИВИДОВЫХ  
ГИБРИДОВ ХЛОПЧАТНИКА ВИДА *G. HIRSUTUM* L.  
INHERITANCE OF RAW COTTON WEIGHT IN A SINGLE BOLL  
AND THE WEIGHT OF 1000 SEEDS IN INTRASPECIFIC COTTON  
HYBRIDS OF THE SPECIES *G. HIRSUTUM* L.  
*Наркизилова Г.Н., Мирахмедов М.С., Бобоев С.Г.*  
*Narkizilova G.N., Mirakhmedov M.S., Boboev S.G.* ..... 27
- НАДОЙ И КАЧЕСТВЕННЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ МОЛОКА У КОЗ,  
СКАРМЛИВАЕМЫХ БИОМАССОЙ ЭЙХОРНИИ  
MILK YIELD AND QUALITY INDICATORS OF MILK IN GOATS  
FED WITH EICHORNIA BIOMASS  
*Нахалбоев А.А., Ражамуратов З.Т. / Nakhalboev A.A., Razhamuradov Z.T.* ..... 32
- ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ТРОПА «СЕДАНКА» В ПРИГОРОДЕ ВЛАДИВОСТОКА  
ECOLOGICAL TRAIL "SEDANKA" IN THE SUBURB OF VLADIVOSTOK  
*Киселёва А.Г., Пиеничникова Н.Ф. / Kiseleva A.G., Pshenichnikova N.F.* ..... 37

ВНЕШНЕЕ ДЫХАНИЕ И ЦЕНТРАЛЬНОЕ КРОВООБРАЩЕНИЕ  
У ВЫСОКОКЛАССНЫХ ГРЕБЦОВ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ СОМАТОТИПА

EXTERNAL RESPIRATION AND CENTRAL HEMOCIRCULATION  
IN HIGH-CLASS ROWERS DEPENDING ON SOMATOTYPE

*Кучкарова Л.С., Абдурахманов Ж.С.*  
*Kuchkarova L.S., Abdurakhmanov Zh.S.* ..... 42

ХРОНИЧЕСКАЯ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ МОДЕЛЬ БОЛЕЗНИ КРОНА  
У КРЫС: БИОХИМИЧЕСКИЕ И ГИСТОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ

CHRONIC EXPERIMENTAL MODEL OF CROHN'S DISEASE IN RATS:  
BIOCHEMICAL AND HISTOLOGICAL FEATURES

*Умнаткулова Ш., Ахмедова Г., Зарипов Б.*  
*Ummatkulova Sh., Akhmedova G., Zaripov B.* ..... 48

**НАУЧНЫЙ ОБЗОР**

ВЛИЯНИЕ ЭЛЕКТРОЛИЗОВАННОЙ ВОДЫ НА КАЧЕСТВО  
И БЕЗОПАСНОСТЬ ПЛОДООВОЩНОГО СЫРЬЯ

INFLUENCE OF ELECTROLYZED WATER ON THE QUALITY  
AND SAFETY OF FRUIT AND VEGETABLE RAW MATERIALS

*Бурак Л.Ч. / Burak L.Ch.* ..... 59

**СТАТЬИ**

ИЗУЧЕНИЕ ВЛИЯНИЯ ПРОТЕИНОВОЙ ДОБАВКИ НА ПРОДУКТИВНОСТЬ  
И ОБМЕН ВЕЩЕСТВ ВЫСОКОУДОЙНЫХ КОРОВ

STUDYING THE INFLUENCE OF PROTEIN SUPPLEMENTS  
ON PRODUCTIVITY AND METABOLISM OF HIGH-YIELDING COWS

*Кахоров Б.А., Катаева Ю.А. / Kakhorov B.A., Kataeva Yu.A.* ..... 71

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПОЛИФЕНОЛА РС-8 В КАЧЕСТВЕ  
АНТИКОАГУЛЯНТА КРОВИ КРЫС В УСЛОВИЯХ *IN VITRO*

USE OF PC-8 POLYPHENOL AS AN ANTICOAGULANT  
IN RATS BLOOD IN *IN VITRO* CONDITIONS

*Кувандикова Ю.Р. кизи, Маматова З.А., Абдуллажонова З.Ж. кизи,  
Хошимов Н.Н., Рахимов Р.Н. / Kuvandikova Yu.P. kuzu, Matatova Z.A.,  
Abdullazhonova Z.Zh. kuzu, Khoshimov N.N., Rakhimov R.N.* ..... 75

ВЗАИМОСВЯЗЬ ПОЛИМОРФИЗМА ГЕНА TNF-A G-308A С АКТИВНОСТЬЮ  
ЦИТОКИНА TNFA У БОЛЬНЫХ САХАРНЫМ ДИАБЕТОМ 1-ГО ТИПА,  
ПРОЖИВАЮЩИХ В САМАРКАНДСКОЙ ОБЛАСТИ

THE RELATIONSHIP OF THE TNF-A GENE POLYMORPHISM G-308A  
WITH THE ACTIVITY OF THE TNFA CYTOKINE IN PATIENTS WITH  
TYPE 1 DIABETES MELLITUS LIVING IN THE SAMARKAND REGION

*Райимова Ф.С., Душанова Г.А., Кан С.В.*  
*Rayimova F.S., Dushanova G.A., Kan S.V.* ..... 80

СТАТЬИ

УДК 57.01:631.458

**АГРОХИМИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ПОЧВОГРУНТОВ, ОБРАЗУЮЩИХСЯ НА ОБСОХШЕМ ДНЕ АРАЛЬСКОГО МОРЯ**

**Дусалиев А.Т., Каттаева Г.Н., Мамажанова У.Х., Исмонов А.Ж.**

*Институт почвоведения и агрохимических исследований МСХ Республики Узбекистан, Ташкент, e-mail: dusaliev@mail.ru, gulnozakattayeva@mail.ru, mamajanova-1783@mail.ru, abduvahob60@mail.ru*

В последние годы на территориях Приаралья в результате усиления природного и антропогенного воздействия, связанного с обсыханием Аральского моря, происходит ухудшение экологической обстановки. Поднятие в некоторых районах минерализованных грунтовых вод близко к поверхности, при активизации процессов засухи и опустынивания в северной и восточной частях, приводит к усилению процессов засоления. Поднимающаяся из-за этого соляная пыль, вызванная бурями, привела к ухудшению мелниорации сельскохозяйственных угодий и значительному снижению содержания гумуса и питательных элементов в почвах. В статье освещены агрохимические свойства почвогрунтов, образовавшихся в результате глобального изменения климата на обсохшем морском дне. По результатам анализа почвы установлено, что содержание питательных элементов различается. Исследованиями установлено, что содержание гумуса в серо-бурых почвогрунтах составляет в среднем 0,290-0,694%, в остаточных луговых 0,496%, в остаточных луговых солончаках 0,960%, в остаточных солончаках 0,310% и в песчаных пустынных почвах 0,265%; общее содержание фосфора в среднем 0,14-0,22%, в остаточных луговых 0,23%, остаточных луговых солончаках 0,31%, в остаточных солончаках 0,20% и на песчаных пустынных почвах 0,22%. При исследовании также было отмечено, что количество гипса и карбонатов в почвах исследуемой территории, отступающих от воды, увеличивалось в профиле разреза от поверхностного слоя почвы. В исследованиях отмечено, что по степени гипсования почвы в горизонтах в основном гипсовые, а иногда и слабо гипсовые.

**Ключевые слова:** обсохшее морское дно, почвогрунты, степень гипсования, содержание гумуса, карбонаты, обеспеченность питательными элементами

**AGROCHEMICAL CHARACTERISTICS OF SOILS FORMED ON THE DRIED BOTTOM OF THE ARAL SEA**

**Dusaliev A.T., Kattaeva G.N., Mamajanova U.H., Ismonov A.J.**

*Institute of Soil Science and Agrochemical Research of the Ministry of Agriculture of the Republic of Uzbekistan, Tashkent, e-mail: dusaliev@mail.ru, gulnozakattayeva@mail.ru, mamajanova-1783@mail.ru, abduvahob60@mail.ru*

In subsequent years, as a result of increased natural and anthropogenic impacts in the territories of the Aral Sea region associated with the drying of the Aral Sea, deterioration of the environmental situation, the rise of mineralized groundwater close to the surface in some areas, with the intensification of drought and desertification in the northern and eastern parts, as a result of increased salinization processes, salt dust rising because of this and caused by storms, led to the deterioration in the reclamation of agricultural land and a significant decrease in the content of humus and nutrients in soils. The article highlights the agrochemical properties of soils formed as a result of global climate change on the dried seabed. According to the results of soil analysis, it was found that the content of nutrients varies. Studies have found that the humus content in gray-brown soils is on average 0.290-0.694%, in residual meadows it is 0.496%, in residual meadow salt marshes – 0.960%, in residual salt marshes – 0.310% and in sandy desert soils – 0.265%, the total phosphorus content is on average 0.14-0.22%, in residual meadows it is 0.23%, residual meadow salt marshes – 0.31%, in residual salt marshes – 0.20% and on sandy desert soils it constitutes 0.22%. During the study, it was also noted that the amount of gypsum and carbonates in the soils of the territory retreating from the water increased in the section profile from the surface soil layer. Studies have noted that according to the degree of soils gypsum formation in the layers, they are mainly gypsum, and sometimes slightly gypsum.

**Keywords:** dried seabed, soils, degree of gypsum formation, humus content, carbonate content, nutrient supply

**Введение**

Происходящая в настоящее время деградация почвы остается одной из самых серьезных экологических проблем во всем мире. Треть земельной площади в мире страдает от последствий ее деградации, которая негативно влияет на 20% населения мира, особенно в сельских обществах, находящихся в бедности. Экологическая проблема, в частности, затронула почти 45%

поверхности земли, а на засушливой земной поверхности проблема неуклонно ухудшается, угрожая более чем 2 миллиардам человек [1-3]. Эффективное использование земельных ресурсов, сохранение, восстановление, повышение и охрана плодородия почв являются одними из самых актуальных вопросов на сегодняшний день.

Правительство Узбекистана принимает решительные меры, направленные на смягчение последствий экологической катастрофы

фы. Разработаны национальная стратегия и план действий по охране окружающей среды, сохранению биологического разнообразия, национальная программа постепенного сокращения и прекращения использования разрушителей озонового слоя, программа действий по борьбе с изменением климата, национальный план действий по борьбе с опустыниванием ландшафтов и охране окружающей среды. Эти меры служат для постепенного снижения уровня загрязнения питьевой воды, атмосферного воздуха, почвы и пищевых продуктов.

В последующие годы в результате усиления природного и антропогенного воздействия на территориях Приаралья, связанного с обсыханием Аральского моря, ухудшения экологической обстановки в некоторых районах минерализованные грунтовые воды поднялись близко к поверхности, при активизации процессов засухи и опустынивания в северной и восточной частях, в результате усиления процессов засоления поднимающаяся из-за этого соляная пыль, вызванная бурями, привела к ухудшению мелиорации сельскохозяйственных угодий и значительному снижению содержания гумуса и питательных элементов в почвах.

**Цель исследования** – изучение современного состояния серо-бурых почв, остаточных луговых почв, солончаков и остаточных луговых солончаков, на которых отступают воды Аральского моря и формируются новообразованные озерно-аллювиальные и морские отложения.

#### **Материалы и методы исследования**

Исследования проведены на почвах, сформировавшихся на обсохшем дне Аральского моря. Методологическую основу полевых исследований, опубликованных в Республике Узбекистан [4, с. 491; 5, с. 52], составляют также геохимический, сравнительно-географический, лабораторно-аналитический методы анализа. Химический анализ образцов, взятых из почвы и воды во время исследования, а также исследовательские изыскания разработаны в УзПИТИ [6, с. 37] и осуществлены по общепринятым в республике методам.

Изменения, происходящие в районе обсохшего дна Аральского моря на формирующихся почвенных покровах, существенным образом связаны с глобальным изменением климата, в результате чего часть древних гидроморфных почв перешла к развитию в автоморфных условиях, значительная часть автоморфных почв подверглась опустыниванию. В своих исследованиях, касающихся вопросов обсыхания Аральского моря, зарубежные исследователи осветили

многие вопросы, касающиеся деградации, мелиоративно-экологического состояния Аральского моря [7, с. 246–263; 8, с. 3201; 9, с. 116–177]. Данные вопросы пытались изучить многие местные исследователи [10, с. 86–90; 11, с. 112].

#### **Результаты исследований и их обсуждение**

Агрохимические свойства почвогрунтов, формирующихся в центральной части обсохшего дна Аральского моря, были освещены на основании данных химического анализа, проведенного на образцах почв, привезенных в ходе полевых исследований.

Следует отметить, что основным источником четвертичных отложений является физико-химическое выветривание породы, а протекание процессов выветривания обусловлено характером размыта горных пород, гидротермальными условиями и другими факторами. Разнообразие материнских пород в почвах обусловлено условиями выветривания, в районе обсохшего дна Аральского моря отложено в различной степени вместе с отложениями четвертичного периода [12, с. 52–55]. Кроме того, период отложений связан не только с четвертичным периодом, конец третичного периода ознаменовался началом процесса выветривания горных пород со времен господства сухого и жаркого климата. Процесс выветривания, по мнению многих исследователей, заложен в четвертичный период, в зональном состоянии, дифференцированном виде. Распределение элементов в почвах также напрямую связано с составом горных пород, которые возникли в древности или были принесены речными водами. В этом контексте свойства почв, образующихся на обсохшем морском дне, определяются распределением этих элементов. На большей части обсохшего морского дна в результате резкого изменения климата и сильной минерализации грунтовых вод в районе распространены песчаные пустынные и солончаковые почвы. Отдельно стоит отметить, что на обсохшем дне Аральского моря, площадью 5,5 млн га, в результате усиления засухи продолжается трансформация почв [13, с. 60–75].

Одной из основных особенностей обсохшего дна Аральского моря является то, что режим подземных грунтовых вод связан с балансом поступающих (речных) вод, наблюдается уменьшение поступления грунтовых вод, что приводит к резкому снижению его уровня даже в районах осушенного дна Аральского моря. Установлено, что уровень грунтовых вод, зависящий от баланса положения, поступления и испа-

рения основных морских вод, в последние годы, в результате резкого уменьшения поступления и увеличения испарения, в районах отступления морских вод падает в среднем на 3-6 метров. Следовательно, роль грунтовых вод в этих землях выше, чем поступающих. Количество воды, испаряющейся с обсохшего морского дна (пустыни Аралкум), в основном происходит за счет грунтовых вод и частично за счет атмосферных осадков, а потому за счет них – происходит образование и накопление легко-растворимых в воде солей на поверхности почвы [14, с. 608-611].

Опустынивание при обсыхании Аральского моря можно разделить на два типа: антропогенное опустынивание и ирригационное опустынивание. Здесь можно наблюдать, что естественное опустынивание произошло в результате этих двух типов опустынивания. Деградация природных экосистем, геосистем и природных систем растительности на территории напрямую связана с вышеуказанными факторами и, как следствие, с текущими процессами деградации, а также с нарушением экологического баланса [15, с. 968-973].

Отмечено, что по агрохимическим свойствам *серо-бурые почвы* по сравнению с другими типами почв очень бедны питательными веществами, то есть гумусом, при этом по уровню обеспеченности в поверхностном слое почвы, то есть в слое 0-9 см, среднее содержание гумуса составляет около 0,69%, а в нижних слоях разреза – до 0,20% (разрез 90). В наших исследованиях было отмечено, что содержание гу-

муса значительно варьируется и идет в сторону уменьшения. Суммарное содержание азота в верхних слоях почвы составляет 0,058%, а в нижних слоях почвенного профиля – 0,014%. Общее содержание фосфора колеблется от 0,22% в верхних слоях профиля разреза до 0,18% в нижних горизонтах почвенного профиля, причем наблюдается уменьшение количества подвижного фосфора сверху вниз профиля разреза, то есть от 31,54 до 10,00 мг/кг, распределение неравномерное по профилю разреза, при этом в наших исследованиях была отмечена низкая и очень низкая обеспеченность (разрез 90). По результатам проведенного анализа отмечено, что валовое содержание калия несколько уменьшилось в разной степени по всему почвенному профилю, то есть с 0,528% в верхнем слое, до 0,432% в нижнем слое. С другой стороны, было установлено, что если количество подвижного калия составило 285 мг/кг в верхней части почвенного профиля, в нижней части уменьшилось – до 84 мг/кг, разрез 90 (табл. 1).

Однако в результате анализа почв разреза 94 было отмечено увеличение содержания подвижного фосфора в нижней части профиля разреза, что было связано с проникновением фосфорсодержащих веществ в подвижную форму в составе представленных пород и отложений в расплавленном виде, а также с их отложением. Также в течение многих лет отток вод Амударьи и Сырдарьи, различные питательные вещества, а также твердые и мелкие коллоидные частицы представлены в определенной норме.

Таблица 1

Содержание гумуса и питательных веществ в слоях серо-бурых почв Аральского моря, в % и мг/кг

Разрез №	Глубина слоя, см	Гумус, %	C:N	Валовый %			Подвижный, мг/кг		SO <sub>4</sub>	CO <sub>2</sub>
				N	P	K	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O		
90	0-9	0,694	6,94	0,058	0,22	0,456	31,54	285	0,319	3,91
	9-28	0,627	5,594	0,065	0,20	0,468	11,23	163	0,425	3,11
	28-64	0,590	7,604	0,045	0,18	0,528	8,46	103	0,734	3,64
	64-93	0,490	7,894	0,036	0,175	0,48	4,46	93	1,049	4,30
	93-130	0,380	6,482	0,034	0,20	0,432	10,31	100	14,510	4,01
	130-152	0,426	6,177	0,040	0,175	0,408	10,00	91	9,342	2,85
	152-186	0,309	7,467	0,024	0,15	0,432	9,38	81	1,622	1,84
186-250	0,200	8,285	0,014	0,18	0,444	10,00	84	1,039	1,54	
94	0-4	0,290	6,728	0,025	0,14	0,456	8,77	314	0,300	4,38
	4-29	0,349	6,747	0,030	0,125	0,444	10,92	295	0,226	5,54
	29-66	0,648	9,636	0,039	0,11	0,408	39,54	247	0,166	4,38
	66-100	0,375	6,796	0,032	0,10	0,36	16,46	211	0,226	2,06
	100-160	0,199	11,542	0,010	0,09	0,288	20,77	216	0,240	1,11

Из полученных результатов можно видеть, что серо-бурые почвы в разной степени обеспечены гумусом и питательными элементами, то есть неравномерно распределены по профилю разреза.

Содержание карбонатов в верхних слоях изученных серо-бурых почв составляло в среднем от 3,19% до 4,38%, в нижней (186-200 см) части профиля разреза наблюдалось от 1,11% до 1,54% с различным разбросом карбонатов по профилю разреза (разрезы 90-94), что обусловлено длительным развитием почв в гидроморфном режиме. Повышенное содержание карбонатов в поверхностной части почв обусловлено резким нагревом воздуха и подъемом в нем грунтовых вод под действием сильной минерализации. Уменьшение содержания гипса в этих почвах от верхних слоев к нижним наблюдалось во всех разрезах серо-бурых почв.

*Остаточные луговые почвы.* В наших исследованиях отмечено, что содержание гумуса в верхних слоях остаточных луговых почв, образующихся в центральной части обсохшего дна Аральского моря, составляет в среднем 0,49%, а на нижней стороне профиля разреза их количество уменьшается до 0,38%. Поскольку эти почвы, образовавшиеся в аллювиальных отложениях обсохшего морского дна, превратились в сушу в относительно недавние времена, было замечено, что в настоящее время эти почвы развиваются, сохраняя

при этом свои прежние морфологические признаки.

Отмечено, что содержание подвижного фосфора в этих почвах было неравномерно распределено по почвенному профилю, в среднем от 46,92 мг/кг в верхних слоях почвенного профиля до 16,15 мг/кг в нижних слоях, в то время как обменный калий составлял в среднем от 225 до 403 мг/кг. Отмечена низкая и умеренная обеспеченность исследованных почв подвижным фосфором, умеренная и обильная – обменным калием. Что касается общего запаса этих питательных веществ, общий азот составлял в среднем от 0,035% до 0,089%, общий фосфор – в среднем от 0,23% до 0,31%, а калий – от 0,420% до 1,128% (табл. 2).

Остаточные луговые почвы, первоначально сформировавшиеся в районах отступления морской воды, содержат в среднем около 0,24-0,96% гумуса и колеблются слоями. В то время как общее содержание фосфора составляет от 0,23% до 0,31%, подвижная форма формируется в нижних горизонтах (80-125 см) в гораздо меньшей степени и составляет 11,88-14,62%. Наблюдалось, что суммарное содержание калия в нижних слоях почвенного профиля составляет 1,20-1,53%, уменьшаясь вниз по профилю в зависимости от содержания гумуса и механического состава. Было обнаружено, что изученные остаточные луговые почвы различаются по содержанию гипса и карбонатов (табл. 2).

**Таблица 2**

Содержание гумуса и питательных веществ в слоях остаточных луговых почв и остаточных луговых солончаков, в % и мг/кг

Разрез №	Глубина слоя, см	Гумус, %	C:N	Валовый %			Подвижный, мг/кг		SO <sub>4</sub>	CO <sub>2</sub>
				N	P	K	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O		
<b>Остаточные луговые солончаки</b>										
69	0-6	0,496	8,219	0,035	0,23	0,420	46,92	225	0,471	7,39
	6-21	0,592	10,098	0,034	0,24	0,468	39,85	259	0,494	6,49
	21-42	0,507	9,189	0,032	0,25	1,020	19,85	376	0,328	9,24
	42-80	0,469	7,772	0,035	0,31	1,536	14,31	350	0,457	11,19
	80-125	0,411	6,810	0,037	0,24	1,524	11,85	345	0,614	12,51
	125-170	0,381	6,138	0,051	0,23	1,536	11,85	357	0,633	12,20
<b>Остаточные луговые почвы</b>										
135	0-5	0,966	6,295	0,089	0,31	1,128	16,15	403	0,545	11,40
	5-26	0,604	6,04	0,070	0,29	1,152	16,77	513	0,601	14,58
	26-60	0,486	6,406	0,065	0,26	1,176	14,92	528	0,568	14,63
	60-90	0,412	7,467	0,062	0,24	1,188	15,54	513	0,624	12,46
	90-128	0,244	6,739	0,065	0,23	1,200	17,08	468	0,661	12,14
	128-190	0,246	7,509	0,077	0,27	1,200	14,62	309	0,721	13,73

Таблица 3

Агрохимические свойства остаточных солончаков, в % и мг/кг

Разрез №	Глубина слоя, см	Гумус, %	C:N	Валовый %			Подвижный, мг/кг	
				N	P	K	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O
120	0-10	0,310	6,421	0,028	0,20	0,264	8,46	218
	10-35	0,224	7,217	0,018	0,21	0,264	21,69	247
	35-70	0,587	7,400	0,046	0,26	0,264	15,85	484
	70-110	0,302	6,736	0,026	0,24	0,276	15,54	276
	110-170	0,217	6,624	0,019	0,20	0,312	7,850	187

В верхних слоях почвенного профиля на *остаточных солончаках* содержание гумуса в среднем колеблется от 0,22% до 0,31%, а по нижнему почвенному профилю наблюдается уменьшение их количества, то есть в слое 110-170 см – на 0,21%. В исследованных остаточных солончаках содержание подвижного фосфора было распределено от 8,46% в верхних слоях профиля до 7,85% в нижних, отмечалось очень слабое и недостаточное поступление подвижного фосфора и обменного калия. В среднем по валовому запасу этих питательных веществ общий азот составлял 0,018-0,046%, общий фосфор в среднем 0,20-0,26%, а калий в верхних слоях почвенного профиля 0,264%, тогда как в нижних слоях его количество увеличилось, то есть было отмечено, что оно находится в пределах 0,312%. Результаты нашего исследования показывают, что в изученных остаточных солончаках отмечено неравномерное распределение питательных веществ по профилю разреза (табл. 3).

### Заключение

Сделав выводы, можно сказать, что при изучении степени обеспеченности гумусом и питательными элементами почв и почвогрунтов, сформировавшихся на обсохшем дне Аральского моря, отмечено неравномерное распределение образовавшихся здесь питательных элементов в почвах.

Распределение элементов в почвах также напрямую связано с составом горных пород, которые возникли в древности или были принесены речными водами. В этом контексте свойства почв, образующихся на обсохшем морском дне, определяются распределением этих элементов. Установлено, что в результате резкого изменения глобального климата и сильной минерализации грунтовых вод на большей части обсохшего морского дна в основной части района распространены песчаные пусты-

ные и солончаковые почвы. Следует особо отметить, что на обсохшем дне Аральского моря, площадью 4,500 млн гектаров земель, с отступающими водами в результате резкого изменения климата, в почвенных покровах происходит интенсивная фаза трансформации почвенных групп. Определено, что почвы, образующиеся на обсохшем морском дне, низко и очень низко обеспечены гумусом. После прекращения поступления в Аральское море вод Амударьи и Сырдарьи уровень грунтовых вод резко снизился, в результате чего на территории (в пустыне Аралкум) началась стадия автоморфного развития почв, сформировавшихся в гидроморфном режиме.

### Список литературы

1. Последствия деградации почв. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.google.com/search?q=%D0%B4%D0%B5%D0%B3%D1%80%D0%B0%D0%B4%D0%B0%D1%86%D0%B8%D1%8F+%D0%BF%D0%BE%D1%87%D0%B2+> (дата обращения: 15.06.2024).
2. Состояние мировых земельных и водных ресурсов для производства продовольствия и ведения сельского хозяйства: системы на пределе. Сводный доклад 2021. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.fao.org/documents/card/ru/c/cb7654ru> (дата обращения: 15.06.2024).
3. Аральское море. Исполнительная дирекция Международного фонда спасения Арала в Республике Казахстан. [Электронный ресурс]. URL: <https://kazaral.org/> (дата обращения: 15.06.2024).
4. Аринушкина Е.В. Руководство по химическому анализу почв. М., 1975. 491 с.
5. Инструкция по проведению обследования почвы и составлению почвенных карт для ведения государственного земельного кадастра. Нормативный акт. Ташкент, 2013. 52 с.
6. Методы исследования агрофизических, агрохимических и микробиологических свойств почв на хлопковых полях УзПИТИ / УзПИТИ. Ташкент, 1993. 37 с.
7. Гинзбург А.И., Костяной А.Г., Шеремет Н.А., Ижицкий А.С., Соловьев Д.М. Динамика высыхания западного бассейна Большого Аральского моря по спутниковым данным (2002–2021) // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2022. № 5. С. 246–263.
8. Wu N. et al. Insights into Variations and Potential Long-Range Transport of Atmospheric Aerosols from the Aral Sea Basin in Central Asia // Remote Sensing. 2022. Vol. 14. № 13. P. 3201.
9. Chen Z., Gao X., Lei J. Dust emission and transport in the Aral Sea region // Geoderma. 2022. Vol. 428. P. 116-177.

10. Рафиков В.А. Исследование процессов опустынивания в бассейне Арала и пути их предупреждения // Доклады Академии наук Республики Узбекистан. 2019. №4. С. 86-90.
11. Рафиков В.А. Состояние Аральского моря и Приаралья до 2020 года. Ташкент, 2014. 112 с.
12. Исмонов А.Ж., Дусалиев А., Мамажанова У. Мелиоративное состояние осушенных донных грунтов центральной части Аральского моря // Вестник Национального университета Узбекистана. 2022. № 3/2/1. С. 52-55.
13. Томина Т.К. Почвы обсохшего дна Аральского моря // Гидрометеорология и экология. 2009. № 1. С. 60-75.
14. Исмонов А.Ж., Каландаров Н., Мамажанова У., Каттаева Г., Дусалиев А. Почвенно-экологические проблемы Аральского моря // Научное обеспечение устойчивого развития агропромышленного комплекса: сборник материалов научно-практической конференции посвященной памяти академика РАН В.П.Зволинского и 30 летию ФГБНУ «ИАФНС РАН». С. Соленое Займище. Астрахань, 2021. С. 608-611.
15. Ismonov A.J., Kattaeva G.N., Ramazonov B.R., Some issues of improving the hydro geological conditions of the soils of Karakalpakstan // ACADEMICIA an International Multidisciplinary Research Journal. 2021. Vol. 11, Is. 4. P. 968-973.

УДК 57:504:636.7

## СТРАТЕГИЯ КОНТРОЛЯ ЧИСЛЕННОСТИ И РЕГУЛЯЦИИ БРОДЯЧИХ СОБАК В АСТАНЕ

Кубекова В.К.

*ФГБОУ ВО «Бурятский государственный университет имени Доржи Банзарова»,  
Улан-Удэ, e-mail: kubekova.venera@list.ru*

Цель исследования – предложить стратегию контроля и регуляции численности бродячих собак в городе Астана, выявить основные факторы, влияющие на их популяцию. Исследование проводилось в период с марта по декабрь 2021 года в городе Астана. Для комплексного анализа использовались следующие методы: анализ факторов (отсутствие системы стерилизации и кастрации, недостаточное финансирование ветеринарных программ), математическое моделирование популяции для прогнозирования динамики численности и сравнительный анализ опыта других стран. В ходе исследования были определены основные факторы, влияющие на рост численности бродячих собак в городе Астана. Было выявлено, что отсутствие эффективной системы стерилизации и кастрации, а также недостаточное финансирование ветеринарных программ являются ключевыми проблемами. Проведенный сравнительный анализ показал, что внедрение массовой стерилизации, регистрации и вакцинации может существенно снизить численность бродячих собак. Математическое моделирование подтвердило эффективность предложенных стратегий в условиях Астаны. Исследование показало, что для эффективного контроля численности бродячих собак в Астане необходимо внедрение комплексных программ стерилизации, регистрации и вакцинации. Основными рекомендациями являются увеличение финансирования ветеринарных программ, проведение образовательных кампаний и сотрудничество с местными властями и неправительственными организациями. Только совместными усилиями можно достичь устойчивого контроля и регуляции популяции бродячих собак в городе.

**Ключевые слова:** бродячие собаки, контроль численности, регуляция, стратегия, городская среда, бездомные животные, управление популяцией

## POPULATION CONTROL AND REGULATION STRATEGY FOR STRAY DOGS IN ASTANA

Kubekova V.K.

*Buryat State University named after D. Banzarov, Ulan-Ude, e-mail: kubekova.venera@list.ru*

The purpose of the study is to propose a strategy for controlling and regulating the number of stray dogs in the city of Astana and to identify the main factors affecting their population. The research was conducted from March to December 2021 in the city of Astana. The following methods were used for a comprehensive analysis: factor analysis (lack of a sterilization and castration system, insufficient funding for veterinary programs), population modeling to predict population dynamics, and a comparative analysis of the experiences of other countries. The study identified the main factors influencing the increase in the number of stray dogs in the city of Astana. It was found that the lack of an effective sterilization and castration system, as well as insufficient funding for veterinary programs, are key problems. A comparative analysis showed that the introduction of mass sterilization, registration, and vaccination could significantly reduce the number of stray dogs. Population modeling confirmed the effectiveness of the proposed strategies in the conditions of Astana. The study showed that effective control of the number of stray dogs in Astana requires the implementation of comprehensive sterilization, registration, and vaccination programs. The main recommendations are to increase funding for veterinary programs, conduct educational campaigns, and cooperate with local authorities and non-governmental organizations. Only through joint efforts can sustainable control and regulation of the stray dog population in the city be achieved.

**Keywords:** stray dogs, population control, regulation, strategy, urban environment, homeless animals, population management

### Введение

Проблема бродячих собак в городской среде представляет собой серьезный вызов, требующий системного и эффективного подхода. В данной статье автором выявлены основные факторы, влияющие на увеличение численности бродячих собак, и предложены стратегии контроля и регуляции, основанные на передовых методах управления популяцией бездомных животных [1]. Результаты и предложения статьи могут быть важным вкладом в решение данной социальной проблемы в городах с похожими вызовами.

**Цель исследования** – предложить стратегию контроля и регуляции численности бродячих собак в городе Астана, выявить основные факторы, влияющие на их популяцию.

### Материал и методы исследования

Исследование проводилось в период с марта 2021 по декабрь 2021 года в городе Астана. Для комплексного анализа и разработки стратегии контроля численности и регуляции бродячих собак использовались следующие методы и материалы.

### 1. Анализ факторов.

Проведено исследование факторов, влияющих на увеличение численности бродячих собак, таких как отсутствие эффективной системы стерилизации и кастрации, недостаточное финансирование ветеринарных программ и другие социально-экономические аспекты.

### 2. Моделирование популяции.

Использованы математические модели для прогнозирования динамики популяции бродячих собак в условиях введения предлагаемых стратегий.

### 3. Сравнительный анализ.

Проведено сравнение с опытом других стран, успешно решивших проблему бродячих собак, для выявления лучших практик и их возможной адаптации в городе Астана.

Полученные результаты и анализ данных формируют основу предлагаемой стратегии по контролю численности и регуляции бродячих собак в городе Астана.

## Результаты исследования и их обсуждение

Увеличение численности бродячих собак в Астане обусловлено рядом взаимосвязанных факторов. Один из главных факторов – отсутствие эффективной системы стерилизации и кастрации. Ветеринарные клиники часто не обладают достаточными ресурсами и оборудованием для массовой стерилизации, а проводимые кампании по стерилизации нередко ограничены по времени и охвату, что снижает их эффективность.

Недостаточное финансирование ветеринарных программ также играет значительную роль. Государственные бюджеты могут не предусматривать достаточных средств для ветеринарных служб, а частный сектор и благотворительные организации часто не проявляют достаточного интереса к финансированию программ помощи животным. Без должного финансирования невозможно обеспечить массовую стерилизацию, вакцинацию и лечение животных, что приводит к бесконтрольному размножению и распространению заболеваний.

Социально-экономические аспекты также влияют на численность бродячих собак. Бедность и безработица приводят к тому, что люди не могут содержать домашних животных и часто выбрасывают их на улицу. Низкий уровень общественного сознания и недостаток информации о важности стерилизации и ответственном обращении с животными усугубляют проблему. Слабое исполнение законов, касающихся защиты животных и наказания за их выбрасывание, также способствует увеличению численности бродячих собак.

Экологические и инфраструктурные факторы оказывают дополнительное влияние. Городская среда предоставляет множество укрытий и источников пищи для бродячих собак, что способствует их выживанию и размножению. Климатические условия, такие как мягкие зимы и доступность воды, создают благоприятные условия для существования больших популяций бродячих собак.

Таким образом, проблема увеличения численности бродячих собак в Астане является комплексной и требует системного подхода для ее решения. Важно разработать и внедрить эффективные программы стерилизации, обеспечить достаточное финансирование ветеринарных служб, повысить уровень общественного сознания и правоприменения.

Совместные усилия государства, общественных организаций и граждан необходимы для значительного уменьшения численности бродячих собак и улучшения условий их существования.

При разработке различных программ, направленных на управление популяцией уличных собак, целесообразно учитывать лучшие мировые практики, а также факторы, связанные с конкретными городскими условиями и социальными и культурными сообществами [2].

Уличные собаки первоначально появились из-за безответственного ухода и перенаселения домашних животных, связанного с потенциально высокой плодовитостью собак, что привело к несоответствию между спросом и предложением, когда потенциальных владельцев было меньше, чем родившихся щенков. Очень часто домашние животные, не нашедшие своего нового дома, оказывались на улице [3].

Это перенаселение является результатом низкой культуры владения домашними животными (например, неконтролируемого спаривания), изменения моды на определенные породы собак и т.д. Именно так домашние животные и их потомство оказываются на улице [4].

Основными усилиями по контролю популяции уличных собак являются [5]:

- меры, направленные на предотвращение одичания собак;
- усилия по отлову и созданию приютов для уличных собак.

Прогнозирование динамики популяции бродячих собак в условиях введения стратегий контроля и регуляции можно осуществить с помощью различных математических моделей.

Далее приведем несколько примеров таких моделей [6].

*1. Логистическая модель.*

Модель описывает рост популяции с учетом насыщения окружающей среды. Уравнение логистической модели:

$$P(t) = \frac{K}{1 + \frac{K - P_0}{P_0} e^{-rt}}, \quad (1)$$

где  $P(t)$  – размер популяции в момент времени  $t$ ;

$P_0$  – начальный размер популяции;

$K$  – емкость среды (максимальный размер популяции);

$r$  – коэффициент роста.

*2. Модель возрастной структуры.*

Учитывает различные возрастные группы собак и их репродуктивные характеристики.

Уравнение модели:

$$N(t+1) = N(t) + \sum_{i=1}^k (B_i - D_i), \quad (2)$$

где  $N(t)$  – общее количество собак в момент времени  $t$ ;

$B_i$  – количество новых щенков в возрастной группе  $i$ ;

$D_i$  – количество умерших собак в возрастной группе  $i$ .

*3. Модель с экосистемной динамикой.*

Учитывает влияние внешних факторов на популяцию, таких как изменения в окружающей среде, доступность пищи и воздействие человеческих стратегий.

Уравнение модели:

$$\frac{dP}{dt} = rP \cdot \left(1 - \frac{P}{K}\right) - cP, \quad (3)$$

где  $dP / dt$  – скорость изменения размера популяции;

$c$  – коэффициент воздействия стратегий контроля популяции.

*4. Модель, совмещенная с системой уравнений.*

Включает систему уравнений для различных факторов, таких как стерилизация, миграция и воздействие образовательных программ. Модель может включать в себя уравнения для каждого из этих факторов и их взаимодействия.

Выбор конкретной модели зависит от характеристик популяции бродячих собак, данных, доступных для анализа, и целей стратегии контроля и регуляции.

Важно учесть, что моделирование должно быть динамичным и поддерживаться регулярным обновлением данных для точного прогнозирования и адаптации выбранной стратегии.

*Лучшие мировые практики контроля численности собак*

Отлов и помещение в приюты – основной формат обращения с бывшими домашними животными, за которыми не ухаживают, в западных странах. Это включает в себя удаление уличных собак с улиц без их возвращения в прежние места обитания и помещение пойманных животных в приюты, которые также принимают брошенных собак для передачи новым владельцам [7].

Городские и частные приюты сотрудничают с органами контроля за животными. После обязательного периода временного ухода (от 3-5 дней до двух месяцев в зависимости от страны), когда пойманные животные возвращаются их владельцам (в случае утери), домашние животные могут быть переданы новым владельцам или в государственный приют для дальнейшего ухода. Невооруженных животных подвергают эвтаназии. При выборе животных для эвтаназии учитываются их поведенческие характеристики, такие как отношение к людям и агрессивность, а также возраст. В первую очередь подлежат эвтаназии собаки, которые с наименьшей вероятностью найдут новых владельцев [8].

Для уменьшения числа уличных собак и случаев эвтаназии принимаются важные меры, такие как предотвращение размножения домашних собак и повышение уровня заботы о них. Все собаки, передаваемые в новые дома, подвергаются стерилизации. Некастрированных домашних животных разрешено содержать только у лицензированных заводчиков [9].

Также предпринимаются усилия по борьбе с неконтролируемым размножением через регистрацию и идентификацию домашних собак.

Эти усилия помогли некоторым городам и странам сократить количество случаев эвтаназии, поскольку предложение приблизилось к спросу, а уличные животные стали редким явлением. В таких случаях эвтаназия применяется только к смертельно больным, агрессивным или тем, которые не могут существовать самостоятельно [10].

Применение стратегий в Астане может охватывать различные области, включая социальные, экономические, экологические и другие сферы [11].

*1. Исследование и мониторинг.*

Провести детальное исследование популяции бродячих собак, анализировать их перемещение и поведение.

Внедрить современные технологии, такие как искусственный интеллект и GPS-навигация, для эффективного мониторинга и идентификации.

### 2. Превентивные меры.

Организовать кампании по стерилизации и обеспечению ветеринарной помощи для бродячих собак.

Провести образовательные мероприятия для горожан по ответственному содержанию домашних животных и последствиям бродячих популяций.

### 3. Социальные инициативы.

Создать программы по привлечению общественности к участию в решении проблемы бродячих собак.

Разработать мобильные приложения для обратной связи и оперативной передачи информации о местонахождении бродячих собак.

### 4. Эффективное управление популяцией.

Использовать технологии маркировки и трекинга для индивидуальной идентификации и анализа поведения бродячих собак.

Внедрить системы информационного управления для оптимизации реакции и ресурсов.

### 5. Сотрудничество с ветеринарными организациями.

Укрепить сотрудничество с ветеринарными службами для обеспечения эффективной медицинской помощи и стерилизации.

Регулярно проводить медицинские осмотры бродячих собак с целью контроля заболеваемости.

### 6. Четкие нормативы и законы.

Разработать и внедрить четкие законы и нормативы, регулирующие ответственность за бродячих собак и их содержание.

Внедрить систему штрафов за невыполнение нормативов по уходу за домашними животными.

### 7. Общественная осведомленность.

Провести информационные кампании о важности участия горожан в регулировании бродячих собак.

Организовать мероприятия по привлечению внимания к проблеме и поощрению ответственного поведения.

### 8. Постоянный мониторинг и адаптация.

Проводить регулярный мониторинг эффективности стратегии и вносить коррективы в соответствии с изменениями в популяции и общественном мнении.

### 9. Сотрудничество с НПО и международными организациями.

Установить сотрудничество с неправительственными организациями и международными структурами для обмена опытом и поддержки проектов по управлению бродячими популяциями [12].

Эта стратегия призвана создать гармоничную и безопасную городскую среду в Астане, минимизируя влияние бродячих собак и активно вовлекая горожан в реше-

ние этой важной социальной и экологической проблемы.

Исследование численности бродячих собак в городе Астана выявило нарастающую проблему, обусловленную отсутствием системы стерилизации и кастрации. Результаты анализа факторов влияния подтвердили неэффективность текущих ветеринарных программ и недостаточную осведомленность общества [13].

Сравнение с опытом других стран подтвердило, что массовая стерилизация, регистрация и вакцинация эффективны в решении проблемы бродячих собак. Математические модели предоставили подтверждение, что внедрение подобных программ может значительно снизить численность бродячих собак в городе [14].

## Заключение

Основными рекомендациями для решения проблемы являются увеличение финансирования ветеринарных программ, разработка образовательных кампаний и укрепление сотрудничества с местными властями. Только совместными усилиями общества, властей и ветеринарных служб можно достичь устойчивого контроля численности и регуляции бродячих собак в Астане.

Подводя итог, необходимо отметить, что неотложные действия включают в себя проведение опроса и кампаний по информированию общественности. Краткосрочные цели в течение 6-12 месяцев должны быть сосредоточены на реализации программ «Отлов-кастрация-возвращение», расширении возможностей приютов и введении новых правил. Долгосрочные цели на 1-5 лет направлены на значительное сокращение популяции бездомных собак и создание устойчивой системы управления. Благодаря этой комплексной стратегии Астана сможет эффективно управлять популяцией бродячих собак, обеспечивая общественную безопасность и благополучие животных.

## Список литературы

1. Каледин А.П. Прогнозирование численности охотничьих животных в Государственном комплексе «Завидово» на основе математической модели // Главный зоотехник. 2022. № 11. DOI:10.33920/sel-03-2211-01.
2. Кислицына Е.А. Бездомные собаки как компонент урбанизированных территорий // Юный ученый. 2017. № 3.1 (12.1). С. 42-47.
3. Кононов А.Н. Мониторинг численности и плотности бездомных собак на урбанизированной территории // Вестник АПК Ставрополя. 2020. № 1 (37). С. 16-18.
4. Лобанова В.А. Оптимизация схемы вакцинации собак против бешенства (Rhabdoviridae: Lyssavirus) при помощи математической модели // Вопросы вирусологии. 2021. Т. 66, № 5. С. 354-367.

5. Матвеева К.О. Математическая модель динамики популяции трех видов животных // Альманах современной науки и образования. 2009. № 6 (25). С. 117-121.
6. Никанорова А. М. Аналитическое математическое моделирование численности популяции комаров калужской области // Ветеринарная патология. 2020. № 4. С. 12-16.
7. Петросян В.Г. Моделирование динамики численности, оценка и сравнительный анализ демографических параметров популяций лосося в России и Финляндии с использованием данных многолетнего мониторинга // Математическая биология и биоинформатика. 2012. Т. 7, № 1. С. 244–256.
8. Ревуцкая О.Л. Моделирование динамики численности популяции с возрастной и половой структурой и оптимизация промысла: дис. ... канд. физ.-мат. наук. Владивосток, 2011. 162 с.
9. Федотов С.В., Савенков К.А. Регулирование воспроизводства бродячих собак // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. 2018. №11. С. 77-81.
10. Цветкова И.В. Социальная проблема бездомных животных и способы ее решения (по результатам исследования в Тольятти) // Вестник Кемеровского государственного университета. 2022. № 1. С. 60-69.
11. Челинцев Н.Г. Математические основы учёта животных. М., 2006. 431 с.
12. Тимушкина Н.В. Бездомные собаки и кошки как угроза для жизни и здоровья детей и взрослых // Актуальные проблемы безопасности жизнедеятельности и физической культуры: сб. науч. ст. Саратов, 2018. С. 171-175.
13. Тонких А.Г. Некоторые подходы к решению проблемы правового регулирования численности бездомных животных // Ученые записки Тамбовского отделения регионального отделения Российского союза молодых ученых. 2022. № 26. С. 45-56.
14. Уразаева С.Т., Таскалиев С.Е., Умарова А.Е. Таскалиева Д.С. Заболеваемость бешенством в Казахстане // International Scientific Journal. 2016. № 1. С. 29-31.

УДК 57:612.76

**ПАРАМЕТРЫ ДЕФОРМАЦИОННЫХ СВОЙСТВ ПОЛОЙ ВЕНЫ****Муслов С.А., Зайцева Н.В., Корнеев А.А., Чистяков М.В.,  
Завьялова А.И., Солодов А.А.***Российский университет медицины, Москва, e-mail: muslov@mail.ru*

Целью статьи являлось на основе литературных данных рассчитать параметры гиперэластичных свойств полой вены человека. Использовали данные, полученные при одноосных механических испытаниях полой вены на аутопсийном материале. Расчеты проведены на основе испытаний на одноосное растяжение аутопсийного материала в интервале деформаций 0-0.26 с помощью системы компьютерной алгебры Mathcad 15.0. Рассмотрены наиболее часто встречающиеся в механике больших деформаций гиперэластичные модели: неогукковская, Муни-Ривлина, Огдена, Йео, полиномиальная и Веронда-Вестманн. «Невязку» опытных и модельных данных определяли с помощью параметров описательной статистики: значений стандартного отклонения, максимальной абсолютной ошибки, приведенной погрешности и коэффициента корреляции. По полученным результатам описания механического поведения полых вен лучше всего подходит гиперэластичная модель Веронда-Вестманн, менее всего – 1-параметрическая неогукковская. Последняя проявляет и механическую нестабильность при малых деформациях, что несвойственно биологическим тканям. Рассмотрены также линейная, билинейная и экспоненциальная модели полой вены и получены численные значения показателей их деформационных свойств. Наилучшие характеристики среди данных моделей продемонстрировала экспоненциальная деформационная модель. Актуальность исследований обусловлена необходимостью знаний параметров деформационных свойств полых вен при разработке замещающих материалов для протезов и функциональных аналогов в сосудистой хирургии.

**Ключевые слова:** полая вена, деформационные модели, гиперэластичность**PARAMETERS OF DEFORMATION PROPERTIES OF THE VENA CAVA****Muslov S.A., Zaitseva N.V., Korneev A.A., Chistyakov M.V.,  
Zavialova A.I., Solodov A.A.***Russian University of Medicine, Moscow, e-mail: muslov@mail.ru*

The purpose of the article was, based on literature data, to calculate the parameters of the hyperelastic properties of the human vena cava. We used data obtained from uniaxial mechanical tests of the vena cava on autopsy material. Calculations were carried out based on uniaxial tensile tests of autopsy material in the strain range 0-0.26 using the computer algebra system Mathcad 15.0. The most common hyperelastic models in the mechanics of large deformations are considered: neo-Hookean, Mooney-Rivlin, Ogden, Yeo, polynomial and Veronda-Westmann. The “discrepancy” of the experimental and model data was determined using the parameters of descriptive statistics: standard deviation values, maximum absolute error, reduced error and correlation coefficient. According to the results obtained for describing the mechanical behavior of the vena cava, the hyperelastic Veronda-Westmann model is best suited, and the 1-parameter neo-Hookean model is least suitable. The latter also exhibits mechanical instability at small deformations, which is unusual for biological tissues. Linear, bilinear and exponential models of the vena cava were also considered and numerical values of the indicators of their deformation properties were obtained. The best performance among these models was demonstrated by the exponential deformation model. The relevance of the research is due to the need to know the parameters of the deformation properties of the vena cava when developing replacement materials for prostheses and functional analogues in vascular surgery.

**Keywords:** vena cava, deformation models, hyperelasticity**Введение**

Механическим свойствам биологических тканей органов человека и животных посвящено весьма большое количество публикаций [1-3], а интерес исследователей к ним не ослабевает и в последние годы (рис. 1). Триггером в этом процессе послужила актуальность применения сегодня замещающих материалов с заданными свойствами в пластической хирургии и трансплантологии. Для успешных вмешательств знание физических, и прежде всего механических, параметров тканей материалов-заменителей, как и природных тканей, крайне необходимо. Полые вены – два магистральных сосуда, по кото-

рым возвращается венозная кровь из тела в сердце. В настоящее время в связи с распространенностью болезней крупных вен организма человека особую важность приобретают вопросы протезирования этого отдела сосудистого русла.

Оптимальными материалами для протезов признаны аутооттрансплантаты, а среди синтетических – пористый политетрафторэтилен [5]. Также доказала высокую эффективность эндovasкулярная реконструкция нижней полой вены саморасширяющимися нитиноловыми стентами [6].

Однако деформационные свойства собственно тканей полой вены изучены недостаточно.

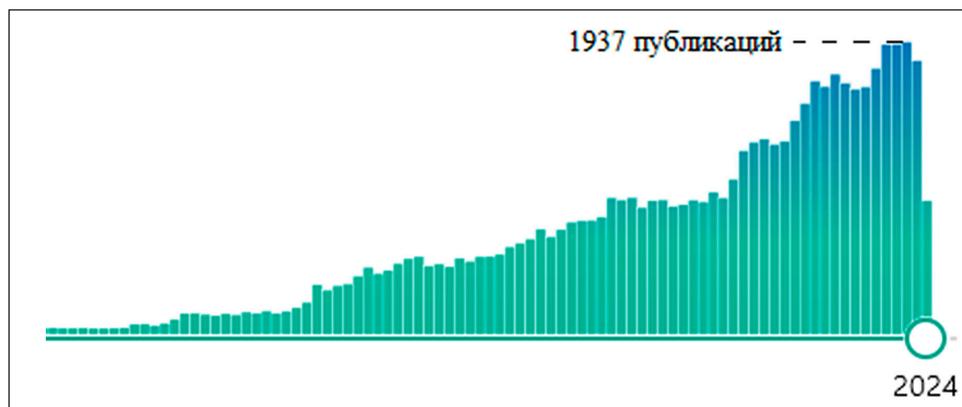


Рис. 1. Число публикаций, посвященных полым венам, в мировой медицинской литературе по годам [4]

В качестве примера можно привести одну из немногочисленных публикаций [7], в которой, используя наноиндентирование, пространственно картировали микромеханические свойства срезов аорты и полых вен хорька с толщиной стенки 5 мкм и связали эти механические свойства с гистологическим распределением эластичных волокон. Модуль упругости аорты прогрессивно снижался от 35 МПа в адвентициальном (самом внешнем) слое до 8 МПа в интимальном (самом внутреннем) слое. Напротив, полая вена была относительно жесткой, с модулем упругости >30 МПа как в богатой внеклеточным матриксом адвентициальной, так и в интимальной областях сосуда. Однако центральный высококлеточный медиальный слой полых вен имел модуль упругости ~20 МПа. В областях ткани, богатых внеклеточным матриксом, модуль упругости, определенный с помощью наноиндентирования, обратно коррелировал с плотностью эластичных волокон. Таким образом, авторы выявили возможность пространственно разрешать различия в микромеханических свойствах крупных артерий и вен, связанные с микроструктурой тканей, однако не указали диапазон деформаций, в котором производили измерения, что весьма важно. Автор статьи [8] W. Li инфузионным методом установил, что модуль Юнга полых вен варьируется в зависимости от давления от 22 до 84 кПа и имеет тенденцию к росту с увеличением трансмурального давления. Тем не менее детально пассивные упругие и гиперупругие свойства полых вен не изучались, а данные зачастую противоречили друг другу. Это связано прежде всего с тем, что упругие свойства мягких биологических тканей являются дифференциальными (инкрементальными, т.е. возрастающими с деформацией)

и гиперупругими (как известно, гиперупругие материалы способны испытывать гигантские деформации, а потом возвращаться к исходному состоянию или близкому к нему) и не могут быть выражены всего лишь одним значением  $E = \Delta\sigma/\Delta\epsilon$ . И даже двух значений  $E_1$  и  $E_2$  в билинейной модели с двумя модулями упругости недостаточно.

Актуальность исследований определена необходимостью знаний данных параметров при разработке замещающих материалов для протезов в сосудистой хирургии.

**Цель исследования** – на основании результатов известных механических испытаний изучить деформационные свойства стенки полых вен человека.

#### Материалы и методы исследования

Расчеты производили в программном пакете Mathcad 15.0. Использовали данные, полученные при одноосных механических испытаниях полых вен на аутопсийном материале, представленные в работе [9, с. 261-301]. Применяли функции «подгонки» *linfit* и *genfit*, а также функционал *corr*. Анализировались наиболее часто встречающиеся в мировой литературе гиперупругие модели: неогуксовская, Муни-Ривлина [10], Огдена, Йео, полиномиальная [11] и Веронда-Вестманн [12].

#### Результаты исследования и их обсуждение

**Гиперупругие модели.** Результаты вычислений сведены в таблицы 1 и 2, а зависимости «напряжение – деформация» отображены на рисунке 2.

Отметим, что на графике при малых деформациях можно видеть участок механической неустойчивости материала в модели Муни-Ривлина (начальный упругий модуль  $E_{MR} < 0$ ).

Таблица 1

Параметры гиперупругих моделей поллой вены

Гиперупругая модель (постоянные)	$\mu$ , кПа	$\alpha$	$C_{10}, C_{01}$ , кПа	$C_{01}, C_{20}$ , кПа	$C_{20}, C_{30}$ , кПа	$C_{02}$ , кПа	$C_{11}$ , кПа
Неогуковская ( $\mu$ )	18.691	–	–	–	–	–	–
Муни-Ривлина 2-параметрическая ( $C_{10}, C_{01}$ )	–	–	233.899	-262.08	–	–	–
Огдена 1-го порядка ( $\mu, \alpha$ )	27.659	0.065	–	–	–	–	–
Йео 3-го порядка ( $C_1, C_2, C_3$ )	–	–	6.571	-69.422	530.332	–	–
Полиномиальная 2-го порядка ( $C_{10}, C_{01}, C_{20}, C_{02}, C_{11}$ )	–	–	-624.25	639.764	$2.70 \cdot 10^4$	$3.88 \cdot 10^4$	$-6.4 \cdot 10^4$
Веронда-Вестманн ( $C_1, C_2, C_3$ )	–	–	0.084	17.439	0.929	–	–

Таблица 2

Статистические показатели гиперупругих моделей поллой вены

Гиперупругие модели	Стандартное отклонение SD, кПа	Макс. абсолютная ошибка $\Delta$ , кПа	Приведенная погрешность $\delta_{max}$ , %	Коэффициент корреляции R
Неогуковская	9.176	10.63	24.647	0.824
Муни-Ривлина 2-параметрическая	4.431	5.666	13.137	0.949
Огдена	0.645	1.139	2.641	0.9992
Йео	0.811	1.073	2.488	0.998
Полиномиальная	0.259	0.354	0.821	0.9998
Веронда-Вестманн	0.197	0.414	0.96	0.9999

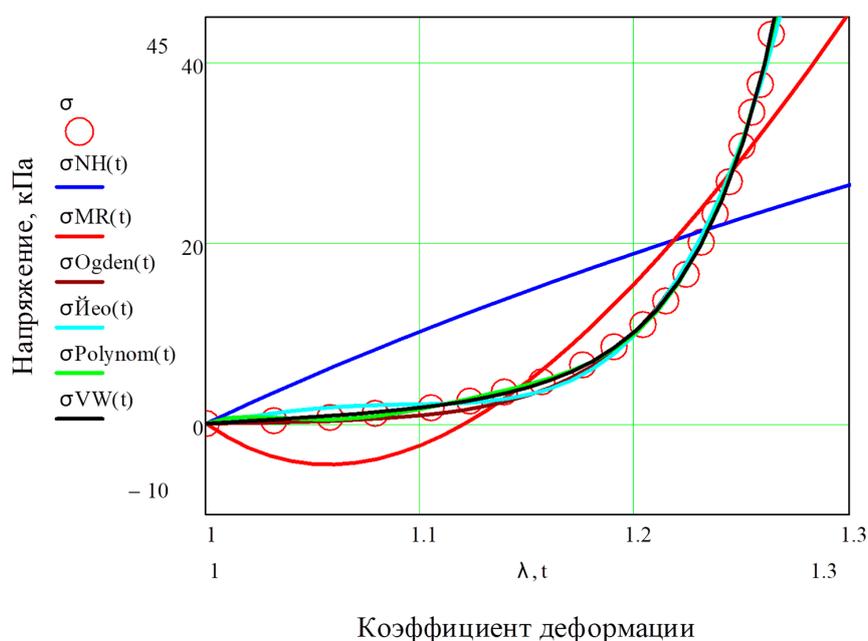


Рис. 2. Вид гиперупругих модельных функций поллой вены: в неогуковской (NH), Муни-Ривлина (MR), Огдена (Ogden), Йео (Yeoh), полиномиальной (Polynom), Веронда-Вестманн (VW) моделях и экспериментальные данные ( $\sigma$ )

*Линейная, билинейная и экспоненциальная деформационные модели.*

Представляет также интерес исследование деформационных свойств поллой вены в рамках деформационных линейной, билинейной и экспоненциальной моделей (табл. 3 и 4). Данные модели описывали функциями вида:

$\sigma = E \cdot \varepsilon$  – линейная зависимость;

$\sigma = E_1 \cdot \varepsilon + E_2 \cdot (\varepsilon - \varepsilon_{кр}) \cdot \theta(\varepsilon - \varepsilon_{кр})$  – билинейная зависимость;

$\sigma = a \cdot [\exp(b \cdot \varepsilon) - 1]$  – экспоненциальная зависимость.

$E$  – модуль Юнга в линейной модели;

$E_1 = E_{мин}$ ,  $E_2 = E_{макс}$  – минимальный и максимальный модули Юнга в билинейной модели,

$\theta$  – ступенчатая функция Хэвисайда, равная нулю для значений аргумента, меньших нуля, и единице – для значений, больших нуля;

$\varepsilon_{кр} = 0.22$  – деформация, соответствующая в билинейной модели точке,  $s_{билin1} = s_{билin2}$  (рис. 3), и при которой эластиновый механизм деформации мягких тканей сменяется на коллагеновый;

параметры  $a$  и  $b$  отвечают наиболее точной экспоненциальной аппроксимации.

**Таблица 3**

Параметры линейной, билинейной и экспоненциальной моделей поллой вены

Свойства	Деформационные						
	Линейная	Билинейная			Экспоненциальная		
Модель							
Параметры	$E$ , кПа	$E_1$ , кПа	$E_2$ , кПа	$\varepsilon_{кр}$	$a$ , кПа	$b$	$E_{ср}^*$ , кПа
	94.47	2.64	944.72	0.22	0.118	22.351	160.29

\*среднее значение  $E_{ср}$  рассчитывали по формуле  $E_{ср} = \frac{1}{\varepsilon_{макс} - \varepsilon_{мин}} \int_{\varepsilon_{мин}}^{\varepsilon_{макс}} E(\varepsilon) d\varepsilon$ .

**Таблица 4**

Статистические показатели линейной, билинейной и экспоненциальной моделей поллой вены

Гиперупругие модели	Стандартное отклонение SD, кПа	Макс. абсолютная ошибка $\Delta$ , кПа	Приведенная погрешность $\delta_{max}^2$ %	Коэффициент корреляции R
Линейная	7.572	10.131	23.49	0.8561
Билинейная	8.644	13.017	30.18	0.8561
Экспоненциальная	0.565	0.811	1.88	0.9995

В таблице 4 обращает на себя внимание тот факт, что параметры «подгонки» SD,  $\Delta$  и  $\delta_{max}$  линейной функции отличаются в лучшую сторону по сравнению с аналогичными у 2-модульной билинейной модели (с минимальным и максимальным упругим модулем). Коэффициенты корреляции R обеих моделей при этом одинаковы. Очевидно, использовать в билинейной модели наименьший и наибольший значения модулей не является лучшей идеей.

Из таблицы 4 также следует, что статистические показатели экспоненциальной модели (SD = 0.565,  $\Delta$  = 0.811,  $\delta_{max}$  = 1.881%, R = 0.9995) не хуже 3 из 6 рассмотренных гиперупругих моделей (табл. 2), что делает ее предпочтительнее данных моделей при аппроксимации деформационных свойств поллой вены.

Таким образом, из таблицы 3 следует, что упругие модули поллой вены равны: в линейной модели 94.47 кПа, в билинейной 2.64 кПа (минимальный) и 944.72 кПа (максимальный). Средний модуль Юнга в экспоненциальной аппроксимации – 160.29 кПа. То есть максимальный модуль Юнга поллой вены больше минимального в 356 (!) раз и является в итоге выраженным дифференциальным (инкрементальным). При этом упругий модуль линейной модели и средний модуль экспоненциальной модели значительно ближе по величине к минимальному значению, чем к максимальной величине (рис. 4). Очевидно, это связано с тем, что «разгон» дифференциального упругого модуля происходит медленно и большая его часть соответствует диапазону малых деформаций ( $\approx 0-0.15$ ).

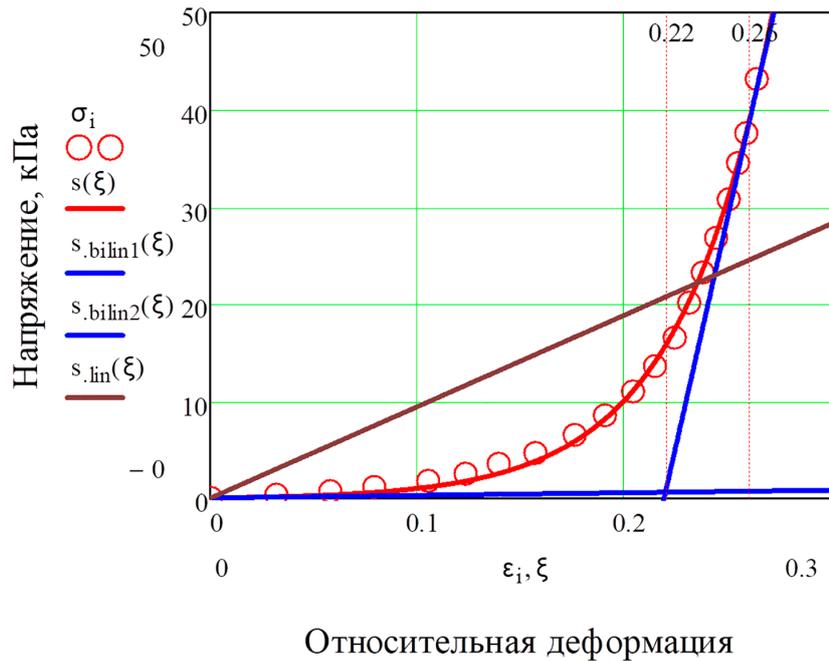


Рис. 3. Деформационные свойства поллой вены:  $\sigma_i$  – опытные точки [9],  $s(\xi)$  – экспоненциальная модель,  $s_{bilin1}(\xi)$  и  $s_{bilin2}(\xi)$  – билинейная модель,  $s_{lin}(\xi)$  – линейная модель

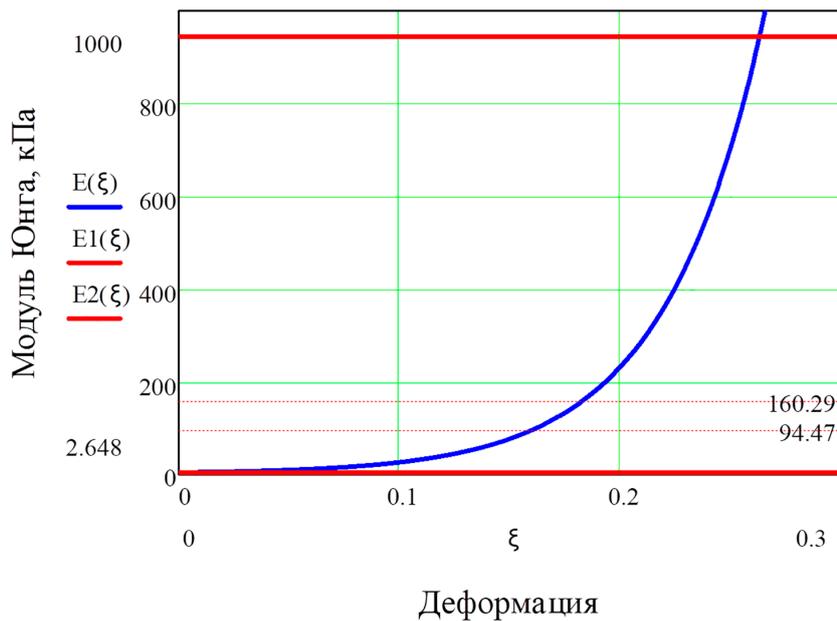


Рис. 4. Упругие модули поллой вены: минимальный  $E_1 = 2.64$  кПа, максимальный  $E_2 = 944.72$  кПа, модуль Юнга линейной модели  $E = 94.47$  кПа (пунктир), среднее значение экспоненциальной модели  $E_{cp} = 160.29$  кПа (пунктир) и дифференциальный  $E(\xi)$

### Выводы

1. Рассчитаны параметры гиперупругих моделей поллой вены человека и определены их статистические показатели как коэффициентов «подгонки» аппроксимирующих

функций под имеющиеся экспериментальные данные.

2. Для описания механического поведения поллой вены лучше всего подходит гиперупругая модель Веронда-Вестманн

(SD = 0.197,  $\Delta$  = 0.026,

$\delta_{\max} = 0.96\%$ , R = 0.9999),

менее всего – простейшая 1-параметрическая неогуксовская модель

(SD = 9.176,  $\delta$  = 0.156,

$\delta_{\max} = 24.647\%$ , R = 0.824).

3. Двухпараметрическая модель Муни-Ривлина закономерно не проявила хороших показателей и также не рекомендована для описания деформационных кривых поллой вены. Кроме того, на начальном участке деформирования она характеризуется механической неустойчивостью, что не соответствует экспериментальным наблюдениям.

4. Установлены параметры линейной, билинейной и экспоненциальной деформационных моделей поллой вены, а также их статистические показатели. Модуль Юнга поллой вены является инкрементальным и в линейной модели равен 94.47 кПа, в билинейной – 2.64 кПа (минимальный) и 944.72 кПа (максимальный). Средний модуль Юнга в экспоненциальном приближении – 160.29 кПа.

5. Результаты моделирования могут быть полезны при расчетах в биоинженерии и медицине при подборе замещающих материалов для реконструктивных операций на крупных сосудах в сердечно-сосудистой хирургии и разработке конструкций из этих материалов.

#### Список литературы

1. Муслов С.А., Перцов С.С., Арутюнов С.Д. Физико-механические свойства биологических тканей / Под ред.

академика РАН О.О. Янушевича. М.: Практическая медицина, 2023. 456 с.

2. Муслов С.А., Арутюнов С.Д. Механические свойства зуба и околозубных тканей: монография. М.: Практическая Медицина, 2020. 256 с.

3. Муслов С.А., Арутюнов С.Д. Физические свойства тканей зуба. М.: Практическая медицина, 2021. 176 с.

4. Aung E.Y., Khan M., Williams N., Raja U., Hamady M. Endovascular Stenting in Superior Vena Cava Syndrome: A Systematic Review and Meta-analysis // *Cardiovasc Intervent Radiol.* 2022. Vol. 45(9). P. 1236-1254.

5. Тарасов В.А., Богданович А.С., Литвинов А.Ю., Ларин И.А. Резекция и протезирование верхней поллой вены при солидных злокачественных опухолях грудной клетки // *Вестник Санкт-Петербургской медицинской академии последипломного образования.* 2011. Т. 3, № 2. С. 26-31.

6. Sebastian T., Dopheide J.F., Engelberger R.P., Spirk D., Kucher N. Outcomes of endovascular reconstruction of the inferior vena cava with self-expanding nitinol stents // *J. Vasc. Surg. Venous Lymphat. Disord.* 2018. Vol. 6(3). P. 312-320. DOI: 10.1016/j.jvsv.2017.11.012.

7. Akhtar R., Schwarzer N., Sherratt M.J., Watson R.E., Graham H.K., Trafford A.W., Mummery P.M., Derby B. Nanoindentation of histological specimens: Mapping the elastic properties of soft tissues // *J. Mater. Res.* 2009. Vol. 24(3). P. 638-646. DOI: 10.1557/JMR.2009.0130.

8. Li W. Biomechanical property and modelling of venous wall // *Progress in Biophysics and Molecular Biology.* 2018. Vol. 133. P. 56-75. DOI: 10.1016/j.pbiomolbio.2017.11.004.

9. Fung Y.C. *Mechanical Properties of Blood Vessels* // Biomechanics. NY: Springer, 1981. 433 p. DOI: 10.1007/978-1-4757-1752-5\_8.

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

11. Rackl M. Curve Fitting for Ogden, Yeoh and Polynomial Models // *ScilabTEC 2015, 7th International Scilab Users Conference.* (Paris, France, 21st and 22nd May 2015). France, 2015. P. 1-18.

12. Veronda D.R., Westmann R.A. Mechanical characterization of skin-finite deformations // *J. Biomech.* 1970. Vol. 3(1). P. 111-24. DOI: 10.1016/0021-9290(70)90055-2.

УДК 575.222:633.511

## СОЛЕУСТОЙЧИВОСТЬ СЕМЕЙ И ЛИНИЙ ХЛОПЧАТНИКА С РАЗЛИЧНОЙ ГЕНЕТИЧЕСКОЙ ОСНОВОЙ

Мухаммадиева Ш.Н.

<sup>1</sup>Национальный университет Узбекистана имени М.Улугбека, Ташкент,  
e-mail: shaxzodabonumuxammadieva01k@gmail.com

Целью исследования было изучение солеустойчивости семей и линий, полученных на основе географически отдаленной гибридизации хлопчатника в условиях различных фонов засоления. В качестве исходного материала были использованы 13 сортов семей и линий со сложной генетической основой, полученных при участии видов *G. thurberi* Tod., *G. raimondii* Ulbr., *G. arboreum* L., *G. hirsutum* L. и *G. barbadense* L. В статье представлен анализ полученных результатов оценки семей и линий со сложной генетической основой на устойчивость к засолению в лабораторных и полевых условиях. Всхожесть семян в лабораторных условиях сравнивали с контролем на питательных средах с 5 различными концентрациями солей (50, 100, 150, 200, 250 мкм/моль). По результатам исследований определено, что толерантность семей линий со сложной генетической основой значительно выше, чем у стандартных сортов, и установлено, что они устойчивы к засолению почвы. Сорт СП-1303 и семьи О-117-125/18, О-87-91/18 и одна линия Л-1379 показали высокий процент устойчивости в полевых и лабораторных условиях, и статистически доказано, что естественная устойчивость, характерная для диких видов, формировалась в их генотипе. Отбор устойчивых семей и линий в дальнейших исследованиях дает возможность создания новых линий и сортов с высокими показателями к солеустойчивости.

**Ключевые слова:** хлопчатник, сорт, гибридизация, сложная межвидовая гибридизация, генотип, геном, толерантность, семья, линия

## SALT TOLERANCE OF COTTON FAMILY AND LINES WITH DIFFERENT GENETIC BASIS

Muhammadieva Sh.N.

National University of Uzbekistan named after M. Ulugbek, Tashkent,  
e-mail: shaxzodabonumuxammadieva01k@gmail.com

The purpose of the study was to study the salt tolerance of families and lines obtained on the basis of geographically distant hybridization of cotton under different salinity backgrounds. As source material, 13 families of lines and varieties with a complex genetic basis were used, obtained with the participation of the species *G. thurberi* Tod., *G. raimondii* Ulbr., *G. arboreum* L., *G. hirsutum* L. and *G. barbadense* L. The article presents an analysis of the results obtained from assessing families and lines with a complex genetic basis for resistance to salinity in laboratory and field conditions. Seed germination in laboratory conditions was compared with control on nutrient media with 5 different salt concentrations (50 µm/mol, 100 µm/mol, 150 µm/mol, 200 µm/mol, 250 µm/mol). According to the research results, the tolerance of families of lines with complex genetic basis is significantly higher than that of standard varieties, and it was found that they are resistant to soil salinity, variety SP-1303 and families O-117-125/18, O-87-91/18 and one line L-1379 showed high resistance. percentage of resistance in field and laboratory conditions and statistically proven that the natural resistance characteristic of wild species was formed in their genotype. Selection of resistant families and lines in further research makes it possible to create new lines and varieties with high levels of salt tolerance.

**Keywords:** cotton, variety, hybridization, complex interspecific hybridization, genotype, genome, tolerance, family, line

### Введение

По всему миру хлопок является самой выращиваемой непищевой культурой – более 20 миллионов тонн ежегодного производства хлопкового волокна получают из растений, занимающих 30 миллионов гектаров посевов [1]. Современные глобальные изменения климата, способствующие ослаблению иммунитета растений, усилению вредоносности и распространности патогенов и их переносчиков [2], снижению устойчивости полевых культур к абиотическим [3] и биотическим факторам, негативно сказываются на сельскохозяйственном производстве [4]. Среди абиотических стрессов засоление является

глобальной проблемой и в основном встречается в засушливых и полусушливых регионах из-за накопления свободной соли [5-7]. Для снижения факторов, влияющих на хлопковое сырье и выход волокна, важно создание новых сортов и развитие хлопководства путем переноса признаков естественной толерантности диких видов хлопчатника в генотип культурных сортов путем гибридизации. Поэтому на данный момент большое внимание уделяется изучению уникальных признаков и особенностей дикорастущих и культурных видов хлопчатника, привлечению их к гибридизации, обогащению генотипа *G. hirsutum* L. и *G. barbadense* L. и получению генетиче-

ски обогащенных уникальных форм хлопчатника. Для этого необходимо проводить исследования для создания новых гибридов путем скрещивания видов, принадлежащих к разным геномным группам хлопчатника, определения закономерностей наследования, изменчивости и формирования уникальных признаков в гибридных поколениях, в результате объединения в них уникальных признаков в один генотип, с новыми генетически обогащенными трансгрессивными рекомбинантными формами, семьями, линиями.

Изучение существующих диких и культурных видов хлопчатника, перенос уникальных признаков диких видов в генотип культурных сортов, оценка уровня устойчивости гибридов, линий и сортов хлопчатника к различным стрессовым факторам, вопросы определения закономерности наследственности и изменчивости признаков у гибридов со сложной генетической основой обсуждались отечественными и зарубежными учеными [8, с. 19; 9, с. 57].

В исследовании автора Манжина С.А. было показано, что семена, выращенные в засоленной почве в течение двух лет были более приспособлены к засолению, чем семена, выращенные в незасоленной почве. Отмечается, что при посадке этих семян в высококонцентрированную засоленную почву всхожесть составила 72%, а в незасоленную почву – 28% [10].

Засоленные почвы – это группа почв разного генезиса и свойств, имеющих в профиле такое количество легкорастворимых солей, которое ухудшает плодородие почв и отрицательно влияет на рост и развитие большинства растений. По химизму засоления различают почвы с нейтральным засолением –  $pH < 8,5$  (хлоридное, сульфатно-хлоридное, хлоридно-сульфатное, сульфатное) и щелочным засолением –  $pH > 8,5$  (хлоридно-содовое, содово-хлоридное, сульфатно-содовое, содово-сульфатное, сульфатно-хлоридно-гидрокарбонатное). При оценке засоления почв, как правило, определяют анионы ( $CO_3^{2-}$ ,  $HCO_3^-$ ,  $Cl^-$ ,  $SO_4^{2-}$ ) и катионы ( $Ca^{2+}$ ,  $Mg^{2+}$ ,  $Na^+$ ,  $K^+$ ) легкорастворимых солей. В некоторых случаях дополнительно определяют ионы боратов, нитратов и нитритов [11]. По данным Ишчанова Ж.К. и соавторов, наиболее опасным для растений считается засоление с избыточным содержанием карбоната натрия [12; 13], а по данным авторов статьи [14] – более токсично хлоридное засоление.

Засоление орошаемых земель в Сырдарьинской области распространено более чем на 90% орошаемой площади, приблизи-

тельно 20% из них – это земли со средней и сильной степенью засоления [15]. В Хорезмской области площадь засоленных земель составляет 68,8%, из них почти 50% – земли средней и сильной степени засоления [16; 17].

Из-за засоления почв Бухарской области каждый год урожай растений хлопчатника собирается намного меньше по сравнению с незасоленной почвой. И, как следствие засоления почв, понижается и качество урожая [18].

**Цель исследования** – оценка семей и линий со сложной генетической основой на устойчивость к засолению в лабораторных и полевых условиях.

#### Материалы и методы исследования

В качестве объекта исследования выбраны 13 межгеномных сортов семей и линий со сложной генетической основой, полученных при участии видов *G. thurberi* Tod., *G. raimondii* Ulbr., *G. arboreum* L., *G. hirsutum* L. и *G. barbadense* L.

По результатам полевых исследований проведены гибридологический и вариационно-статистический анализ, где в условиях единого опыта изучались все родительские сорта, сорта-индикаторы и межсортные гибриды  $F_1 - F_2$ . Статистическая обработка данных проводилась по Б.П. Доспехову [19].

#### Результаты исследования и их обсуждение

Проведены исследования по определению толерантности к засолению почв межгеномных семей и линий. Солеустойчивость этих семей и линий определяли путем предварительного выращивания их в лабораторных условиях на соленых питательных средах с разной концентрацией солей, то есть уровень всхожести семян на соленых питательных средах различной концентрации. Потому что при выращивании хлопчатника на засоленных почвах основное внимание уделяется получению полноценных всходов. На средне- и сильнозасоленных почвах не все образцы хлопчатника всходят и семена загнивают. Поэтому всхожесть семян сравнивали с контролем на питательных средах с 5 различными концентрациями солей (50, 100, 150, 200, 250 мкм/моль).

Для определения устойчивости этих семей и линий на каждую питательную среду высевали по 40 семян, в качестве образцовых сортов были взяты сорта С-4727 и С-6524, выращенные на полях средней и низкой засоленности (табл. 1). Всхожесть изучаемых семей линий колебалась от 85,0% (О-107-116/18) до 95,6% (О-117-125/18).

Таблица 1

Всхожесть семей и линий, полученных на основе комплексной межвидовой гибридизации хлопчатника в условиях заселения различной концентрации, % (в лабораторных условиях)

№	Семья и линии	N	0 м/моль (контроль)		50 м/моль		100 м/моль		150 м/моль		200 м/моль		250 м/моль	
			M±m	V%	M±m	V%	M±m	V%	M±m	V%	M±m	V%	M±m	V%
1	O-142-147/18	40	86,6±5,0	9,42	80,8±2,28	3,99	70,0±2,7	11,66	62,5±3,77	15,31	42,5±2,53	11,76	32,4±1,8	20,41
2	O-107-116/18	40	85,0±4,66	14,41	82,5±3,95	1,44	76,5±3,6	18,18	66,2±2,16	13,20	40,5±1,84	6,06	16,5±1,77	15,31
3	O-160-171/18	40	90,7±4,47	7,02	76,5±2,00	3,69	72,5±2,4	23,55	55,4±2,1	11,66	28,4±1,75	11,66	5,4±0,772	6,32
4	O-117-125/18	40	95,6±3,87	5,76	88,4±2,20	3,49	79,5±2,13	10,35	68,5±1,92	9,07	54,6±1,53	5,71	50,2±1,95	14,18
5	O-132-141/18	40	90±4,32	9,93	82,5±1,17	2,05	68,0±2,08	6,79	52,4±2,17	11,76	26,4±1,13	16,32	0	0
6	O-201-204/18	40	91,6±2,88	4,45	77,5±2,63	4,72	62,5±2,14	15,31	55,9±2,24	18,18	32,5±2,11	29,45	17,5±0,98	18,18
7	O-312-313/18	40	94,4±4,26	9,51	75,0±2,47	2,71	62,9±2,95	13,60	51,8±1,21	16,32	18,5±1,14	25,53	3,5±0,29	55,92
8	O-87-91/18	40	94,3±4,12	8,52	90,0±2,85	1,28	78,5±2,53	5,40	75,5±2,32	5,71	62,5±1,98	10,94	47,5±1,21	6,45
9	Л-1306	40	92,0±4,91	9,09	75,0±3,42	2,65	57,5±2,89	21,88	40,6±2,48	20,41	20,4±1,02	40,82	13,2±0,84	43,30
10	Л-1379	40	91,6±4,95	10,72	87,5±3,85	1,28	80,8±3,46	10,20	69,5±2,34	12,35	52,4±2,6	31,57	50,5±1,54	21,88
11	СП-1303	40	90,8±3,48	9,93	87,5±3,53	2,22	80,0±1,43	5,12	72,5±2,43	10,35	65,4±2,65	9,07	54,5±2,04	14,18
12	С-4727	40	90,5±4,47	7,02	82,5±2,91	3,27	70,4±3,24	20,41	65,4±4,08	23,09	48,6±2,12	51,63	19,5±1,08	38,49
13	С-6524	40	91,6±3,95	10,72	80,0±2,97	1,51	67,5±2,77	12,35	55,4±2,52	7,69	36,5±1,26	13,20	13,4±0,89	23,47

Низкий результат по уровню всхожести наблюдался у семей О-160-171/18 (5,4%), О-312-313/18 (3,5%) на среде 250 мкм/моль, что касается семян, относящихся к О-132 -141/18, обнаружено, что они не устойчивы к засолению (табл. 1). Можно сделать вывод, что эти семейства неустойчивы к засолению почв. Положительный результат отмечен у О-117-125/18, О-87-91/18 и Л-1379, а всхожесть этих семей и линий находилась в пределах 47,5-54,5% даже на питательной среде с соевым раствором концентрация 250 мкм/моль. То есть, хотя всхожесть этих семей и линий была в пределе 40-45% при концентрации соли 250 мкм/моль по сравнению с контрольным вариантом, они были полностью устойчивы к другим образцам и стандартным сортам. Следует отметить, что всхожесть семян образцов С-4727 и С-6524 в 250 мкм/моль питательной среде составляет 19,5% и 13,4%, что соответствует О-117-125/18, О-87-91/18 и Л-1379, это в 2-3 раза ниже индикаторных и стандартных сортов. Исходя из этого, наличие генов устойчивости к засолению почв в генотипе линий О-117-125/18, О-87-91/18 и Л-1379 свидетельствует о том, что они обеспечивают устойчивость к засолению.

Для того, чтобы дать полное заключение об устойчивости этих семей и линий, даль-

нейшие исследования проводились в полевых условиях на научно-опытной станции в условиях умеренного (0,2-0,4%) засоления почвы. Уровни всхожести регистрировали в одно и то же время на одной и той же глубине (4 см) (в каждую лунку высаживали по 3 семени) с 5-го по 12-й день после посева.

Как уже говорилось выше, в условиях засоленной почвы важным вопросом является всхожесть, ведь при получении полноценного саженца также есть возможность повысить урожайность. Согласно полученным данным, всхожесть семян у изучаемых сортов С-4727, С-6524 в полевых условиях составила 58,4% и 63,5% соответственно (табл. 2). В семьях и линиях всхожесть семян в полевых условиях колебалась от 56,4% (О-132-141/18) до 86,8% (О-87-91/18). Всхожесть ниже 60% отмечена у семей О-132-141/18 и О-201-204/18 в условиях средnezасоленной почвы.

Среди семей и линий со сложной генетической основой выделяют следующие образцы: О-142-147/18 (76,4%), СП-1303 (77,5%), Т-1379 (79,4%), О-117-125/18 (80,2%) и О-87-91/18 (86,8%) показали высокую всхожесть семян на средnezасоленных почвах в полевых условиях по сравнению с другими семьями и стандартными сортами, а показатель остальных семей находился в пределах 65-75%.

Таблица 2

Всхожесть семей и линий, полученных на основе комплексной межвидовой гибридизации хлопчатника в условиях засоления различной концентрации, % (в полевых условиях)

№	Семьи и линии	Происхождение семей и линий	N	$\bar{x} \pm S\bar{x}$	V%
1	О-142-147/18	F <sub>10</sub> (F <sub>1</sub> К- 28 x С-4727) x Омад	80	76,4±3,20	15,31
2	О-107-116/18	--/--	95	65.5±1,16	13,20
3	О-160-171/18	F <sub>10</sub> (F <sub>1</sub> К-28 x С-6524)	88	72,0±3,10	11,66
4	О-117-125/18	F <sub>9</sub> {BC <sub>2</sub> [(F <sub>1</sub> К-28 x С-6524) x Омад] x Омад}	70	80.2±1,50	9,07
5	О-132-141/18	F <sub>10</sub> (F <sub>1</sub> К-28 x С-4727)	81	56,4±3,15	11,76
6	О-201-204/18	P. 169-176(2013)	75	59.7±2,70	18,18
7	О-312-313/18	F <sub>10</sub> (F <sub>1</sub> К- 28 тип arbor.) x Омад	77	65,7±2,30	16,32
8	О-87-91/18	F <sub>9</sub> {BC <sub>2</sub> [(F <sub>1</sub> К-28 x С-6524) x Омад] x Омад}	81	86,8±2,80	5,71
9	Л-1306	F <sub>8</sub> [BC <sub>1</sub> (F <sub>1</sub> К- 28 x С-4727) x Омад]	78	62.9±3,15	20,41
10	Л-1379	F <sub>12</sub> {BC <sub>1</sub> [(F <sub>1</sub> К-28 x С-6524) x Омад]}	91	79.4±2,50	12,35
11	СП-1303	F <sub>6</sub> [(F <sub>1</sub> К-28 x С-4727) x Омад] x Омад	83	77.5±1,35	10,35
12	С-4727	Стандартный сорт	77	63,5±3,85	23,09
13	С-6524	Стандартный сорт	71	58,4±2,65	7,69

### Заключение

Полученные результаты показывают, что всхожесть семян изученных семей и линий хлопчатника в среднесоленных почвах различна, что подтверждает ее прямую зависимость от их генотипа. Семьи и линии, у которых зафиксирована высокая всхожесть семян в лабораторных условиях с различной концентрацией соли, также показали высокую всхожесть и в полевых условиях. Определено, что всхожесть у семей и линий со сложной генетической основой значительно выше, чем у стандартных сортов, и установлено, что они устойчивы к засолению почвы. На основании полученных результатов можно сделать вывод, что естественная устойчивость, характерная для диких видов вследствие межгеномного скрещивания, передана семьям О-117-125/18, О-87-91/18 и линии Л-1379, что обеспечило их толерантность.

### Список литературы

1. Ажиметова Г.Н. Мировой опыт и обзор развития хлопководства в Казахстане // Современные проблемы науки и образования. 2011. № 1. URL: <https://science-education.ru/ru/article/view?id=4578> (дата обращения: 10.07.2024).
2. Завриев С., Игнатов А. Потенциальные угрозы в сфере сельскохозяйственной и продовольственной безопасности // Мировая экономика и международные отношения. 2020. Т. 64, № 7. С. 98–105. DOI: 10.20542/0131-2227-2020-64-7-100-107.
3. Кошкин Е.И., Андреева И.В., Гусейнов Г.Г. Влияние глобальных изменений климата на продуктивность и устойчивость сельскохозяйственных культур к стрессорам // Агрохимия. 2019. № 12. С. 83–96.
4. Кошкин Е.И., Андреева И.В., Гусейнов Г.Г., Гусейнов К.Г., Джалилов Ф.С.-У. Реакция сорного компонента агрофитоценоза на изменение климата // Агрохимия. 2020. № 11. С. 90–104.
5. Hussain S., Bai Z., Huang J., Cao X., Zhu L., Zhu C., Khaskheli M.A., Zhong C., Jin Q., Zhang J. 1-Methylcyclopropane modulates physiological, biochemical, and antioxidant responses of rice to different salt stress levels // Front Plant Sci. 2019. Vol. 10. P. 124. DOI: 10.3389/fpls.2019.00124.
6. Hussain S., Shaikat M., Ashraf M., Zhu C., Jin Q., Zhang J. Salinity stress in arid and semi-arid climates: Effects and management in field crops // Climate Change and Agriculture. 2019. DOI: 10.5772/intechopen.87982.
7. Hafeez M.B., Raza A., Zahra N., Shaikat K., Akram M.Z., Iqbal S., Basra S.M. Gene regulation in halophytes in conferring salt tolerance. 2021. P. 341–370. DOI: 10.1016/B978-0-12-819382-2.00022-3.
8. Аманов Б.Х. Получение генетически обогащенных линий на основе внутри- и межвидовой гибридизации перуанских видов хлопчатника: автореф. дис. ... докт. биол. наук. Ташкент, 2019. 47 с.
9. Бобоев С.Г., Муратов Г.А. Межвидовая гибридизация хлопчатника. Ташкент: Nishon noshir, 2017. 167 с.
10. Манжина С.А. К вопросу выявления химизма и степени засоления почв: российские и зарубежные практики // Мелиорация и гидротехника. 2021. Т. 11, № 3. С. 163–181.
11. Ризаева С.М. Отдаленная гибридная гибридизация хлопчатника и получение новых доноров (на примере новосветских видов): автореф. дис. ... докт. биол. наук. Ташкент. 1996. 50 с.
12. Ишчанов Ж.К., Юлчиев Д.Г., Шерматов Е. Экспресс-метод оценки засоленности орошаемых земель // Иригация и мелиорация. Спецвыпуск. 2020. С. 7-9.
13. Иванищев В.В., Евграшкина Т.Н., Бойкова О.И., Жуков Н.Н. Засоление почвы и его влияние на растения // Известия Тульского государственного университета. Науки о земле. 2020. № 3. С. 28-42.
14. Прокопьева К.О., Конюшкова М.В., Новикова Н.М., Соболев И.В. Цифровая фитоиндикация засоления почв в сухой степи (республика Калмыкия) // Аридные экосистемы. 2021. № 2 (87). С. 68-81.
15. Руководство по управлению засоленными почвами / Под редакцией Р. Варгаса, Е.И. Панковой, С.А. Балюка, П.В. Красильникова, Г.М. Хасанхановой. Рим: Продовольственная и сельскохозяйственная Организация Объединенных Наций, 2017. 153 с.
16. Садиев Ф.Ф., Широкова Ю.И., Палушова Г.К. Исследование мелиоративного воздействия препарата «Биосольвент» на засоленные почвы при промывке и орошении // Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации. 2021. № 1. С. 24–46.
17. Рузметов М.И., Ахмедов А.У., Мырзамбетов А.Б., Турдалиев Ж.М. Причины засоления и современное почвенно-экологическое состояние орошаемых земель низовьев Амударьи // Научное обозрение. Биологические науки. 2019. № 3. С.37-41.
18. Кудратов Т.У. Экологические проблемы в сельскохозяйственном производстве Бухары // Экологические проблемы в сельском хозяйстве. 2017. № 3. С. 5.
19. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). М.: Логос, 2012. 352 с.

УДК 575.164:633.511

**НАСЛЕДОВАНИЕ ПРИЗНАКОВ МАССА ХЛОПКА-СЫРЦА  
ОДНОЙ КОРОБОЧКИ И МАССА 1000 ШТУК СЕМЯН  
У ВНУТРИВИДОВЫХ ГИБРИДОВ ХЛОПЧАТНИКА  
ВИДА *G. HIRSUTUM* L.**

**Наркизилова Г.Н., Мирахмедов М.С., Бобоев С.Г.**

*Национальный университет Узбекистана имени М. Улугбека, Ташкент,  
e-mail: boboev.1979@mail.ru*

Цель исследования – изучить закономерности наследования и изменчивости массы хлопка-сырца одной коробочки и массы 1000 штук семян в гибридных комбинациях хлопчатника вида *G. hirsutum* L. В качестве исходного материала были использованы сорта хлопчатника СП-1303, «Барака», «Бухара-102», «Камолот-79» и линии Л-7979, Л-790, Л-267, а также гибриды, полученные с их участием. Масса хлопка-сырца одной коробочки и масса 1000 штук семян являются ценными хозяйственными признаками, определяющими урожайность хлопчатника, и наследуются в зависимости друг от друга. Эти признаки имеют полигенную природу наследования, как и другие количественные признаки. Многими учеными изучены и сделаны соответствующие выводы о наследовании и изменчивости этих признаков. По результатам проведенного исследования отмечен положительный гетерозис при наследовании массы хлопка-сырца одной коробочки и массы 1000 штук семян практически у всех гибридов первого поколения. В гибридных комбинациях второго поколения наблюдается широкий диапазон изменчивости, отмечено выщепление положительных трансгрессивных растений с высокими значениями этих признаков. Отбор положительных трансгрессивных растений в дальнейших исследованиях дает возможность создания новых линий и сортов с высокими показателями массы хлопка-сырца одной коробочки и массы 1000 штук семян.

**Ключевые слова:** хлопчатник, сорт, линия, внутривидовые гибриды, масса хлопка-сырца одной коробочки, масса 1000 штук семян, гетерозис, промежуточное наследование, трансгрессия

**INHERITANCE OF RAW COTTON WEIGHT IN A SINGLE BOLL  
AND THE WEIGHT OF 1000 SEEDS IN INTRASPECIFIC COTTON  
HYBRIDS OF THE SPECIES *G.HIRSUTUM* L.**

**Narkizilova G.N., Mirakhmedov M.S., Boboev S.G.**

*National University of Uzbekistan named after M. Ulugbek, Tashkent,  
e-mail: boboev.1979@mail.ru*

The aim of the study was to investigate the inheritance patterns and variability of boll weight and 1000 seed pieces weight in hybrid combinations of cotton of *G.hirsutum* L. Cotton varieties SP-1303, “Baraka”, “Bukhara-102”, “Kamolot-79” and lines L-7979, L-790, L-267, as well as hybrids obtained with their participation were used as source material. The weight of raw cotton of one boll and the weight of 1000 pieces of seeds are valuable economic traits determining the yield of cotton and are inherited depending on each other. These traits have polygenic nature of inheritance, as well as other quantitative traits. Many scientists have studied and made appropriate conclusions about inheritance and variability of these traits. According to the results of this study, positive heterosis was observed in the inheritance of raw cotton weight of one boll and weight of 1000 seed pieces in almost all hybrids of the first generation. In hybrid combinations of the second generation, a wide range of variability was observed, and positive transgressive plants with high values of these traits were observed. Selection of positive transgressive plants in further studies gives the opportunity to create new lines and varieties with high indices of raw cotton weight of one boll and weight of 1000 seeds.

**Keywords:** cotton, variety, line, intraspecific hybrids, single boll weight, 1000 seed weight, heterosis, intermediate inheritance, transgression

**Введение**

Одним из важных направлений в создании новых урожайных сортов хлопчатника является проведение научных исследований по определению особенностей наследования и изменчивости хозяйственно ценных признаков. В последние годы ученые в этой области добились определенных успехов. В частности, созданы и внедрены в производство скороспелые, продуктивные, устойчивые к биотическим и абиотическим факторам сорта хлопчатника, обладающие высоким выходом и качеством [1].

Масса хлопка-сырца одной коробочки и масса 1000 штук семян относятся к числу хозяйственно ценных, обеспечивающих урожайность хлопчатника. Такие признаки, как продуктивность одного растения, выход и индекс волокна, всхожесть семян, содержание масла в семенах наследуются в прямой зависимости от этих признаков [1].

Из исследований по генетике хлопчатника хорошо известно, что большинство хозяйственно ценных признаков хлопчатника имеют сложную генетическую природу и контролируются полигенами, изменчивость

и взаимосвязь хозяйственно ценных признаков, в том числе массы хлопка-сырца одной коробочки и массы 1000 штук семян у гибридов, полученных с использованием внутривидовой гибридизации, установлено, что наследование этих признаков зависит от генотипов, использованных в гибридизации родительских форм [2].

По признаку «масса хлопка-сырца одной коробочки» в  $F_1$  установлен эффект гетерозиса, среди гибридов  $F_1$ - $F_2$  выделены крупнокоробочные растения, признак наследуется на среднем и высоком уровне, что особенно важно для крупнокоробочных гибридов [3].

Количество и масса хлопка-сырца одной коробочки хлопчатника зависят от формы и окраски листовой пластинки. Установлено, что линия Л-3 с антоциановой окраской листа имеет малое количество раскрытых коробочек и, соответственно, меньший хозяйственный урожай. Генотипы с зелеными пальчаторассеченными листьями дают в два раза больше хозяйственного урожая, чем линии с антоциановой окраской листа. На основе полученных данных авторы делают заключение, о том, что величина хозяйственного урожая хлопчатника может зависеть от окраски листа [4].

У гибридов  $F_1$  признак продуктивности растений и ее компонентов обнаруживается доминирование и сверхдоминирование признаков лучшего и худшего родителей, а также промежуточный тип наследования. Установлено, что признаки количества коробочек и урожайность хлопка-сырца на одно растение у высокорослых сортов управляется преимущественно доминантными генами, а масса-сырца одной коробочки этих сортов контролируется преимущественно рецессивными генами [5].

В  $F_1$  по массе хлопка-сырца одной коробочки установлен положительный гетерозис, доминирование и промежуточное наследование этого признака. У гибридов  $F_2$  отмечена положительная трансгрессия, что позволило выделить растения с крупностью коробочек до 8–9 г. Самые высокие показатели по массе 1000 штук семян были установлены у линии с кремовой окраской подпушка семян. У гибридов  $F_1$  отмечен положительный, отрицательный гетерозис и промежуточное наследование. В  $F_2$  отмечена правосторонняя трансгрессия с выщеплением растений с высокими показателями, в  $F_3$  повышение средних показателей признака [6].

У реципрочных гибридов, полученных с участием линий генетической коллекции хлопчатника, по массе 1000 штук семян в первом поколении установлено промежуточное наследование, а во втором поколе-

нии отмечена широкая изменчивость с выщеплением трансгрессивных растений [7].

При анализе наследования массы 1000 семян у реципрочной гибридной комбинации  $F_1$ - $F_2$  установлена реципрочная разница у прямых и обратных гибридов, полученных с участием линии Л-15 и линиями Л-4112, Л-608, Л-620 и Л-39. Частота встречаемости растений в вариационном ряду по этому признаку характеризуется тремя классами у линий Л-15, Л-620 и Л-4112 и четырьмя классами у линий Л-608 и Л-39, а диапазон изменчивости  $F_2$  составляет 8–11 классов вариационного ряда [8].

Параллельное повышение показателей массы 1000 штук семян, массы хлопка-сырца одной коробочки, выхода волокна, отбор из популяций растений  $F_3$  уникальных форм, обладающих комплексом хозяйственно ценных признаков, дает возможность использовать их в практических селекционных процессах [9].

**Цель исследования** – изучение закономерностей наследования таких признаков, как масса хлопка-сырца одной коробочки и масса 1000 штук семян.

#### **Материалы и методы исследования**

В качестве исходного материала в исследовании были использованы сорта хлопчатника СП-1303, «Барака», «Бухара-102», «Камолот-79» и линии Л-7979, Л-790, Л-267 и гибриды, полученные с их участием.

Цифровые данные, полученные в лабораторных условиях по массе хлопка-сырца одной коробочки и массе 1000 штук семян, подвергались статистическому анализу по Б.А. Доспехову [10]. Степень доминирования у гибридов первого поколения определяли по формуле С. Райта, представленной в работе Бейла и Аткинса [11].

#### **Результаты исследования и их обсуждение**

Использованные исходные формы имели резкое различие по массе хлопка-сырца одной коробочки. Самым низким показателем обладала линия Л-790,  $x = 4,7 \pm 0,09$  г, а самым высоким сортом СП-1303 и «Бухара-102», со средними значениями  $x = 6,1 \pm 0,10$  г. Показатели остальных сортов и линий находились в пределах этих параметров.

Анализ результатов, полученных у гибридов первого поколения по массе хлопка-сырца одной коробочки, показал эффект положительного гетерозиса в комбинациях  $F_1$  СП-1303 x Барака ( $h_p = 2,33$ ),  $F_1$  Л-790 x Камолот-79 ( $h_p = 1,33$ ) и  $F_1$  Л-7979 x Бухара-102 ( $h_p = 1,16$ ), только в комбинации  $F_1$  Л-267 x Бухара-102 ( $h_p = 0,40$ ) отмечено промежуточное наследование.

Таблица 1

Наследование массы хлопка-сырца одной коробочки у гибридов хлопчатника  $F_1$  и  $F_2$

№	Линия, сорт и гибрид	n	Масса хлопка-сырца одной коробочки				
			lim	$\bar{x} \pm S\bar{x}$	S	V%	hp
1	СП-1303	30	5,25–7,25	6,1±0,11	0,6	10,1	
2	$F_1$ СП-1303×Барака	25	5,25–7,25	6,1±0,20	0,6	6,80	2,33
3	Барака	30	4,75–7,25	5,8±0,20	0,5	10,3	
4	$F_2$ СП-1303×Барака	115	4,25–7,75	5,8±0,06	0,7	12,8	
5	Л-7979	30	3,75–6,25	4,9±0,12	0,6	13,0	
6	$F_1$ Л-7979×Бухара-102	25	5,25–6,75	6,2±0,40	0,6	7,10	1,16
7	Бухара-102	30	5,25–7,75	6,1±0,10	0,5	9,10	
8	$F_2$ Л-7979×Бухара-102	112	4,25–7,75	5,7±0,04	0,6	11,60	
9	Л-790	30	3,75–5,75	4,7±0,09	0,5	11,10	
10	$F_1$ Л-790×Камолот-79	25	4,6 – 7,5	5,9±0,50	0,7	7,80	1,33
11	Камолот-79	30	5,25–6,75	5,9±0,07	0,4	6,80	
12	$F_2$ Л-790×Камолот-79	104	4,25–7,25	5,5±0,05	0,4	10,98	
13	Л-267	30	3,75–6,25	5,1±0,08	0,7	13,00	
14	$F_1$ Л-267×Бухара-102	25	4,75–6,25	5,8±0,40	0,5	6,20	0,40
15	$F_2$ Л-267×Бухара-102	121	3,25–7,25	6,0±0,08	0,9	15,1	

Составленный вариационный ряд для гибрида  $F_2$  СП-1303 х Барака включил в себя классы от 4,25 до 7,75 г. В этом поколении наблюдается слабая правосторонняя трансгрессия с выщеплением растений массой более 7,0 г. Средний показатель комбинации был равен  $x = 5,5 \pm 0,05$  г. Коэффициент вариации составил  $V = 12,8\%$ . Классы родительских сортов в вариационном ряду составили у сорта СП-1303 от 5,25 г до 7,25 г у сорта «Барака» от 4,75 г до 7,25 г (табл. 1).

Гибридные растения  $F_2$  Л-7979 х Бухара-102 в вариационном ряду по массе хлопка-сырца одной коробочки расположились в классах от 4,25 г до 7,75 г, то есть находились в пределах классов, в которых расположены растения родительских форм. Среднее значение этой комбинации составило  $x = 5,7 \pm 0,05$  г. Коэффициент вариации гибридной комбинации был равен  $V = 12,8\%$ .

Растения гибридной комбинации  $F_2$  Л-790 х Камолот-79 полученной с участием линии Л-790, имеющая самый низкий показатель по массе хлопка-сырца одной коробочки среди родительских форм ( $x = 4,7 \pm 0,09$  г) и сорта «Камолот-79» сравнительно высоким показателем ( $x = 5,9 \pm 0,07$ ) в вариационном ряду занимали место в классах от 4,25 г до 7,25 г. В этой комбинации наблюдается слабая правосторонняя трансгрессия с выщеплением растений массой более 7 г. Средний показатель гибридной комбинации со-

ставил  $x = 5,5 \pm 0,05$  г, коэффициент вариации был равен  $V = 10,9\%$ .

В гибридной комбинации, полученной с участием линии Л-267 со средним показателем  $x = 5,1 \pm 0,08$  г и сорта Бухара-102 со средним показателем  $x = 6,1 \pm 0,1$  г ( $F_2$  Т-267 х Бухара-102) растения в вариационном ряду занимали место в классах от 3,25 до 7,25 г. В этой комбинации наблюдалась слабая левосторонняя трансгрессия, в результате чего выщеплялись растения со значениями ниже, чем у обоих родителей. Средний показатель комбинации был равен  $x = 5,3 \pm 0,08$  г, а коэффициент вариации составил  $V = 16,7\%$ .

Средние показатели сортов и линий, использованных в исследованиях, в качестве родительских форм по массе 1000 штук семян составили от  $x = 114,1 \pm 1,08$  г (Л-790) до  $x = 124,6 \pm 1,03$  г (СП-1303). Средние показатели остальных сортов и линий были в пределах этих значений.

Гибридные растения первого поколения  $F_1$  СП-1303 х Барака в вариационном ряду занимая место в классах от 112,5 до 132,5 г имели сравнительно высокий средний показатель по массе 1000 штук семян –  $x = 125,3 \pm 2,36$  г. Отмечен эффект гетерозиса ( $hp = 1,23$ ) в наследовании этого признака.

Во втором поколении этой комбинации наблюдался широкий диапазон изменчивости, растения в вариационном ряду расположились в классах от 97,5 г до 132,5 г. Среднее значение этого поколения составило

$x = 116,6 \pm 1,0$  г. В результате расщепления с широкой амплитудой изменчивости наблюдалась левосторонняя трансгрессия, то есть выщеплялись растения с более низкими показателями по сравнению с родительскими формами. Коэффициент вариации этой комбинации составил 6,40% (табл. 2).

Растения первого поколения комбинации, полученной с участием Л-7979 ( $x = 121,5 \pm 1,0$  г) и сорта Бухара-102 ( $x = 120,5 \pm 0,99$  г), с относительно близкими показателями средних значений среди родительских форм вариационном ряду заняли место в пределах классов от 117,5 г до 127,5 г. Средний показатель комбинации составил  $124,7 \pm 3,1$  г. При наследовании признака в  $F_1$  отмечен положительный эффект гетерозиса ( $hp = 3,57$ ).

В гибридной комбинации  $F_2$  Л-7979 х Бухара-102 также наблюдался широкий диапазон изменчивости и отмечалась левосторонняя трансгрессия. Выявлено, что выщепление растений с показателями на 3 класса ниже и на 1 класс выше, по сравнению с родительскими формами. Средний показатель гибридного поколения был равен  $x = 117,8 \pm 1,8$  г. Коэффициент вариации составил 16,30%.

Растения гибридной комбинации полученной с участием линии Л-267 со средним значением массы 1000 семян  $x = 116,8 \pm 1,0$  г

и сортом «Бухара-102» со средним показателем  $x = 120,5 \pm 0,99$  г в вариационном ряду расположились в классах от 112,5 г до 127,5 г. Средний показатель гибридного поколения был равен  $x = 123,4 \pm 2,8$  г. В наследовании признака в этом поколении отмечен положительный гетерозис ( $hp = 3,10$ ).

В гибридной комбинации второго поколения  $F_2$  Л-267 х Бухара-102 наблюдался широкий диапазон изменчивости и отмечена двусторонняя трансгрессия, то есть выщеплялись растения с более низкими и более высокими значениями, чем у обоих родительских форм. Растения заняли классы от 97,5 до 137,5 г вариационного ряда, коэффициент вариации был равен 7,0%. Средний показатель гибридной комбинации составил  $x = 116,8 \pm 0,7$  г.

Растения гибридной комбинации  $F_1$  Л-790 х «Камалот-79», полученная с участием линии Л-790, с самым низким значением массы 1000 штук семян ( $x = 114,1 \pm 1,08$  г) среди родительских форм и сорта Камалот-79 ( $x = 118,8 \pm 1,01$  г), вариационном ряду заняли классы в пределах от 117,5 г до 127,5 г. Среднее значение признака составил  $x = 123,5 \pm 2,66$  г и превышал показатели обеих родительских форм. В этом поколении коэффициент доминантности был равен  $hp = 3,35$ , что показывает эффект положительного гетерозиса.

Таблица 2

Наследование массы 1000 штук семян у гибридов хлопчатника  $F_1$  и  $F_2$

№	Линия, сорт и гибрид	n	Масса 1000 штук семян				
			lim	$\bar{x} \pm S\bar{x}$	S	V%	hp
1	СП-1303	30	117,5–142,5	$124,6 \pm 1,03$	5,7	4,5	
2	$F_1$ СП-1303 х Барака	25	117,5–127,5	$125,3 \pm 2,36$	6,5	7,1	1,23
3	Барака	30	107,5–132,5	$118,6 \pm 0,97$	5,3	4,5	
4	$F_2$ СП-1303 х Барака	115	97,5–132,5	$116,6 \pm 1,02$	11,6	0,99	
5	Л-7979	30	112,5–132,5	$121,5 \pm 1,01$	5,7	4,7	
6	$F_1$ Л-7979 х Бухоро-102	25	117,5–127,5	$124,7 \pm 3,10$	8,4	9,8	7,40
7	Бухоро-102	30	112,5–137,5	$120,5 \pm 0,99$	5,4	4,5	
8	$F_2$ Л-7979 х Бухоро-102	112	97,5–137,5	$117,8 \pm 0,91$	9,5	8,1	
9	Т-790	30	102,5–127,5	$114,9 \pm 1,08$	5,9	5,1	
10	$F_1$ Л-790 х Камалот-79	25	112,5–132,5	$123,5 \pm 2,66$	8,2	9,2	3,35
11	Камалот-79	30	107,5–127,5	$118,8 \pm 1,01$	5,5	4,6	
12	$F_2$ Л-790 х Камалот-79	104	97,5–137,5	$116,7 \pm 0,82$	8,2	7,0	
13	Т-267	30	102,5–127,5	$116,8 \pm 1,02$	5,5	4,7	
14	$F_1$ Л-267 х Бухоро-102	25	117,5–127,5	$123,4 \pm 2,80$	7,8	8,6	3,1
15	Бухоро-102	30	112,5–137,5	$120,0 \pm 2,5$	5,4	4,5	
16	$F_2$ Л-267 х Бухоро-102	121	97,5–137,5	$116,8 \pm 0,73$	8,1	7,0	

Растения второго поколения этой комбинации расположились в классах от 97,5 до 137,5 г вариационного ряда. Отмечен широкий диапазон изменчивости с проявлением двусторонней трансгрессии. В результате этого выщеплялись растения с более низкими и более высокими показателями, чем у обоих родителей. Средний показатель второго поколения был равен  $x = 116,7 \pm 0,8$  г, а коэффициент вариации составил 7,0% (табл. 2).

### Заклучение

Установлено, что наследование признаков масса хлопка-сырца одной коробочки и массы 1000 штук семян в изученных гибридных комбинациях первого поколения происходило преимущественно проявлением эффекта положительного гетерозиса. Практически во всех гибридных комбинациях второго поколения отмечен широкий диапазон изменчивости признаков, выявлены лево- и правосторонняя трансгрессия.

Выделение трансгрессивных растений во втором поколении с более высокими показателями, по сравнению с родительскими формами, позволяет в дальнейших исследованиях использовать их при создании новых форм с более высокими значениями массы хлопка-сырца одной коробочки и массы 1000 штук семян.

### Список литературы

1. Бобоев С.Г. Создание и раскрытие характеристик новых многогеномных гибридов хлопчатника путем сложной межвидовой гибридизации. Ташкент, 2017. 218 с.

2. Мусаев Д.А., Турабеков Ш., Закиров С.А., Мусаева С., Фатхуллаева Г.Н. Генетические основы создания новых сортов хлопчатника с высокой урожайностью волокна // Биологический журнал Узбекистана. 2010. № 2. С. 60–64.

3. Автономов В.А., Эркинович Р.А., Бойхонова Г.А., Эломонов М.М. Формирование признака «масса хлопка-сырца одной коробочки» у экологически отдаленных линейно-сортовых гибридов  $F_1$ - $F_2$  тонковолокнистого хлопчатника // Хлопководство и зерноводство. 2022. № 2 (6) С. 10–14.

4. Ойзода Н.Х., Солиева Б.А., Хакимова Р.Ш., Маниязова Н.А., Абдуллаев Х.А. Число и крупность коробочек в зависимости от формы и окраски листовой пластинки // Доклады Академии наук республики Таджикистан. 2020. Т. 63, № 5–6. С. 388–392.

5. Исраилов М.Ж., Муратов Г.А., Бобоев С.Г., Муратов А. Продуктивность растений гибридов  $F_1$ , полученных скрещиванием карликовых и низкорослых линий и высокорослых сортов хлопчатника вида *G. hirsutum* L. // Евразийский Союз Ученых (ЕСУ). 2020. № 5 (74). С. 41–45.

6. Жалолов Х.Х. Наследование хозяйственно ценных признаков у гибридов хлопчатника в зависимости от окраски подпушка семян: автореф. дис. ... докт. философии (Phd) по сельхоз. наукам. 2018. 41 с.

7. Хаитова Ш.Д. Наследование, изменчивость и наследуемость признака масса1000 штук семян у реципрочных гибридов  $F_1$ - $F_2$  линий генетической коллекции хлопчатника // International Journal for Innovativ Engineering and Management Research. 2020. Vol. 9, Is. 12. P. 372–374.

8. Бекмухамедов А.А., Нуриддинов А.Н., Хаитова Ш.Д., Набиева Н.В., Назарбаев Х.К., Ибрагимова З.Ю. Наследование и изменчивость индекса волокна и массы 1000 семян у реципрочных гибридов  $F_1$ - $F_2$  с участием линии генетической коллекции хлопчатника вида *G. hirsutum* L. // Научное обозрение. Биологические науки. 2024. № 1. С. 12–19. DOI: 10.17513/srbs.1347.

9. Соатова Ф.Б., Аманов Б.Х. Изменчивость хозяйственно ценных признаков у тонковолокнистых гибридов хлопчатника  $F_3$  // Academic research in educational sciences. 2022. Vol. 3, Is. 2. P. 593–596.

10. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта. М.: Агропромиздат, 1985. 351 с.

11. Beil G.E., Atkins R.E. Inheritance of quantitative characters sorghum // Jow State J. of Sci. 1965. № 3. P. 35–37.

УДК 591.1:636.39

## НАДОИ И КАЧЕСТВЕННЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ МОЛОКА У КОЗ, СКАРМЛИВАЕМЫХ БИОМАССОЙ ЭЙХОРНИИ

Нахалбоев А.А., Ражамуратов З.Т.

Самаркандский государственный университет имени Шарофа Рашидова, Самарканд,  
e-mail: nahalboyevalisher@gmail.com, zaynitdin-fiz@mail.ru

В результате уменьшения разнообразия и количества кормовой базы во всех развитых странах мира, в том числе в Узбекистане, возникают проблемы с обеспечением населения качественными мясными и молочными продуктами за счет увеличения поголовья животных. Настоящее исследование, направленное на определение изменчивости показателей надоя и качества молока у коз, получавших кормовой рацион, обогащенный биомассой эйхорнии, является одним из первых исследований такого типа. Цель исследования – оценить влияние биомассы эйхорнии в рационе на надой и качественные показатели молока коз. Объект исследования – зааненские козы. Авторы использовали метод Акина и метод Чай-Канула, оборудование калибровали по методу Гербера. Были проведены испытания по определению количества добавляемого корма для определения оптимального уровня корма эйхорнии на трех группах коз. Результаты исследования представлены в четырех таблицах. Авторами сделаны следующие заключения: замена сухого вещества в рационах, сформированных исходя из нормы на уровне 10%, массой эйхорнии положительно влияет на ускорение обменных процессов в организме коз, позволяет ускорить синтез молока в их организме. Кроме того, изучаемая пищевая добавка положительно влияет на обмен минеральных веществ.

**Ключевые слова:** коза, Заанен, эйхорния, рацион, молоко, продуктивность

## MILK YIELD AND QUALITY INDICATORS OF MILK IN GOATS FED WITH EICHORNIA BIOMASS

Nakhalboev A.A., Razhamuradov Z.T.

Samarkand State University named after Sharof Rashidov, Samarkand,  
e-mail: nahalboyevalisher@gmail.com, zaynitdin-fiz@mail.ru

As a result of a decrease in the variety and quantity of food supply in all developed countries of the world, including Uzbekistan, problems arise with providing the population with high-quality meat and dairy products by increasing the number of animals. The present study, aimed at determining the variability in milk yield and milk quality in goats fed a diet enriched with Eichornia biomass, is one of the first studies of this type. The purpose of the study is to evaluate the effect of Eichornia biomass in the diet on milk yield and quality indicators of goat milk. The object of the study is Saanen goats. The authors used the Akin method and the Chai-Kanul method, and the equipment was calibrated using the Gerber method. Tests were conducted to determine the amount of feed added to determine the optimal level of Eichornia feed on 3 groups of goats. The results of the study are presented in four tables. The authors made the following conclusions: replacing dry matter in diets formed based on the norm at the level of 10% with eichornia mass has a positive effect on accelerating metabolic processes in the body of goats and allows accelerating the synthesis of milk in their body. In addition, the studied food additive has a positive effect on mineral metabolism.

**Keywords:** goat, Zaanen, eichornia, diet, milk, productivity

### Введение

Молоко – биологическая жидкость сложного состава. Козье молоко содержит более 100 различных веществ (аминокислоты, жирные кислоты, минералы, витамины, сахар, лактоза) [1]. Состав молока, получаемого от коз, непостоянен и изменяется под влиянием ряда факторов. Среди основных таких факторов – порода коз, наследственность различных показателей молочной продуктивности, физиологические условия (живая масса, возраст, состояние здоровья, период лактации и т.д.) и внешние факторы окружающей среды (кормление, хранение, содержание, времена года) [2].

Для производства молока разводят специальные породы коз. Однако независимо от значимости породы коз решающее значение в этом отношении будут иметь уровень

племенной работы, отбор, условия кормления и хранения животных [3].

Развитие каждого признака в организме определяется наследственностью и условиями окружающей среды. Если наследственность определяет, то условия жизни обеспечивают развитие организма. Известно, что у животных с одинаковой наследственностью под влиянием факторов разных условий среды (кормления, ухода, содержания) развитие признаков продуктивности также различно. Например, животные одной породы, стада и даже потомство от одних родителей отличаются друг от друга [4].

По мнению специалистов, количество питательных веществ в рационе дойных коз, отвечающих потребностям их организма, напрямую влияет на их молочную продуктивность.

Эйхорния (*Eichhornia*) – многолетнее водное травянистое растение, принадлежащее к семейству Понтедериевые (*Pontederiaceae*), иногда называемое водяным гиацинтом. Родина – тропические и субтропические регионы Северной и Южной Америки. Эйхорния распространена не только в условиях сточных вод, но и в водоемах питьевых вод всех тропических стран. Она обладает поразительной скоростью вегетативного размножения. Корневая система эйхорнии с большой скоростью перерабатывает различные загрязняющие органические элементы и компоненты, чем более загрязнены водоемы, тем лучше себя чувствуют эти растения [5, 6].

Эйхорния уже много лет используется в качестве пищевой добавки в рационе домашних животных с целью обеспечения удовлетворения их потребностей в питании. Установлено, что на каждом 1 га очистных сооружений производится от 300 до 1500 т сухого вещества, из которого можно получить от 15 до 30 т сухих белково-витаминных продуктов. Установлено, что в составе 1 т массы сухого корма сохраняется 60 кг калия, 20 кг азота, 17 кг фосфора, 28 кг многих незаменимых аминокислот, β-каротина, витаминов А, В, С, Е. В Интернете сообщается, что добавление эйхорнии в виде сухой массы в основные кормовые рационы животных и птицы обеспечивает высокие показатели переваримости и усвоения питательных веществ, содержащихся в рационах, и повышает их продуктивность [7, 8]. Однако конкретных данных и количества, которыми можно заменить сухое вещество основного рациона, используемого в хозяйствах, на сухое вещество эйхорнии, нет.

**Цель исследования** – оценить влияние введения биомассы эйхорнии в рацион на надои и качественные показатели молока коз.

#### Материалы и методы исследования

В качестве объекта исследования авторы взяли породу зааненских коз, завезенную из-за границы. В экспериментах использовали следующую схему для определения оптимального количества сухой биомассы эйхорнии, включаемой в рацион:

Контрольная группа – традиционный фермерский рацион (АФР – пастбищный корм + 250 г соломы и соломы + 200 г отрубей);

I группа – АФР + трава эйхорнии добавлялась в количестве 5% от сухого вещества;

II группа – АФР + трава эйхорнии добавлялась в количестве 10% от сухого вещества.

III группа – АФР + 5% от сухого вещества добавляли траву эйхорнии.

Использовали метод Акина (2019) для определения молочной продуктивности.

В опытах использовали молоко ручного доения с 14-дневными интервалами в течение всего периода лактации, его количество, плотность молока и среднюю величину остатка обезжиренного молока определяли пропорционально числу доек за весь период лактации [9].

Также авторы использовали метод Чай-Канула (2020) для определения количества компонентов в корме. В опытах определяли среднее значение количества сухого вещества, жира, общего белка, сыворотных белков и лактозы в молоке ручного доения с 14-дневными интервалами в течение всего периода лактации, пропорционально числу доек за период лактации. Анализ содержания жира, белка и лактозы проводили в два захода с использованием автоматического анализатора молока (Лактоскан LS-60). Оборудование калибровали по методу Гербера и по белку определения общего азота по методу Дума с использованием анализатора LECO CNS-2000 серии 3740 [10].

#### Результаты исследования и их обсуждение

Авторами проведены испытания по определению количества добавляемого корма для выяснения оптимального уровня корма эйхорнии на трех группах коз. В каждой группе было по 10 взрослых коз, которые были сформированы из животных аналогов, отвечающих всем требованиям испытаний по определению дозировки добавок, которые можно использовать по всем показателям. Козам I опытной группы в рацион скармливали 5,0; 2–10 и 3–15% крахмала в пересчете на сухое вещество.

В используемых тестах по определению оптимального количества (дозы) прикорма данные основываются на следующих показателях: оценка надоев молока, переваримость белка и жира, использование питательных веществ в пищу, усвоение N, Ca и P, качественные показатели молока и изменение живой массы подопытных животных (табл. 1).

Данные, представленные в табл. 1, показывают, что планируемый к использованию кормовой препарат из водного растения эйхорнии оказал положительное влияние на процессы пищеварения и усвоения основных питательных веществ, содержащихся в пище, потребляемой животными всех опытных групп. Переваримость белка животными II опытной группы, у которых 10% сухого вещества в рационе были заменены кормом из эйхорнии, составила 74,2±2,06%, что на 4,9% больше, чем у I опытной группы, и на 0,6% больше, чем у животных III опытной группы.

Таблица 1

Усвоение органических и неорганических веществ у коз при модифицированном кормовом рационе (n = 3)

Показатели	Группы		
	I	II	III
Переваримость веществ, %			
Протеин	69,3±1,09	74,2±2,06	73,6±2,02
Жир	71,2±2,01	72,8±2,11	72,4±1,98
Усвояемость, %			
Азот	48,5±0,19	49,9± 1,91	49,1±2,06
Кальций	39,0±0,21	41,3±1,57	40,4±1,09
Фосфор	43,5±0,34	46,1±1,33	45,0±1,29

Таблица 2

Надои и качественные показатели коз при модифицированном кормовом рационе (n = 3)

Показатели	Группы		
	I	II	III
Суточное молоко, кг	3,78±0,05	4,01±0,06	3,85±0,07
Массовая доля жира, %	3,50±0,01	3,67±0,03	3,63±0,01
Массовая доля белка, %	3,20±0,01	3,25±0,03	3,20±0,01
Отделяемые продукты в суточном надое молока, кг			
Молочный жир, кг	0,17±0,002	0,18±0,001	0,17±0,001
Молочный белок, кг	0,15±0,001	0,16±0,001	0,15±0,001
Живая масса, кг			
В начале эксперимента	48,86±0,37	48,34±0,24	48,67±0,20
В конце эксперимента	51,24±0,26	52,01±0,18	51,08±0,31

Данные по переваримости жиров показали, что во II опытной группе по сравнению с I и III опытными группами получены соответственно на 1,6 и 0,4% более высокие показатели. Отмечено, что уровень использования элементов азота, кальция и фосфора в рационе был также выше у коз II опытной группы по сравнению с козами I и III опытных групп. Наилучшие результаты зафиксированы в группах с 10% (II опытная группа) и 15% (III опытная группа) сухого вещества в рационе в качестве средства подкормки растением эйхорнии. Установлено, что уровень использования минеральных веществ кальция и фосфора у коз II опытной группы на 2,3 или 0,9% и на 2,6 или 1,1% выше, чем у коз I и III опытных групп. Установлено, что уровень использования азота в пище у коз II и III опытных групп составил 49,9 и 49,1% соответственно, что на 1,4 и 0,6% выше, чем у коз I опытной группы.

В табл. 2 авторы отразили результаты влияния добавок эйхорнии на надои, качество молока и живую массу молочных коз.

Ими было установлено, что в опытах по использованию растения эйхорнии в качестве дополнительного корма в рационе зааненских коз показатели были высокими. Количество вырабатываемого за сутки молока составило в I опытной группе 3,78 кг, во II опытной группе 4,01 кг и в III опытной группе 3,85 кг. Наиболее высокие значения содержания жира и белка в молоке наблюдались в молоке коз опытных групп. Так, по сравнению с I и III опытными группами количество жира было на 4,9 и 1,10% выше во II опытной группе, а количество белка было выше на 1,6%, чем в обеих группах. Данные оказались достоверными ( $P > 0,999$  по жиру и  $P > 0,99$  для белка).

Установлено, что в одинаковом количестве молока суточного доения во всех трех

опытных группах сепарированный молочный жир и молочные белки во II опытной группе превосходили на 0,01 кг, по сравнению со сравниваемыми опытными группами I и III. При сравнении живой массы коз в опытных группах наибольший суточный индекс прироста отмечен во II опытной группе и составил 3,67 кг, тогда как в I и III опытных группах он составил 2,38 и 2,41 кг соответственно.

По мнению авторов, 10% сухого вещества – оптимальное количество, которое можно добавлять в суточный рацион коз. Установлено, что увеличение количества добавляемого дополнительного корма на 15%

не оказывает существенного влияния на улучшение требуемых показателей, что позволяет считать данное количество экономически неоправданным. На основании этих результатов пищевой рацион, использованный во II опытной группе, был применен на следующих этапах исследований.

По данным, полученным при изучении уровня молочной продуктивности подопытных коз с добавлением в их рацион 10% доли сухого вещества водного растения эйхорнии установлено, что козы II опытной группы имели значительное превосходство по молочной продуктивности по сравнению с контрольной группой (табл. 3).

**Таблица 3**

Молочная продуктивность подопытных коз за 8-месячный период лактации (n = 5)

Показатели	Группы	
	Контроль	Опыт
Сцеженное молоко, кг	864,27±5,43	920,26±5,11
Количество молока в сутки, кг	3,6±0,12	3,8±0,11
Массовая доля жира, %	3,82±0,02	4,09±0,02
Массовая доля белка, %	3,28±0,03	3,36±0,03
Количество, кг		
Молочный жир, кг	33,01±0,25	37,65±0,19
Молочный белок, кг	28,32±0,26	30,91±0,23
Живая масса, кг		
В начале эксперимента	52,67±0,37	52,89±0,35
В конце эксперимента	53,82±0,41	55,94±0,39

**Таблица 4**

Показатели качества козьего молока (n = 5)

Показатели	Группы	
	Контроль	Опыт
Массовая доля сухого вещества, %	12,86±0,12	13,52±0,13
Массовая доля жира, %	4,37±0,03	4,66±0,04
Массовая доля белка, %, из них	3,48±0,033	3,71±0,07
Казеин, %	2,73±0,025	2,92±0,06
Сывороточные белки, %	0,75±0,04	0,79±0,06
Массовая доля лактозы, %	4,47±0,031	4,73±0,029
% минералов, в том числе:	0,64±0,006	0,69±0,004
Кальций, мг %	147,21±1,26	149,26±1,35
Фосфор, мг %	91,56±0,18	93,24±0,31
Титруемая кислотность, °T	17,08±0,15	17,18±0,19
Плотность при 20 °	1029,31±0,36	1030,07±0,39

Установлено, что козы опытной группы, которых кормили эйхорнией в качестве добавки к кормовому рациону в количестве 10% от сухого вещества рациона, имели преимущество по количеству молока на 56 кг или 6,4% по сравнению со сверстниками контрольной группы, получавшими традиционный фермерский рацион, и на конец опыта прибавка составила 2,12 кг или 3,8% от живой массы; также и с содержанием жира 0,27% ( $P > 0,999$ ); 0,08% по массовой доле белка; по молочному жиру 4,64 кг, или 14,05% ( $P > 0,999$ ); по молочному белку 2,59 кг, или 9,13% ( $P > 0,95$ ). Следует отметить, что в начале опыта козы опытной группы по живой массе были на 0,22 кг тяжелее коз контрольной группы, и полученная разница недостоверна.

С целью определения качественных показателей молока коз, использованных в эксперименте, были проведены полные лабораторные анализы проб, взятых из их молока.

По данным лабораторного анализа проб молока, взятых от подопытных коз, процент сухого вещества в молоке коз опытной группы составил 0,66% ( $P > 0,99$ ) по сравнению с молоком их сверстниц из контрольной группы 0,57% ( $P > 0,999$ ); массовая доля жира на – 0,29% ( $P > 0,999$ ); 0,23% ( $P > 0,95$ ) по массовой доле общего белка; казеин – на 0,19% ( $P > 0,95$ ); лактоза – на 0,26% ( $P > 0,999$ ); минеральные вещества – 0,05% ( $P > 0,999$ ); установлено доминирование фосфора на 1,68 мг% ( $P > 0,99$ ) (табл. 4).

### Заключение

Замена сухого вещества в рационах, сформированных исходя из нормы на уровне 10% массы водного растения эйхорния, положительно влияет на ускорение обменных процессов в организме коз, позволяет увеличить синтез молока в их организме. Кроме того, изучаемая пищевая добавка

положительно влияет на обмен минеральных веществ.

### Список литературы

1. Bazarov B., Rajamuradov Z., Safin M., Rajabov A., Khayitov D., Kuziev M., Aminjonov S., Ismayilova M., Kudratov J., Khujabekov M., Khaydarov D. The productivity, chemical composition and nutritional value of pastures dominated by *Artemisia diffusa* and *Cousinia resinosa* in arid lands of southwestern Uzbekistan // Biodiversitas. 2023. Vol. 24, Is. 7. P. 3916–3923.
2. Carnicella D., Dario M., Consuelo Caribe Ayres Maria, Laudadio V., Dario C. The effect of diet, parity, year and number of kids on milk yield and milk composition in Maltese goat // Small Ruminant Research. 2008. Vol. 77, Is. 1. P. 71–74.
3. Juan S. C., Erwin S. Goat type: The key factor to produce goat milk with economic profitable purpose in arid and desert zones // IDESA (Chile). 2019. Vol. 37, Is. 4. P. 123–128.
4. Naskar S., Gowane G.R., Chopra A., Paswan C., Prince L.L.L. Genetic Adaptability of Livestock to Environmental Stresses. In: Sejian, V., Naqvi, S., Ezeji, T., Lakritz, J., Lal, R. (eds) Environmental Stress and Amelioration in Livestock Production. Springer, Berlin, Heidelberg, 2012. P. 317–378.
5. Coetzee J.A., Hill M.P., Julien M.H., Center T.D., Cordo H.A. Eichhornia crassipes (Mart.) Solms-Laub. (Pontederiaceae). In: Muniappan R, Reddy GVP, Raman A, eds. Biological Control of Tropical Weeds Using Arthropods // Cambridge University Press. 2009. P. 183–210.
6. Gonzalez H., Lodenius M., Otero M. Water hyacinth as indicator of heavy metal pollution in the tropics // Bull. Environ. Contam. Toxicol. 1989. Is. 43. P. 910–914.
7. Абуова Г.Б., Харламова А.Э., Сардина А.С. Эффективность применения водного гиацинта (*Eichornia crassipes*) при доочистке сточных вод // Инженерно-строительный вестник Прикаспия. 2022. № 1 (39). С. 33–37.
8. Флорик Е.А., Абрамович О.В., Змитрович А.А. Использование *Eichornia crassipes* для очистки сточных вод и получения кормовой добавки // Труды БГТУ. Серия 2: Химические технологии, биотехнология, геоэкология. 2014. № 4 (168). С. 155–160.
9. Akın Y., Hüseyin Ö., Aysel E., Cafer Tayyar A., Necmettin Ü., Ömür K., Gökhan D., Ceyhan Ö. Milk yield and quality traits in different lactation stages of Damascus goats: Concentrate and pasture based feeding systems. Ankara Üniversitesi Veteriner Fakültesi Dergisi. 2019. Is. 66. P. 117–129.
10. Chay-Canul A.J., Parra-Bracamonte G.M., Lopez-Villalobos N., Herrera-Ojeda J.B., Magaña-Monforte J.G., Peniche-González I.N., Herrera-Camacho J., García-Herrera R. Milk yield and composition of Katahdin and Pelibuey ewes in tropical conditions // Journal of Animal and Feed Sciences. 2020. Is. 29. P. 352–357.

УДК 502.31:57(571.63-25)

## ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ТРОПА «СЕДАНКА» В ПРИГОРОДЕ ВЛАДИВОСТОКА

Киселёва А.Г., Пшеничникова Н.Ф.

*ФГБУН «Тихоокеанский институт географии» Дальневосточного отделения  
Российской академии наук, Владивосток, e-mail: alena\_kiseleva@mail.ru, n.f.p@mail.ru*

Цель исследования заключалась в разработке экологической тропы на полуострове Муравьев-Амурский в пригороде Владивостока как одного из видов природопользования. Территория была исследована маршрутным методом. Составлялась схема экотропы с условными обозначениями, указанием особенностей рельефа, описанием почвенно-растительного покрова, геоэкологического состояния по показателям лесистости и степени антропогенного изменения территории. Протяженность маршрута 4 км, на нем выделены семь участков для установки информационных стендов и зон для благоустройства. По мере продвижения по тропе происходит смена как высотной-поясной растительности, так и естественных и антропогенно трансформированных ландшафтов. Мертвопокровный дубняк сменяется пихтово-широколиственным и низкорослым привершинным лесом на горе Роза ветров. В почвенном покрове преобладают буроземы типичные маломощные сильно скелетные, на крутых склонах – эродированные. На отдельных участках произрастают лекарственные, медоносные, охраняемые виды растений. Общедоступность тропы обеспечена авто- и электротранспортом. Прогулка по тропе носит оздоровительный, ландшафтно-терапевтический, спортивный, образовательный и научный характер. Организованная экотропа будет способствовать сохранению природных объектов и проведению экомониторинга естественных и антропогенно измененных экосистем.

**Ключевые слова:** экотропа, экосистемы, чернопихтарники, почвенно-растительный покров, туризм, рекреация, Владивосток

## ECOLOGICAL TRAIL “SEDANKA” IN THE SUBURB OF VLADIVOSTOK

Kiseleva A.G., Pshenichnikova N.F.

*Pacific Geographical Institute of Far Eastern Branch of Russian Academy of Sciences,  
Vladivostok, e-mail: alena\_kiseleva@mail.ru, n.f.p@mail.ru*

The research lays the basis for developing an ecological trail on the Muravyov-Amursky Peninsula in the suburbs of Vladivostok as a type of environmental management. A sample route has been worked out for the territory under study. The eco-trail layout has been drawn up. Information is provided on features of relief, varying types of soil and vegetation cover along the trail, as well as geoecological state of the territory, percentage of its forest cover and degree of anthropogenic transformation. The route is 4 km long, with different sections allocated for installation of information stands and areas for landscaping. The eco-trail allows visitors to travel through diverse natural and anthropogenically transformed landscapes and to see plant communities that change along the way due to vertical zonation. A closed oak forest at the foot of the trail gives way to fir-broadleaved communities and then to a low-growing forest of the mountain top (Roza Vetrov). The soil cover is made of shallow highly skeletal typical burozems, eroded on steep slopes. In some areas, medicinal herbs and melliferous plants are found, protected species of plants are represented. The territory can be reached by car, bus and train from Vladivostok and nearby areas. The trail is accessible by foot and other non-motorized transportation. A walk along the trail is health-improving, landscape-therapeutic, athletic, educational and scientific in nature. An organized eco-trail will contribute to local conservation efforts and improve environmental monitoring of natural and anthropogenically modified ecosystems in the territory.

**Keywords:** eco-trail, ecosystems, black fir forests, soils and vegetation cover, tourism, recreation, Vladivostok

### Введение

Формирование экологической культуры, сохранение и рациональное использование природной территории осуществляется в местностях экологических троп [1]. В настоящее время экологические тропы – это специально оборудованные пути как оздоровительные, прогулочные и спортивные маршруты. Они выполняют роль эколого-информационных, природных, природоохранных, исторических, просветительских, обучающих и научных объектов, оснащенных направлением, указателями, информационными плакатами, стендами, зонами отдыха и др. Организация эколого-оздоровительного маршрута в городской среде долж-

на осуществляться с учетом возможности реализации познавательной, эстетической, здоровьесберегающей, экологической, рекреационной функций и иметь комплексный характер [2]. Активное развитие рекреации, особенно неорганизованной, оказывает негативное влияние на экосистемы. Наиболее сильно при этом страдает почвенно-растительный покров. В этой связи актуальным вопросом является создание экологических троп, направленное на сохранение биоразнообразия и природных богатств. В прошлом веке экологические тропы возникли на заповедных территориях, в национальных парках по всему миру. В России создано около трехсот троп: «Заповедный

лабиринт» (Сертолово, Ленинградская область), «Тропа Бажукова» (г. Екатеринбург), «Матвеевский лес», «Тропа следопытов» (г. Москва), «Учебная экологическая тропа» (г. Пушкино), «Тропа к водопадам реки Кынгарга» (Республика Бурятия), «Дендропарк Байкальского музея Иркутского научного центра СО РАН» (Иркутская область), «Им. Т.И. Вяземского в Карадагском природном заповеднике» (республика Крым), «Таловские чаши» (Томская область) и др. [3–5]. В Приморском крае экологические тропы созданы в Сихотэ-Алинском государственном природном биосферном заповеднике им. К.Г. Абрамова, Лазовском государственном природном заповеднике им. Л.Г. Капланова, Дальневосточном морском биосферном государственном природном заповеднике, в национальном парке «Земля леопарда», на острове Попова.

Город Владивосток находится на полуострове Муравьев-Амурский (длина 30 км, ширина 12 км), который омывается Амурским, Уссурийским заливами и заливом Петра Великого, в зоне муссонного климата с сухой зимой и влажным летом. Гористый рельеф является отрогами хребта Глаголинза, расчлененного распадками и долинами небольших речек (сопки высотой от 50 до 500 м). Территория входит в состав Восточно-Азиатской хвойно-широколиственной области Дальневосточной (Маньчжурской) провинции кедрово-широколиственных и дубовых лесов и горно-приморского Сучанско-Владивостокского округа дубовых, широколиственных, кедрово-широколиственных с грабом и чернопихтово-широколиственных лесов. Сохранение лесов важно из-за их водоохранной и почвозащитной роли, значимой в условиях горного рельефа полуострова и муссонного климата с ливневыми размывающими осадками [6, 7].

Для создания экологического типа троп необходимы транспортная доступность, природная привлекательность, муниципальное обслуживание. Для лучшей наглядности в зоне маршрута можно организовать серию ботанических площадок с лекарственными и охраняемыми видами растений, зоны рекреаций и пленэров. Во Владивостоке экологическая тропа находится только в Ботаническом саду и к ней нет общего бесплатного доступа. Для сохранения природы полуострова Муравьев-Амурский, оздоровления и просвещения жителей города, привлечения туристов необходимо создать муниципальную научно-просветительскую экологическую тропу. Состояние туристической тропы в пригородном районе Седанка за последние годы резко изменилось. Появились новые постройки домов,

дороги и линии электропередач. Происходит антропогенное урбанистическое освоение территории, что влечёт за собой нарушение природного и экологического баланса.

**Цель исследования** – разработать экологическую тропу на полуострове Муравьев-Амурский в пригороде Владивостока как один из видов природопользования.

#### **Материалы и методы исследования**

Для разработки экологической тропы «Седанка» было проведено маршрутное исследование территории в июне 2024 г. Была составлена схема тропы с условными обозначениями, указаны особенности рельефа, описан почвенно-растительный покров (ярус растительности, общая сомкнутость крон (ОСК), общее проективное покрытие (ОПП), высота). Для мониторинга экосистем определялось их геоэкологическое состояние: показатели лесистости (Л, %) и степень антропогенного изменения территории (АИТ, %).

#### **Результаты исследования и их обсуждение**

Предлагаемая бесплатная экологическая тропа «Седанка» расположена вблизи исторических объектов Марфо-Мариинского женского монастыря (1901 г. постройки) на 14-я улица, д. 32, и Пионерского (Седанкинского) водохранилища (1936 г. постройки) (рис. 1).

Рядом находятся парки «Роял парк» на ул. Маковского, д. 65, «Седанка парк» на ул. Менделеева, д. 14, и Ботанический сад-институт Дальневосточного отделения Российской академии наук на ул. Маковского, д. 142. Экотропа «Седанка» имеет несколько вариантов прохождения от автобусной остановки «Амурский залив» через улицу Барбарисовую, через гору Роза ветров вниз по склону, через улицу Семирадского до автобусной остановки «Седанка». Или от автобусной остановки «Седанка» по этому же пути до остановки «Амурский залив». Протяженность тропы 4 км.

Предлагаемые участки на экотропе следующие.

№ 1. Дубняк мертвопокровный (71 м над ур. м., 43°13'05.59"N, 131°58'23.58"E) (рис. 2, а). Юго-западный склон. Высота древесного яруса 15 м, ОСК 80%. Антропогенно нарушенная экосистема кустарниково-травяного покрова. Л 85%, АИТ 80%. Почвенный покров (буроземы типичные маломощные) антропогенно эродирован – уничтожен поверхностный гумусовый горизонт с обнажением сильно каменистой срединной части профиля (до 80% площади участка).



Рис. 1. Картограмма экотропы «Седанка»



Рис. 2. а) участок № 1 и б) участок № 2

№ 2. Дубово-широколиственный кустарниково-разнотравный лес ( $43^{\circ}13'07.05''$  N,  $131^{\circ}58'38.42''$  E, 99 м над ур. м.) (рис. 2, б). Южный склон. На участке есть беседка. Л 70%, АИТ 75%. Высота древесного яруса 15 м, ОСК 80%: дуб монгольский (*Quercus mongolica*), граб сердцелистный (*Carpinus cordata*), ясень носолистный (*Fraxinus rhyncophylla*), орех маньчжурский (*Yuglans mandshurica*), клен ложнозибольдов (*Acer pseudosiboldianum*); кустарникового 4 м, ОПП 45%: жимолость раннецветущая (*Lonicera praeflorens*), леспедеца двуцветная (*Lespedeza bicolor*); травяного 1 м, ОПП 40%: однопокровница амурская (*Arisaema amurense*), горошек однопарный (*Vicia unijuga*). Почвенный покров (буроземы ти-

пичные маломощные) антропогенно эродирован на большей части участка, но на безлесных полянах поверхностный слой почв задернован за счет хорошо развитого травяно-кустарникового яруса (участок отдыха и выпаса лошадей).

№ 3. Пихтово-широколиственный разнокустарниково-травяной лес (чернопихтово-широколиственный лес) ( $43^{\circ}12'54.41''$  N,  $131^{\circ}58'46.31''$  E, 135 м над ур. м.) (рис. 3, а). Западный склон. Высота древесного яруса 20 м, ОСК 90%: пихта цельнолистная (*Abies holophylla*), клен зеленокорый (*Acer tegmentosum*), ильм мелколистный (*Ulmus pumila*); кустарникового 4 м, ОПП 60%: калина Саржента (*Viburnum sargentii*), орешник маньчжурский (*Corylus mandshurica*), бузи-

на кистевая (*Sambucus rasemosa*); травяного 1,5 м, ОПШ 70%: лабазник гладчайший (*Filipendula glaberrima*), какалия копьевидная (*Cacalia hastata*), чистоусник азиатский (*Osmundastrum asiaticum*), орляк обыкновенный (*Pteridium aquilinum*), ластовень заостренный (*Vincetoxicum acuminatum*), герань волосистотычинковая (*Geranium eriostemon*), колокольчик точечный (*Campanula punctata*), вороний глаз мутовчатый (*Paris verticillata*), волжанка двудомная (*Arunaus dioicus*). Л 90%, АИТ 40%. Встречаются краснокнижный вид – калопанакс семилопастной, или диморфант (*Kalopanax septemlobus*), который относится к категории LR (Low risk) – низкая степень риска [8, 9], лекарственные растения элеутерококк сидячецветковый (*Eleuterococcus sessiliflorus*), ландыш Кейске (*Convallaria keiskei*), медоносные растения липа амурская (*Tilia amurensis*) и чубушник тонколистный (*Philadelphus tenuifolius*). Почвенный покров (буроземы типичные) устойчив к антропогенному вытаптыванию за счет хорошо развитого травяного яруса и сформированной на поверхности мощной подстилки из про-

шлогодного опада растительности (листва деревьев, кустарников и трав).

№ 4. Поляна для отдыха (43°12'45.32" N, 131°58'37.21" E, 178 м над ур. м.) (рис. 3, б). Л 65%, АИТ 80%. Территория требует благоустройства – скамейки для отдыха, столики и др.

№ 5. Гора Роза ветров (43°12'43.85" N, 131°58'36.02" E, 189,3 над ур. м.) (рис. 4, а, б). Восточный склон. Низкорослый широколиственный кустарниково-травяной лес. Высота древесного яруса 2 м, ОСК 80%: дуб монгольский, ольха японская (*Alnus japonica*), береза даурская (*Betula daurica*); кустарникового 1 м, ОПШ 45%: рододендрон мелколистный (*Rhododendron mucronulatum*); травяного 0,5 м, ОПШ 50%: полынь (*Artemisia* sp.), лук (*Allium* sp.), гвоздика китайская (*Dianthus chinensis*), осока (*Carex* sp.). Л 80%, АИТ 60%. Обзорная площадка, зона релакса, пленэра, живописный вид на водохранилище Пионерское (Седанкинское), фотозона. Почвенный покров участка (буроземы маломощные сильно скелетные) имеет малую мощность профиля с участками обнажения материнской породы.



Рис. 3. а) участок № 3 и б) участок № 4



Рис. 4. Участок № 5



Рис. 5. а) участок № 6 и б) участок № 7

На обзорной площадке представлен отдельными куртинами из буроземов неполно развитых эродированных в западинах между выходами на дневную поверхность сильно выветрелых скальных пород – останцев крупных размеров. Предлагается провесить канатные перила на крутом склоне.

№ 6. Чернопихтарник ( $43^{\circ}12'33.77''$  N,  $131^{\circ}58'34.34''$  E, 92 м над ур. м.) (рис. 5, а). Восточный склон. Высота древесного яруса 15 м, кустарникового 4 м, травяного 2 м. Л 95%, АИТ 60%. Большевековая липа амурская. Поляна для отдыха. Почвенный покров (буроземы оподзоленные маломощные) с осветленными линзами мелкозема под поверхностным гумусовым горизонтом. Подвержен антропогенной эрозии за счет слабого развития корневой системы травяного яруса.

№ 7. Экстремальная крутая тропа спускается вниз по склону ( $43^{\circ}12'36.94''$  N,  $131^{\circ}58'25.19''$  E, 17 м над ур. м.) (рис. 5, б). Юго-восточный склон. Л 85%, АИТ 60%. Встречается большевековая пихта цельнолистная. Почвенный покров отсутствует, что обусловлено большой крутизной склона и сильным эродированным сносом мелкозема с обнажением скальных пород.

Наиболее антропогенно измененными территориями на экотропе являются 1, 2, 4 участки, где АИТ выше 70%. Участки 3, 5, 6, 7 сохранили естественные экосистемы полуострова Муравьев-Амурский. Перепад высот составляет около  $100^{\circ}$ .

### Заключение

Экотропа «Седанка» знакомит со сменой высотной-поясной зональности растительности, разнообразием ландшафтов водных, лесных и горных, коренными экосистемами полуострова Муравьев-Амурский. Она имеет транспортную доступность на автомобиле, автобусе и электричке и знакомит людей с типичным для полуострова Муравьев-

Амурский пихтово-широколиственным лесом. Прогулка по тропе обладает оздоровительным, ландшафтно-терапевтическим, фитонцидным эффектами. Экстремальный участок тропы служит для спортивной нагрузки. Предлагается обозначить направления пути по всему маршруту, поставить информационные стенды во всех зонах. Организованная экотропа улучшит меры по сохранению природных объектов, а также проведению экомониторинга естественных и антропогенно измененных экосистем.

### Список литературы

1. Ломакин И.А., Попова Е.И. Экотропа как средство формирования экологической культуры и рационального природопользования // Успехи современного естествознания. 2016. № 11. С. 146–150.
2. Несговорова Н.П., Савельев В.Г. Основные аспекты создания экологических маршрутов в городской среде // Современные проблемы науки и образования. 2018. № 6. URL: <https://science-education.ru/ru/article/view?id=28198> (дата обращения: 26.06.2024).
3. Дрыгваль П.В. Геоэкологические особенности экотропы им. Т.И. Вяземского в Карадагском природном заповеднике // Сборник научно-исследовательских работ студентов и аспирантов-стипендиатов Фонда им. В.И. Вернадского / Сост. Т.В. Августманова, О.А. Савватеева. М., 2022. С. 22–28.
4. Прокопьев А.С., Чернова О.Д., Гришаева Е.С., Мачкин Е.Ю., Титова К.Г., Ямбуров М.С., Лукьянова М.Г., Лысакова Е.Н., Коновалова А.М., Агафонова Г.И. Экологическая тропа: обустройство и назначение: учебно-методическое пособие. Томск: Издательский Дом Томского государственного университета, 2018. 133 с.
5. Халикова О.В., Исяньюлова Р.Р. Влияние рекреации на состояние почвенного покрова Черноморского побережья России // Лесной вестник. 2019. Т. 23, № 6. С. 51–59. DOI: 10.18698/2542-1468-2019-6-51-59.
6. Колесников Б.П. Геоботаническое районирование Дальнего Востока // Дальний Восток. М., 1961. С. 181–245.
7. Манько Ю.И., Гладкова Г.А., Сибирина Л.А. Леса на полуострове Муравьев-Амурский 150 лет назад // Вестник ДВО РАН. 2016. № 1. С. 5–14.
8. Красная книга Приморского края: Растения. Редкие и находящиеся под угрозой исчезновения виды растений и грибов. Владивосток: АВК «Апельсин», 2008. 688 с.
9. Красная книга Российской Федерации (растения и грибы). М.: Товарищество науч. изд. КМК, 2008. 855 с.

УДК 57:612.1/2:796.012.446

## ВНЕШНЕЕ ДЫХАНИЕ И ЦЕНТРАЛЬНОЕ КРОВООБРАЩЕНИЕ У ВЫСОКОКЛАССНЫХ ГРЕБЦОВ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ СОМАТОТИПА

Кучкарова Л.С., Абдурахманов Ж.С.

*Национальный университет Узбекистана имени М. Улугбека, Ташкент,  
e-mail: abdurahmonov7977@gmail.com*

Цель исследования – выявление особенностей параметров внешнего дыхания и центрального кровообращения у высококвалифицированных гребцов на одиночной байдарке в зависимости от соматотипа. В наблюдениях приняли участие юноши, по национальности узбеки, в возрасте 21-23 года. Антропометрические измерения были осуществлены стандартными в спортивной медицине методами. Оказалось, что окружность грудной клетки при вдохе и выдохе, экскурсия грудной клетки, жизненная ёмкость легких у гребцов обоих типов телосложения были больше, а частота дыхания была меньше по сравнению с неспортсменами аналогичных соматотипов. Результаты показали, что у гребцов эндоморфного телосложения по сравнению с гребцами мезоморфного телосложения жизненная емкость легких была больше, а частота дыхания была меньше, что говорит о большем адаптационном потенциале дыхания у спортсменов эндоморфного соматотипа по сравнению со спортсменами мезоморфного соматотипа. У спортсменов частота сердечных сокращений и диастолическое артериальное давление были меньше, а систолическое и пульсовое артериальное давление, равно как и ударный и минутный объемы крови, были больше по сравнению с неспортсменами. Результаты показали, что частота сердечных сокращений, пульсовое давление и минутный объем крови были больше у гребцов эндоморфного телосложения по сравнению с гребцами мезоморфного соматотипа. Более высокие пульсовое давление и минутный объем крови у гребцов эндоморфного соматотипа, по сравнению со спортсменами мезоморфного телосложения, говорят о повышенной возможности адаптации к физическим нагрузкам. Полученные данные свидетельствуют о том, что адаптационный потенциал внешнего дыхания и центрального кровообращения у спортсменов эндоморфного соматотипа превалирует над таковым у гребцов мезоморфного соматотипа.

**Ключевые слова:** гребцы, мезоморфный и эндоморфный соматотипы, внешнее дыхание, центральная гемодинамика

## EXTERNAL RESPIRATION AND CENTRAL HEMOCIRCULATION IN HIGH-CLASS ROWERS DEPENDING ON SOMATOTYPE

Kuchkarova L.S., Abdurakhmanov Zh.S.

*National University of Uzbekistan, Tashkent, e-mail: abdurahmonov7977@gmail.com*

The research purpose was to identify the features of external respiration and central hemocirculation in highly qualified single kayak rowers depending on somatotypes. Young people Uzbeks by nationality, aged 21-23, took part in the observations. Anthropometric measurements were carried out by standard methods used in sports medicine. It turned out that the chest circumference during inhalation and exhalation, chest excursion, lung vital capacity in rowers of both body types were greater, but the frequency of respiration, was less compared to non-athletes with the similar somatotypes. Results showed in the endomorphic body type rowers, compared to the mesomorphic body type rowers the lung vital capacity prevailed but the breathing frequency was less, which indicates a greater respiration adaptive potential in the endomorphic somatotype athletes compared to the mesomorphic somatotype. In athletes the heart rate and diastolic blood pressure were lower, but systolic and pulse blood pressure, as well as stroke and minute blood volumes were greater compared to non-athletes. The results showed the heart rate, pulse pressure and minute blood volume were higher in the endomorphic body type rowers compared to the mesomorphic somatotype rowers. The higher pulse pressure and minute blood volumes in rowers with endomorphic somatotype compared to athletes with mesomorphic body type indicates an increased possibility adaptation to physical activity. The obtained data show that the external respiration and central hemocirculation adaptive potential in athletes with endomorphic somatotype prevails over that in rowers with mesomorphic somatotype.

**Keywords:** rowers, mesomorphic and endomorphic somatotypes, external respiration, central hemodynamics

### Введение

Как свидетельствует спортивная практика, большинство тренеров при отборе и подготовке спортсменов в основном уделяют внимание двигательным способностям и физическим качествам. Однако игнорирование сложности взаимодействия всех факторов, влияющих на спортивный результат, не всегда приводит к желаемому результату. Доказано, что физические качества не всегда являются первостепенными

и решающими в достижении спортивных результатов по той причине, что качество движения спортсмена во многом зависит от особенностей функционирования висцеральных систем, типа телосложения и других параметров [1].

Известно, что для максимальной реализации физической активности в гребле востребован соответствующий уровень перестройки функциональных систем, в первую очередь дыхательной и сердечно-со-

судистой, которые позволяют выявить степень адаптации спортсмена к физической нагрузке. Поэтому резервные возможности кардиореспираторной системы являются определяющими критериями спортивного мастерства высококвалифицированных гребцов [2; 3]. Действительно, дыхательная и сердечно-сосудистая системы играют ведущую роль в обеспечении мышц кислородом, т.к. энергия окисления органических субстратов участвует в синтезе аденозинтрифосфата (АТФ) – основной формы клеточной энергии. В связи с небольшим запасом АТФ в клетке это макроэргическое соединение регулярно ресинтезируется с участием кислорода. Это показывает, что эффективность двигательной активности зависит от работы кислородоснабжающих дыхательной и сердечно-сосудистой систем, обуславливающих энергообеспечение мышечного сокращения [4]. С этой точки зрения изучение особенностей показателей внешнего дыхания и центрального кровообращения у спортсменов является чрезвычайно актуальным и имеет практическое значение для отбора спортсменов и контроля тренировочных занятий [5; 6].

Изучение показателей внешнего дыхания и центральной гемодинамики у гребцов олимпийской сборной республики в зависимости от соматотипа представляет научный и практический интерес потому, что в Узбекистане до сегодняшнего дня исследования особенностей морфометрических и функциональных показателей, в том числе и параметров кардиореспираторной системы, у элитных спортсменов практически не были предприняты.

**Цель данного исследования** – выявление особенностей параметров внешнего дыхания и центрального кровообращения у высококвалифицированных гребцов на одиночной байдарке в зависимости от соматотипа.

#### **Материалы и методы исследований**

Наблюдение было проведено на базе федерации гребли «Rowing and Canoe» Республики Узбекистан. В нем приняли участие гребцы на одиночной байдарке олимпийской сборной республики в возрасте 21-23 лет, занимающиеся греблей более 10 лет, а также студенты Национального университета Узбекистана идентичного возраста. По национальности все участники были коренными узбеками, согласно медицинским картам и устным опросам каких-либо отклонения в здоровье испытуемых отсутствовали. Все участники были заранее проинформированы о цели и содержании

исследования. Анонимность и конфиденциальность участников были гарантированы.

Соматотип испытуемых определяли по Хит-Картеру (2002) [7]. Для точного определения соматотипа были измерены рост тела, масса тела, обхват плеча в напряженном состоянии, голени, диаметр дистального эпифиза плеча и бедра, толщина жировых складок плеча, бедра и голени, и также под лопаткой. Во время измерений испытуемые были в легкой одежде. Вышеотмеченные морфометрические данные, а также окружность грудной клетки во время глубокого вдоха и выдоха, экскурсия грудной клетки (разность окружностей грудной клетки при глубоком вдохе и выдохе), частота дыхания и другие показатели кардиореспираторной системы были определены у юношей утром (08:00-10:00) на тощак стандартными методами спортивной физиологии и медицины.

Жизненную ёмкость легких измеряли при помощи суховоздушного спирометра (Voldyne 6000, Турция). Частоту сердечных сокращений, а также систолическое и диастолическое артериальное давление определяли при помощи фитнес-браслета Citizen CN-671F (Китай). Пульсовое артериальное давление, жизненный индекс, ударный объем крови и минутный объем крови рассчитывали по общепринятым в физиометрии формулам [8; 9]. Несмотря на то, что по Хит-Картеру имеется 3 соматотипа (эндоморфный, мезоморфный и эктоморфный), в исследовании сопоставлены кардиореспираторные параметры только двух типов телосложения, мезоморфного и эндоморфного, так как эктоморфный соматотип среди высококлассных гребцов на одиночной байдарке не был обнаружен [7]. Определение всех показателей дыхания и кровообращения проводили в состоянии покоя в утренние часы до завтрака.

Полученные результаты были обработаны при помощи статистической программы Origin Pro 8.6 с применением параметрического метода статистического анализа. Были определены среднее арифметическое (M), стандартная ошибка среднего арифметического (m), критерий Стьюдента (t) при попарном сравнении средних величин и был установлен показатель статистической достоверности (p). В том случае, если  $p < 0,05$ , данные принимались за статистически значимые.

#### **Результаты исследования и их обсуждение**

Результаты по показателям внешнего дыхания у неспортсменов и спортсменов показаны в таблице 1.

Таблица 1

Показатели внешнего дыхания у спортсменов и спортсменов-гребцов мезоморфного и эндоморфного соматотипов ( $M \pm m$ ;  $n=11-16$ )

Группы испытуемых	ОГКвд (см)	ОГКвыд (см)	ЭГК (см)	ЖЕЛ (мл)	ЖИ (%)	ЧД (кол-во/мин.)
	Мезоморфный соматотип					
НеспорТСмены	87,1±0,9	81,3±0,9	5±0,1	3633,1±41,5	49,6±0,5	18,1±0,2
Спортсмены	109,5±0,6	97,4±0,3	12,1±0,2	5268,7±218,9	67,2±0,3	13,8±0,2
p	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
Эндоморфный соматотип						
НеспорТСмены	88,2±0,9	81,9±0,9	6,3±0,1	3652,0±34,1	45,8±0,4	16,9±0,2
Спортсмены	110,9±0,5	97,8±0,4	12,1±0,2	5531,2±216,4	66,2±0,3	12,1±0,1
p	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001

Примечание: ОГКвд и ОГКвыд – объёмы грудной клетки во время глубокого вдоха и выдоха; ЭГК – экскурсия грудной клетки; ЖЕЛ – жизненная ёмкость лёгких, ЖИ – жизненный индекс, ЧД – частота дыхания.

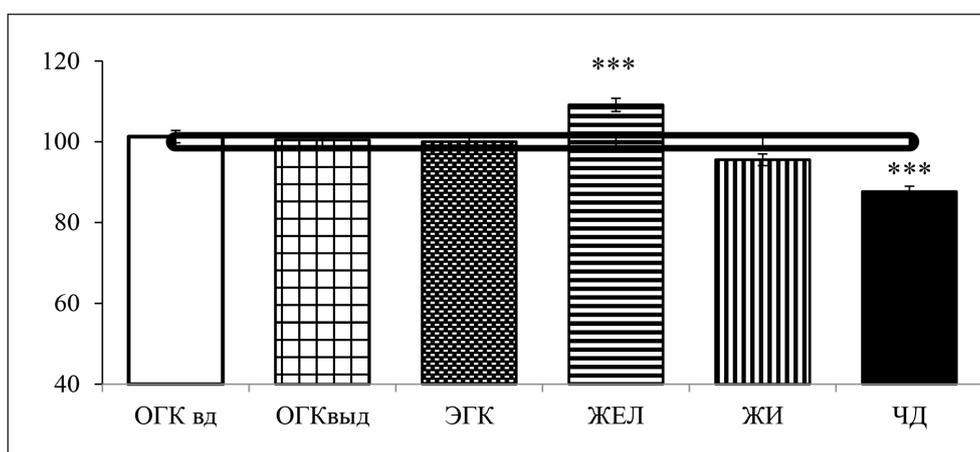


Рис. 1. Показатели внешнего дыхания у высококлассных байдарочников мезоморфного (горизонтальная полоса) и эндоморфного соматотипа (столбцы) ( $M \pm m$ ,  $n=16$ ).

Показатели спортсменов мезоморфного соматотипа приняты за 100%:

ОГКвд и ОГКвыд – объёмы грудной клетки во время глубокого вдоха и выдоха;

ЭГК – экскурсия грудной клетки; ЖЕЛ – жизненная ёмкость лёгких,

ЖИ – жизненный индекс, ЧД – частота дыхания; \*\*\* –  $p < 0,001$ .

Как видно из таблицы 1, у спортсменов мезоморфного типа телосложения окружность грудной клетки во время вдоха и выдоха, а также экскурсия грудной клетки были на 25,7; 18,6 и 142,0% соответственно больше, чем у сверстников-неспорТСменов. При этом жизненная ёмкость лёгких и жизненный индекс, отражающий отношение жизненной ёмкости лёгких к массе тела, были на 45,0 и 35,5% больше, а частота дыхания на 23,8% меньше по сравнению с неспортсменами аналогичного телосложения и возраста.

Такая же тенденция в разнице показателей внешнего дыхания была отмечена и у юношей спортсменов и неспортсменов эндоморфного соматотипа. Это проявлялось в том, что окружность грудной клетки во время глубокого вдоха и выдоха, экскурсия грудной клетки, жизненная ёмкость лёгких и жизненный индекс были на 25,7; 19,4, 92,1; 51,5 и 40,2% больше, а частота дыхания на 28,4% меньше, чем у неспортсменов аналогичного соматотипа.

При сравнении показателей внешнего дыхания только у высококвалифицированных

ных спортсменов мезоморфного и эндоморфного соматотипов было выявлено, что различия между морфометрическими показателями (окружность грудной клетки во время вдоха и выдоха, экскурсия грудной клетки) и показателем жизненного индекса обнаружено не было. Однако при этом жизненная ёмкость легких и частота дыхания статистически значимо отличались. У гребцов-байдарочников эндоморфного телосложения жизненная ёмкость легких была на 9,1% больше, а частота дыхания – на 12,3% меньше по сравнению с гребцами-байдарочниками мезоморфного телосложения (рис. 1).

Характеристика параметров центрального кровообращения у элитных гребцов мезоморфного и эндоморфного типов телосложения по сравнению с неспортсмена-

ми идентичного пола, возраста и соматотипа представлена в таблице 2.

Как показывают данные таблицы 2, у спортсменов мезоморфного типа телосложения частота сердечных сокращений и диастолическое артериальное давление были статистически значимо ниже на 16,9 и 15,4% соответственно, чем у неспортсменов такого же типа телосложения. В то же время у спортсменов систолическое артериальное давление, пульсовое давление, ударный объём крови и минутный объём крови были соответственно на 8,7; 61,8; 37,9 и 15,6% больше, чем у неспортсменов аналогичного телосложения. Такая же картина была прослежена в отношении неспортсменов и спортсменов эндоморфного соматотипа.

Таблица 2

Показатели центрального кровообращения у неспортсменов и спортсменов-гребцов мезоморфного и эндоморфного соматотипов (M±m; n=11-16)

Испытуемые	ЧСС, уд./мин.	САД, мм рт. ст.	ДАД, мм рт. ст.	ПД, мм рт. ст.	УОК, мл	МОК, мл
	Мезоморфный соматотип					
Неспортсмены	77,5±0,6	120,4±1,1	83,2±0,7	37,2±0,6	50,8±0,4	3937,1±41,1
Спортсмены	64,4±0,4	130,9±0,4	70,4±0,3	60,2±0,2	70,7±0,3	4553,1±25,3
p	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
Эндоморфный соматотип						
Неспортсмены	79,8±0,8	122,8±0,9	85,1±0,9	37,7±0,2	50,1±0,4	3997,9±43,8
Спортсмены	67,8±0,6	132,8±0,9	71,8±0,6	61,1±0,2	71,1±0,6	4820,1±31,9
p	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001

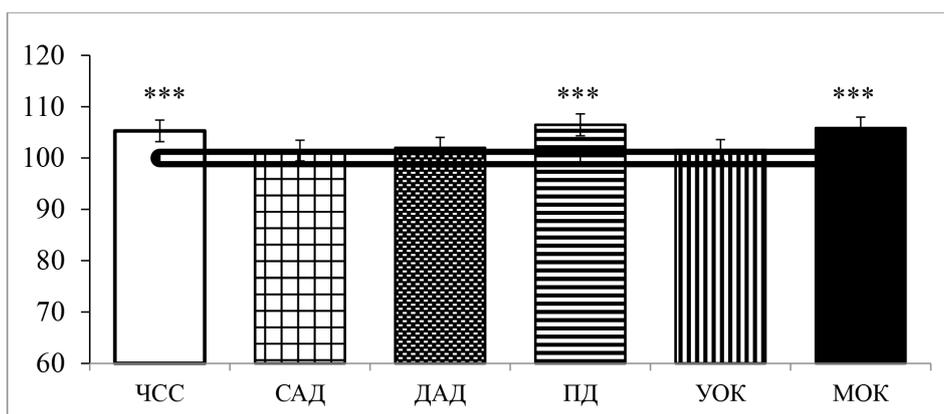


Рис. 2. Показатели центрального кровообращения у высококлассных байдарочников мезоморфного (горизонтальная полоса) и эндоморфного соматотипа (столбцы) (M±m, n=16).

Показатели спортсменов мезоморфного типа телосложения приняты за 100%:

ЧСС – частота сердечных сокращений; САД, ДАД, и ПД – систолическое, диастолическое и пульсовое артериальное давление соответственно;

УОК и МОК – ударный и минутный объёмы крови, соответственно; \*\*\* – p<0,001.

Частота сердечных сокращений у высококлассных гребцов была на 15,0%, а диастолическое артериальное давление на 15,6% меньше. На этом фоне у спортсменов эндоморфного соматотипа систолическое артериальное давление было на 8,1%, пульсовое давление – на 70,0%, ударный объем крови – на 41,9% и минутный объем крови – на 120,6% больше, чем у спортсменов идентичного телосложения. Из представленных данных можно заключить, что более высокое систолическое артериальное давление и более низкое диастолическое артериальное давление у гребцов мезоморфного и эндоморфного соматотипов, по сравнению с неспортсменами, обуславливают более высокие пульсовое давление и ударный объем крови. Поэтому даже меньшая частота сердечных сокращений у спортсменов, по сравнению с неспортсменами, не приводит к уменьшению объема крови, выталкиваемой из сердца в единицу времени, за счет весьма высокого ударного объема крови, в отличие от неспортсменов. Сопоставление показателей центрального кровообращения у спортсменов мезоморфного и эндоморфного соматотипов приведено на рисунке 2.

Как видно из рисунка 2, не все параметры центрального кровообращения в обоих исследованных соматотипах гребцов одинаковы. Частота сердечных сокращений, пульсовое давление и минутный объем крови у гребцов эндоморфного сложения были на 5,2; 6,5 и 5,9% больше, чем у гребцов мезоморфного соматотипа.

Можно заключить, что регулярная физическая нагрузка на мышцы груди, спины и плечевого пояса при гребле способствуют увеличению объема грудной клетки, играющей определяющую роль в возрастании жизненной ёмкости легких, жизненного индекса и эффективности работы сердца. У высококлассных гребцов частота сердечных сокращений, диастолическое артериальное давление уменьшались, а систолическое артериальное давление, пульсовое давление, ударный и минутный объемы крови, напротив, возрастали по сравнению с неспортсменами независимо от соматотипа, которое является отражением закономерного увеличения диапазона возможностей сердечно-сосудистой системы для высокой двигательной активности [10]. Брадикардия на фоне высоких значений ударного объема крови у квалифицированных гребцов обусловлена высоким тонусом сосудистой стенки, в основе которой лежит эффективная мобилизация системы кровообращения к физическим нагрузкам, а также является адекватным

показателем экономизации кислородоснабжения у спортсменов [5]. Уменьшение частоты дыхания и брадикардия у спортсменов по сравнению с неспортсменами ассоциируют с отсутствием необходимости в доставке кислорода в более скором режиме ввиду достаточной обеспеченности организма кислородом. У спортсменов эндоморфного соматотипа более высокие показатели жизненной ёмкости легких, ударного и минутного объема крови, равно как и снижение показателей частоты дыхания по сравнению со спортсменами мезоморфного соматотипа говорят о большем потенциале внешнего дыхания и центрального кровообращения в кислородоснабжении организма. Ильютик А.В. и соавторы показали, что у гребцов мезоморфного телосложения с нормокинетическим типом центрального кровообращения увеличение минутного объема крови во время физической нагрузки реализуется за счет хронотропного эффекта. В то же время у гребцов эндоморфного типа телосложения с гиперкинетическим типом центрального кровообращения – за счет инотропной и хронотропной деятельности сердца [5]. Следовательно, не только в состоянии покоя, как показывает данное исследование, но и во время физической нагрузки, согласно данным других авторов [5], у гребцов эндоморфного типа телосложения функциональные возможности кислородоснабжающих систем в энергообеспечении эффективной двигательной активности шире.

### Заключение

Таким образом, полученные данные показывают, что, во-первых, у спортсменов-гребцов мезоморфного и эндоморфного телосложения по сравнению с неспортсменами аналогичного возраста и соматотипа адаптационный потенциал кардиореспираторной системы к двигательной активности намного выше; во-вторых, адаптационные возможности кардиореспираторной системы к физической нагрузке у гребцов на одиночной байдарке эндоморфного соматотипа несколько преобладают над таковыми у спортсменов мезоморфного соматотипа, что необходимо учитывать при отборе в высокий спорт и организации тренировочных занятий.

### Список литературы

1. Померанцев А.А., Тормышов А.С. Значение соматических протофакторов в достижении спортивных результатов // Ученые записки университета имени П.Ф. Лесгафта. 2022. № 12. С. 412-442.
2. Журавский А.Ю., Шантарович В.В. Физиологические основы моделирования нагрузки в годичном трениро-

- вочном цикле высококвалифицированных гребцов на байдарках и каноэ // Веснік МДПУ імя І. П. Шамякіна. 2016. № 2 (48). С. 38-42.
3. Малука М.В., Бугаец Я.Е., Гронская А.С., Исаенко Т.А. Контроль физической работоспособности и показателей кардиореспираторной системы юных гребцов // Физическая культура, спорт – наука и практика. 2023. № 1. С. 132-139.
4. Hargreaves M., Spriet L.L. Skeletal muscle energy metabolism during exercise // *Nat Metab.* 2020. No. 2. P. 817–828.
5. Илютик А.В., Зубовский Д.К., Асташова А.Ю. Показатели центральной гемодинамики квалифицированных гребцов // Российский журнал спортивной науки: медицина, физиология, тренировка. 2022. Т. 1, № 4. С. 7-11.
6. Stickland M.K., Lindinger M.I., Olfert I.M., Heigenhauser G.J., Hopkins S.R. Pulmonary gas exchange and acid-base balance during exercise // *Compr Physiol.* 2013. No. 2. P. 693-739.
7. Carter J.E.L. The Heath-Carter anthropometric somatotype: instruction manual. 2002. URL: <http://www.somatotype.org/Heath-CarterManual.pdf> (дата обращения: 26.06.2024).
8. Лебединский В.Ю., Изатулин В.Г., Карабинская О.А., Калягин А.Н. Индексная оценка физического развития и её взаимосвязь от антропометрических показателей у студентов различных функциональных групп здоровья // Байкальский медицинский журнал. 2017. № 3. С. 26-29.
9. Седоченко. С.В. Спортивно-оздоровительный мониторинг: практикум для студентов институтов физической культуры. Воронеж: ВГИФК, 2017. 112 с.
10. Васильев А.П., Стрельцова Н.Н. Спортивное сердце // Медицинский совет. 2018. № 12. С. 185-188.

УДК 57.023:57.017.8:57.032

## ХРОНИЧЕСКАЯ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ МОДЕЛЬ БОЛЕЗНИ КРОНА У КРЫС: БИОХИМИЧЕСКИЕ И ГИСТОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ

Умнаткулова Ш., Ахмедова Г., Зарипов Б.

*Национальный университет Узбекистана им. Мирзо Улугбека, Ташкент,  
e-mail: gulsara.akhmedova@inbox.ru*

Цель исследования заключалась в анализе изменений при болезни Крона на экспериментальной модели крыс, включая воспалительный процесс и биохимические параметры. Исследования проводились согласно европейским и российским стандартам по обращению с животными. Эксперименты проводились согласно Директиве ЕС 2010/63/ЕС о защите животных для научных целей и Федеральному закону РФ 498-ФЗ о ответственном обращении с животными, с учетом рекомендаций этического комитета. Использовались белые крысы весом 165-200 г, возрастом 2-3 месяца. Крысы содержались при температуре 20-28°C и влажности 50%. В исследовании участвовало 30 крыс: одна группа контрольная, другая получала ректально 2 мл 4% раствора уксусной кислоты для индукции воспаления. Через 24-48 часов после инъекции проводился анализ уровня белков, жиров и углеводов в крови и кишечнике, а также гистологический анализ тканей. Статистическая обработка данных выполнялась с помощью t-критерия Стьюдента и программ Excel и OriginPro 2017. Гистологическое исследование показало макрофагальную и лимфоцитарную инфильтрацию подслизистого слоя кишечника у крыс с болезнью Крона. Биохимический анализ выявил изменения в уровнях белков, жиров и углеводов. Результаты подтвердили успешное воспроизведение модели болезни Крона и соответствие гистологическим критериям воспалительного процесса. Модель болезни Крона была успешно воспроизведена, что важно для дальнейших исследований и разработки терапевтических подходов.

**Ключевые слова:** воспалительные заболевания кишечника (ВЗК), болезнь Крона (БК), язвенный колит (ЯК), желудочно-кишечный тракт (ЖКТ)

## CHRONIC EXPERIMENTAL MODEL OF CROHN'S DISEASE IN RATS: BIOCHEMICAL AND HISTOLOGICAL FEATURES

Ummatkulova Sh., Akhmedova G., Zaripov B.

*National University of Uzbekistan named after Mirzo Ulugbek, Tashkent,  
e-mail: gulsara.akhmedova@inbox.ru*

The aim of the study was to analyze changes associated with Crohn's disease in an experimental rat model, including the inflammatory process and biochemical parameters. The experiments were conducted in accordance with EU Directive 2010/63/EU on the protection of animals used for scientific purposes and Russian Federal Law 498-FZ on the responsible treatment of animals, with consideration of the ethical committee recommendations. White rats weighing 165-200 g and aged 2-3 months were used. The rats were kept at 20-28°C and 50% humidity. A total of 30 rats were used: one group served as a control, while the other received a rectal administration of 2 ml of 4% acetic acid solution to induce inflammation. Twenty-four to forty-eight hours after injection, blood and intestinal levels of proteins, fats, and carbohydrates were analyzed, and histological tissue analysis was performed. Statistical analysis was carried out using the Student's t-test and the Excel and OriginPro 2017 software. Histological examination revealed macrophage and lymphocytic infiltration in the submucosal layer of the intestine in rats with the Crohn's disease model. Biochemical analysis showed changes in protein, fat, and carbohydrate levels in the blood and intestines. These results confirmed the successful reproduction of the Crohn's disease model and its alignment with the histological criteria of the inflammatory process. The Crohn's disease model was successfully reproduced, providing valuable insights for further research and the development of therapeutic approaches.

**Keywords:** inflammatory bowel disease (IBD), Crohn's disease (CD), ulcerative colitis (UC), gastrointestinal tract (GIT)

### Введение

Глобальная распространенность воспалительных заболеваний кишечника быстро растет, и в настоящее время этот показатель наблюдается примерно у одного из 200 человек в западных странах. В настоящее время патофизиология воспалительных заболеваний кишечника включает два отдельных заболевания: болезнь Крона и язвенный колит, которые различаются пораженными частями желудочно-кишечного тракта, симптомами, осложнениями, течением заболевания и лечением [1]. Болезнь Крона – это хроническое воспалительное заболевание

желудочно-кишечного тракта, которое чаще встречается среди населения. Болезнь Крона может быть результатом сложного взаимодействия между наследственностью, факторами окружающей среды и измененной микробиотой кишечника. Пациенты с болезнью Крона будут испытывать симптомы боли в животе, хронической диареи, потери веса и усталости [2]. Болезнь Крона может возникать во всех частях желудочно-кишечного тракта, в основном в терминальной подвздошной и толстой кишках.

БК характеризуется поражениями кишечника (т.е. воспалительными участками,

расположенными между нормальной видимой слизистой оболочкой) в любом месте желудочно-кишечного тракта и включает хроническое рецидивирующее трансмуральное воспаление, которое приводит к хронической боли в животе, диарее, непроходимости или перианальным поражениям. БК является прогрессирующей и разрушительной: 21-47% пациентов также испытывают системные экстракорпоральные проявления, которые сильно влияют на качество жизни пациентов и долгосрочные результаты, включая госпитализацию, осложнения и хирургическое вмешательство различными опасными способами. Кроме того, у половины всех пациентов с БК развиваются кишечные осложнения, такие как стриктуры или свищи, в течение 10 лет после постановки диагноза. Было обнаружено, что до 30% пациентов с КК имели повреждение кишечника на момент постановки диагноза, и половине этих пациентов требовалось хирургическое вмешательство в течение 20 лет после постановки диагноза. Хотя БК чаще всего встречается у пациентов моложе 30 лет, заболеваемость среди пожилых людей растет. Многие исследования не обнаружили половых различий в заболеваемости в западных странах, тогда как заболеваемость БК выше у мужчин, чем у женщин в азиатских популяциях [3].

Болезнь Крона возникает в результате взаимодействия генетической предрасположенности, факторов окружающей среды и микрофлоры кишечника, что нарушает иммунный ответ слизистой оболочки и нарушает барьерную функцию эпителия [4].

В западных странах курение было определено как единственный модифицируемый фактор риска БК. Курение более чем удваивает риск развития БК среди женщин (хотя и с возрастом). Курение также связано с ранним началом заболевания, необходимостью иммуносупрессии, повышенной потребностью в хирургическом вмешательстве и более высокой частотой рецидивов послеоперационного заболевания. Дисбактериоз кишечника является отличительной чертой БК, поскольку диета является фактором окружающей среды (которая изменилась за последнее десятилетие), способным повлиять на микробиоту кишечника. В частности, отношения организма-хозяина и микробиоты кишечника изменились с изменениями в составе пищи и переходом от продуктов с высоким содержанием клетчатки и низким содержанием жира к обработанным пищевым продуктам, содержащим пищевые добавки. Снижение потребления пищевых волокон, а также частые колебания между продуктами с высоким и низким

содержанием клетчатки приводят к снижению разнообразия кишечной микробиоты и развитию БК. Два проспективных исследования, проведенных в Швеции, показали, что более строгое соблюдение средиземноморской диеты может значительно снизить риск более позднего развития БК [4; 5]. Заболеваемость болезнью Крона резко возросла, поскольку страны с низким уровнем риска, такие как Япония, Китай и Индия, приняли западный образ жизни. Несмотря на высокий уровень курения, в Азии и Африке болезнь Крона встречается очень редко. И наоборот, несмотря на низкий уровень курения в странах Северной Европы, заболеваемость болезнью Крона очень высока [5].

Несколько исследований показали, что состав микробиоты кишечника может изменяться в ответ на диету. Кроме того, компоненты диеты могут влиять на эпигенетические модификации и, таким образом, вызывать длительные фенотипические изменения. Выявление сложных взаимодействий между диетой и дисбактериозом кишечника при БК может улучшить наше понимание роли диеты в патогенезе БК. Частый прием антибиотиков в детстве увеличивает риск развития БК [6]. Кроме того, есть сообщения о том, что оральные контрацептивы, аспирин и НПВП увеличивают риск БК. Факторы окружающей среды, связанные со снижением риска БК, включают то, что грудное вскармливание снижает риск БК, а статины способствуют снижению риска [7]. Поскольку потенциально связанные факторы окружающей среды различаются в разных популяциях, выборочное вмешательство по профилактике заболеваний может быть нацелено на определенные группы населения. Изменение курения, разумное использование антибиотиков, поощрение грудного вскармливания и советы по правильному питанию могут служить надежными подходами к снижению прогрессирования БК и улучшению долгосрочных результатов. Ожидаются более качественные клинические испытания, диетические вмешательства, и новые элиминационные диеты могут лучше контролировать заболевание или предотвращать осложнения [8].

По сравнению с факторами окружающей среды, был достигнут большой успех в определении геномной изменчивости, определяющей риск заболевания. Выявлена наследственность БК от поколения к поколению. У близнецов, развившихся из одной яйцеклетки, развитие БК на 50% выше, чем у ЯК. Около 12% пациентов имеют семейный анамнез болезни Крона [9]. Исследования геномных ассоциаций выявили более

200 аллелей, связанных с воспалительными заболеваниями кишечника, 37 из которых специфичны для болезни Крона. Только 13,1% наследования болезни объясняется наследственной изменчивостью, что подчеркивает важность эпигенетических и других негенетических факторов окружающей среды. Несмотря на все достижения, одна только генетика не может объяснить вариации и фенотипы заболевания, и поэтому генетическая оценка не используется в клинической практике [10]. После основополагающего открытия в 2001 году изменения кодирования гена рецептора внутриклеточного распознавания образов *nod2* (также известного как *CARD15*), избирательно связанного с риском БК, более 200 локусов, связанных с БК, были идентифицированы у более чем 70 000 человек. Большинство небольших очагов риска КК имеют общие черты с широким спектром иммуномедиационных заболеваний. Важно отметить, что большая часть общего наследственного риска объясняется изменениями в нескольких локусах, включая ген аутофагии *nod2* и *atg16l1* (оба специфичны для CD) и ген рецептора *IL-23 il23r* (который увеличивает риск КК и ЯК) [11].

Метагеномные исследования показывают, что четыре основных типа бактерий (*Bacteroidetes*, *Firmicutes*, *Actinobacteria* и *Proteobacteria*), состоящие в основном из тысяч анаэробных видов, колонизируют кишечник человека с вертикальным проксимально-дистальным градиентом, контролируемым желудочной кислотой. Разнообразие типов в кишечнике также обычно зависит от временных, индивидуальных, диетических и лекарственных факторов. Однако изменчивость здоровой микробиоты кишечника в целом стратифицирована и не является непрерывной. Сравнительные исследования показали снижение кластеризации и разнообразия у пациентов с болезнью Крона, особенно у *Firmicutes* и *Bacteroides filia*. Это было связано с повышенным риском послеоперационного рецидива болезни Крона подвздошной кишки, и ее экспериментальное выздоровление имело противовоспалительный эффект. Болезнь Крона не только связана с уменьшением комменсального разнообразия, но и требует чувствительного генотипа – соответствующие мутации восприимчивости были подтверждены исследованиями на мышах с людьми [12].

Примерно одна треть пациентов с БК страдала заболеванием толстой кишки, одна треть – илеоколоническим заболеванием, а одна треть – заболеванием тонкой кишки. Распространенность поражения верх-

них отделов желудочно-кишечного тракта при БК значительно варьируется в зависимости от исследования. Первоначально считалось, что поражение верхних отделов желудочно-кишечного тракта имеет низкую распространенность (0,3-5%), но за последние два десятилетия была зарегистрирована более высокая распространенность (30-75%) [13]. «Поражение верхних отделов желудочно-кишечного тракта» относится к поражению пищевода, желудка, двенадцатиперстной кишки и тощей кишки по отдельности или в сочетании с другими участками. До трети пациентов имеют стриктурные или проникающие кишечные осложнения на момент постановки диагноза, а половина всех пациентов испытывают кишечные осложнения в течение 20 лет после постановки диагноза. Подавляющее большинство пациентов (40%) имеют повреждение кишечника в течение 1 года после постановки диагноза. Лечение иммуномодуляторами или антагонистами TNF в течение первых 2 лет после постановки диагноза снижает риск развития стриктуры кишечника по сравнению с началом лечения этими препаратами более 2 лет после постановки диагноза. Кроме того, раннее лечение иммуномодуляторами снижает риск хирургического вмешательства на кишечнике, перианальной хирургии и любых осложнений [14].

Симптомы могут быть скрытыми, неспецифическими и зависеть от локализации и тяжести заболевания. У некоторых пациентов симптомы могут проявляться годами до постановки диагноза БК. Диарея и боль в животе являются основными симптомами, о которых сообщают пациенты с БК [15]. Другие симптомы включают усталость, потерю веса, лихорадку, анемию и повторяющиеся свищи или другие перианальные образования (язвы или трещины). Непроходимость кишечника у пациентов с ригидностью приводит к отсутствию дефекации, что может привести к гиперактивным звукам кишечника, тошноте и рвоте. Свищи или абсцессы могут быть проявлением проникающего заболевания. При наличии абсцесса у пациентов могут наблюдаться системные симптомы, такие как лихорадка и озноб. Симптомы, вызванные свищами, зависят от местоположения свища: в случае энтероэнтеритных свищей может возникать такой симптом, как диарея, в случае энтеровезикулярных (между кишечником и мочевым пузырем) или энтероуретеральных свищей – инфекции мочевыводящих путей. Симптомы похожи у пациентов с ранним началом БК и у пациентов с поздним началом БК, но есть некоторые различия [16].

Основная цель исследования – создание экспериментальной модели болезни Крона в лабораторных условиях и анализ изменений в ней морфофункциональных показателей.

**Материалы и методы исследования**

Для проведения исследований использовались беспородные белые крысы обоих полов весом 165-200 граммов в возрасте 2-3 месяцев. Их кормили нормальной пищей. Каждую группу держали отдельно. Помещение, в котором содержались животные, содержали при температуре 20-28°C и влажности 50%. Всего было использовано 30 беспородных белых крыс. Одну группу крыс содержали в отдельной комнате для контроля, оставшейся группе крыс вводили ректально по 2 мл 4%-ного раствора уксусной кислоты. Через 24-48 часов животных забивали, определяли и сравнивали количество белков, жиров, углеводов в крови и кишечнике.

Через 24-48 часов с момента введения в стенке толстой кишки наблюдаются следующие изменения: нейтрофильная инфильтрация кишечной стенки, некроз слизистой и подслизистой оболочек, расширение сосудов, слой опухоли подслизистой оболочки и язвы. Также недостатком применения уксусной кислоты является то, что у подопытных животных наблюдается значительная частота летального исхода из-за перфорации стенки кишечника, значительное кровотечение и развитие перитонита.

*Анализ крови у крыс с экспериментальной болезнью Крона.* Белок был идентифицирован в крови после того, как была получена экспериментальная модель болезни

Крона: крысы, инфицированные болезнью Крона, были признаны первой группой, а белок в крови крыс, дважды инфицированных болезнью Крона, – второй группой.

При анализе результатов выяснилось, что в контрольной группе средний показатель составил 13,044 г/л, в первой группе – 3,798 г/л, во второй – 20,524 г/л. Отмечено, что в группе с болезнью Крона было обнаружено снижение уровня белка на 70%. Предполагалось, что это результат полного нарушения всасывания в кишечнике. Однако в группе с двойной болезнью Крона наблюдалось увеличение общего белка в крови на 36,44% по сравнению с контрольной группой. Сделан вывод, что при обострении заболевания в 2 раза происходит апоптоз в клетках, повышение уровня белка в крови за счет усиления иммунологических реакций (рис. 1).

Углеводы были идентифицированы в крови после того, как была создана экспериментальная модель Крона: крысы, инфицированные болезнью Крона, были классифицированы как первая группа, а углеводы в крови крыс, дважды инфицированных болезнью Крона, были классифицированы как вторая группа.

При анализе результатов выяснилось, что в контрольной группе средний показатель составил 1,492 ммоль/л, в первой группе – 1,408 ммоль/л, во второй – 0,874 ммоль/л. Однократное снижение потребления углеводов на 5,63% было обнаружено в группе с болезнью Крона. Однако в группе с двойной болезнью Крона наблюдалось снижение потребления углеводов на 41,4% (рис. 2).

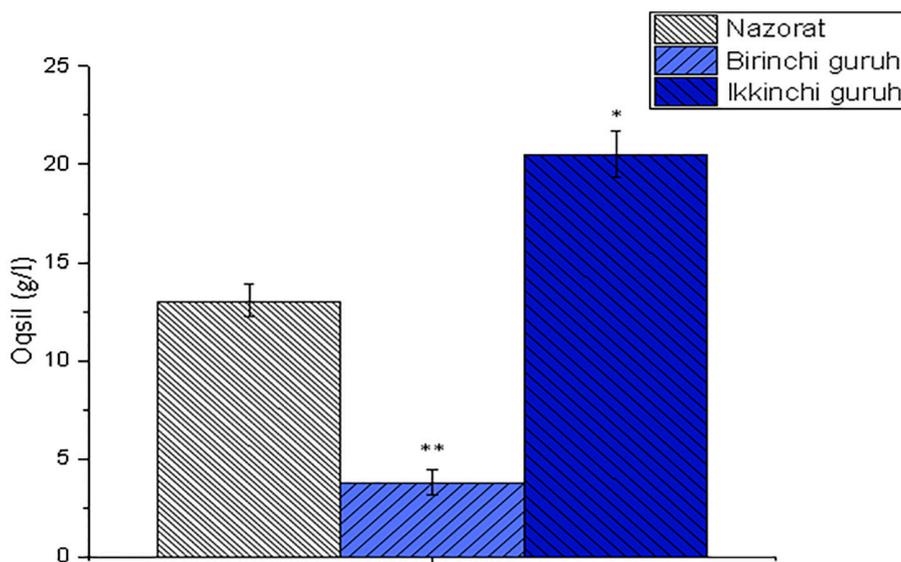


Рис. 1. Количество белка, определенное в крови крысы в экспериментальной модели  
Примечание: \* –  $p < 0,05$ ; \*\* –  $p < 0,01$ ; \*\*\* –  $p < 0,001$ .

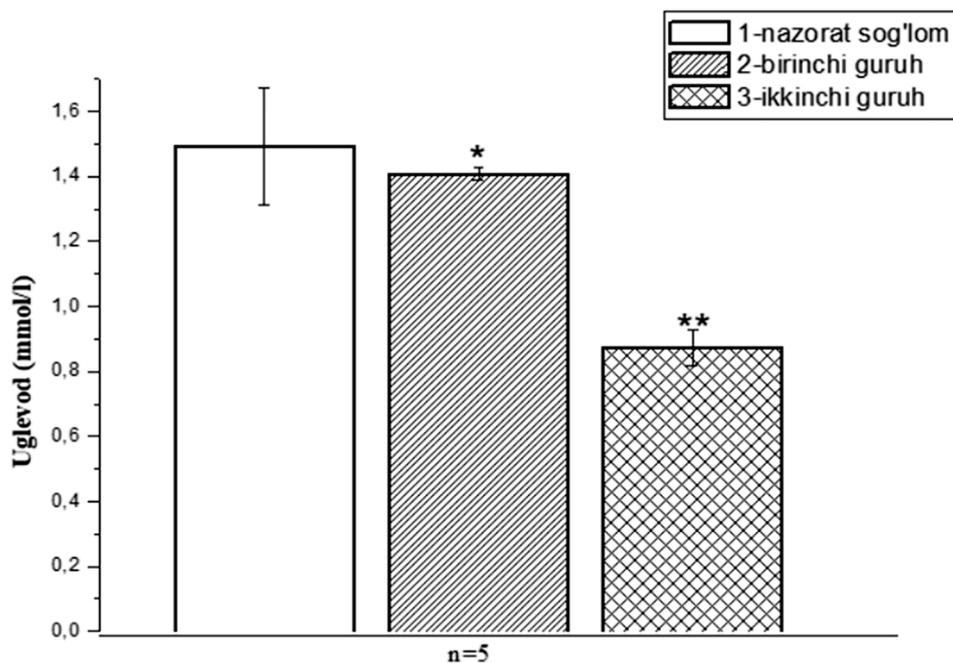


Рис. 2. Количество углеводов, определенное в крови крысы в экспериментальной модели  
Примечание: \* –  $p < 0,05$ ; \*\* –  $p < 0,01$ ; \*\*\* –  $p < 0,001$ .

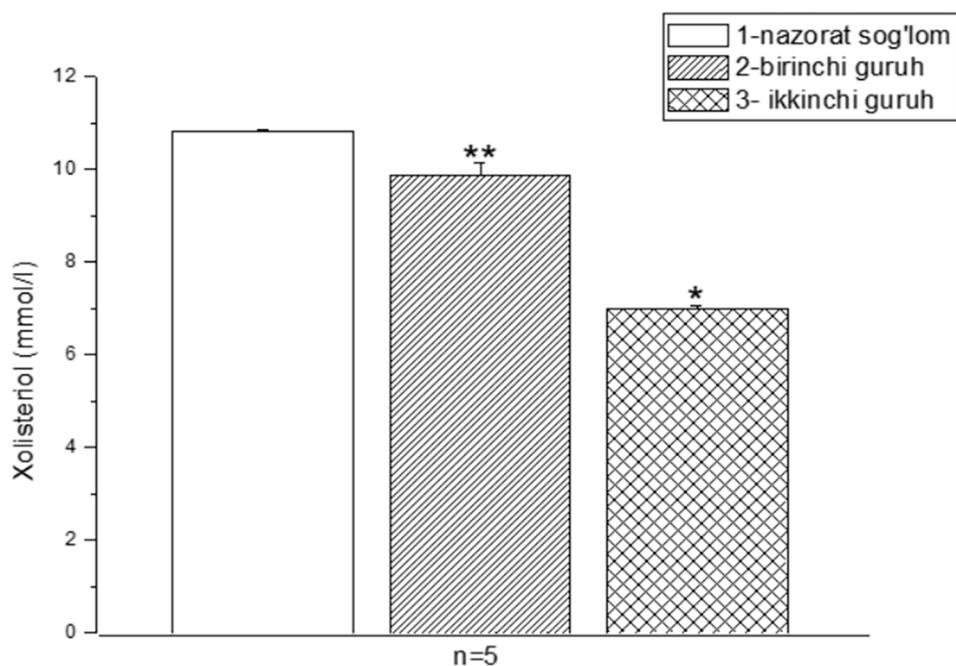


Рис. 3. Количество холестерина, определенное в крови крысы в экспериментальной модели  
Примечание: \* –  $p < 0,05$ ; \*\* –  $p < 0,01$ ; \*\*\* –  $p < 0,001$ .

Когда была создана экспериментальная модель Крона, в крови был обнаружен холестерол: крысы, инфицированные болезнью Крона, были признаны первой группой, а кровь крыс, дважды инфицированных болезнью Крона, содержала холестерин – вторая группа.

При анализе результатов выяснилось, что в контрольной группе средний показатель составил 10,83 ммоль/л, в первой группе – 9,872 ммоль/л, во второй – 7,002 ммоль/л. Однажды было обнаружено, что в группе с болезнью Крона уровень холестерина снизился на 8,84%. Однако

в группе, у которой было два случая болезни Крона, уровень холестерина снизился на 35,3% (рис. 3).

После создания экспериментальной модели Крона белок был идентифицирован в крови путем коррекции биологически

активными веществами: первой группой были признаны крысы, инфицированные Кронем, с коррекцией тканевыми пептидами, а второй группой – крысы с белком в крови, с коррекцией тканевыми пептидами и дигидрокверцитином.

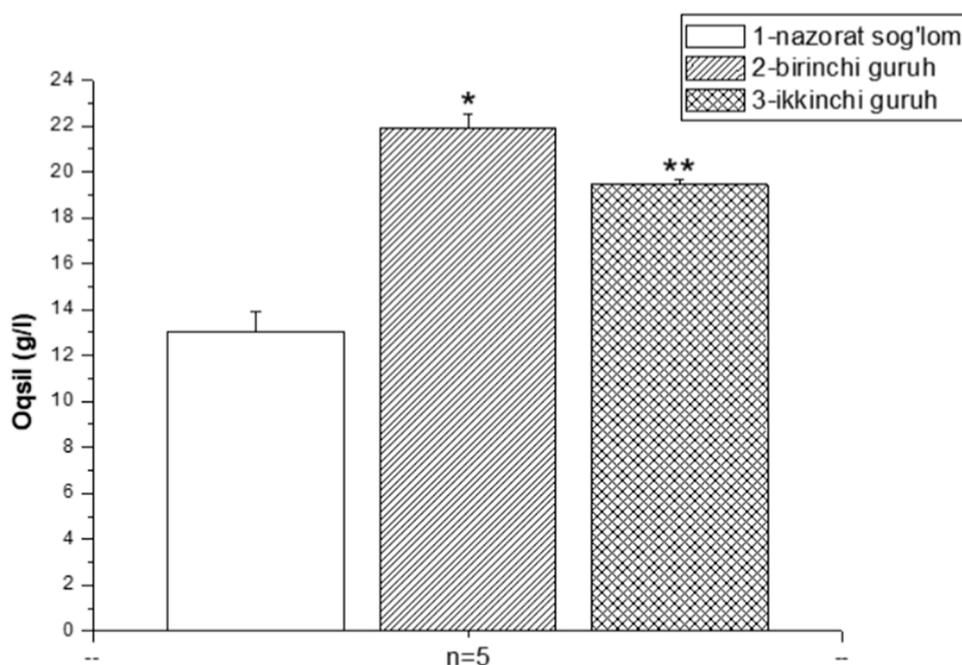


Рис. 4. Количество белка, обнаруженного в крови крыс в экспериментальной модели, было скорректировано тканевыми пептидами и дигидрокверцитином  
Примечание: \* –  $p < 0,05$ ; \*\* –  $p < 0,01$ ; \*\*\* –  $p < 0,001$ .

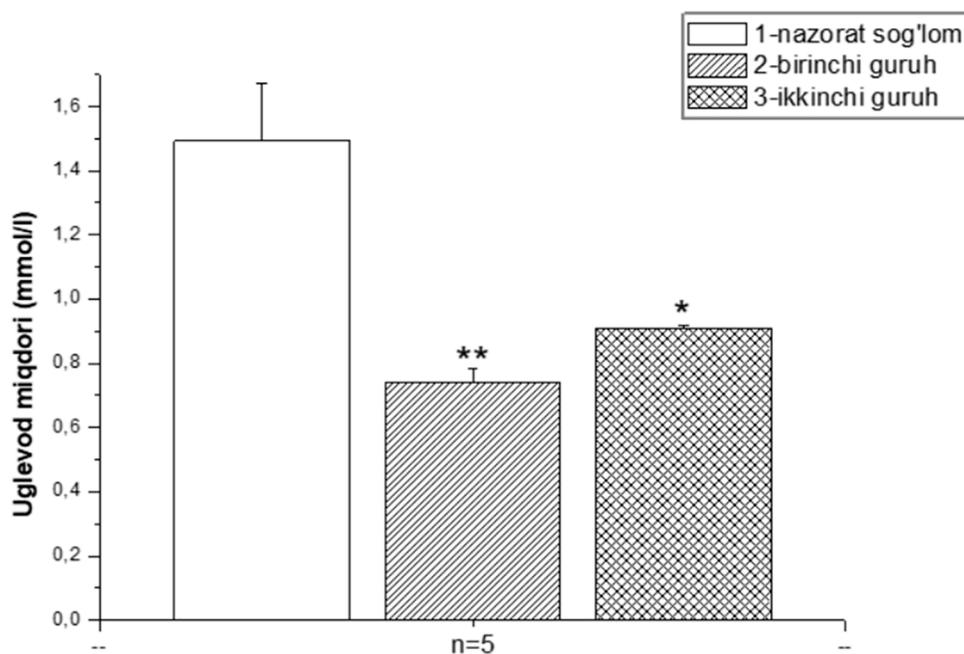


Рис. 5. Количество углеводов, обнаруженных в крови крыс в экспериментальной модели, было скорректировано тканевыми пептидами и дигидрокверцитином  
Примечание: \* –  $p < 0,05$ ; \*\* –  $p < 0,01$ ; \*\*\* –  $p < 0,001$ .

При анализе результатов выяснилось, что в контрольной группе средний показатель составил 13,044 г/л, в первой группе – 21,908 г/л, во второй – 19,44 г/л. В группе, инфицированной болезнью Крона и получавшей коррекцию тканевыми пептидами, было обнаружено увеличение уровня белка на 40,5%. Однако в группе с болезнью Крона, получавшей тканевые пептиды и коррекцию дигидрокверцитином, наблюдалось увеличение уровня белка на 32,9% (рис. 4).

Как только экспериментальная модель Крона была получена, углеводы были идентифицированы в крови путем коррекции биологически активными веществами: первой группой были признаны крысы, инфицированные болезнью Крона, с коррекцией тканевыми пептидами, а второй группой – углеводы в крови крыс, с коррекцией тканевыми пептидами и дигидрокверцитином.

При анализе результатов выяснилось, что в контрольной группе средний показатель составил 1,492 ммоль/л, в первой группе – 0,74 ммоль/л, во второй – 0,91 ммоль/л. В группе с болезнью Крона и коррекцией тканевых пептидов было обнаружено снижение уровня углеводов на 50,4%. Однако в группе с болезнью Крона, получавшей тканевые пептиды и дигидрокверцитин, наблюдалось снижение потребления углеводов на 39% (рис. 5).

После создания экспериментальной модели Крона холестерин был определен в крови путем коррекции биологически активными веществами: первой группой были признаны крысы, инфицированные Кроном, с коррекцией тканевыми пептидами, а второй группой – холестерин в крови крыс, с коррекцией тканевыми пептидами и дигидрокверцитином.

При анализе результатов выяснилось, что в контрольной группе средний показатель составил 10,83 ммоль/л, в первой группе – 9,472 ммоль/л, во второй – 8,984 ммоль/л.

В группе с болезнью Крона и коррекцией тканевыми пептидами было обнаружено снижение уровня холестерина на 12,54%. Однако в группе с болезнью Крона, получавшей тканевые пептиды и коррекцию дигидрокверцитином, уровень холестерина снизился на 17% (рис. 6).

#### Результаты гистологического исследования

Для гистологического подтверждения изменений в тканях и происхождения модели при индуцировании хронических воспалительных заболеваний кишечника у крыс в условиях эксперимента брали образцы тканей и сравнивали их морфофункциональное состояние.

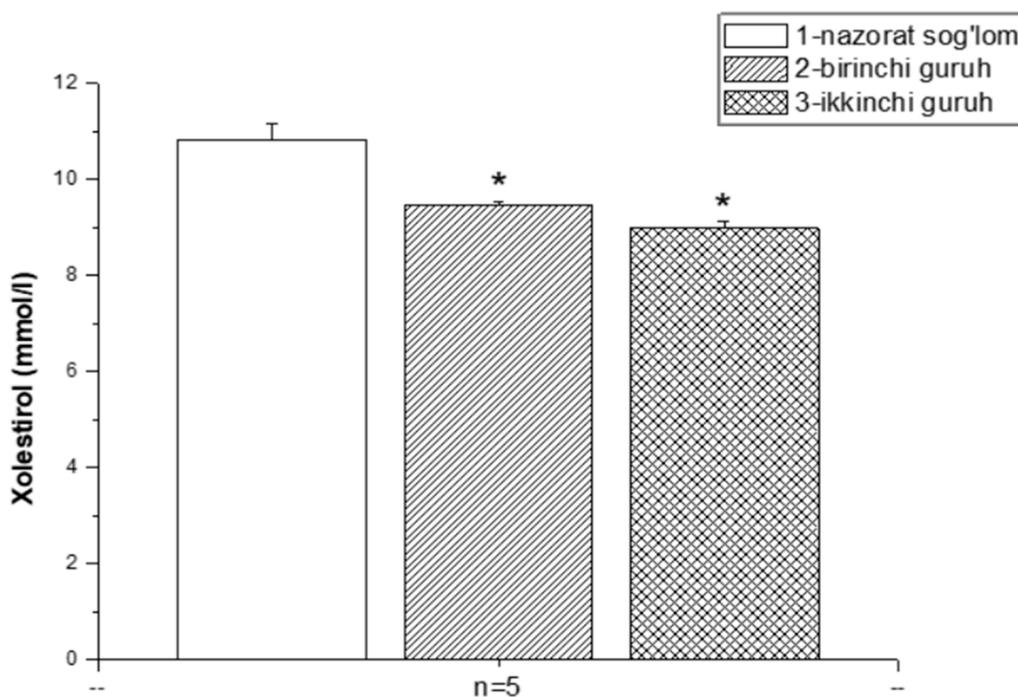


Рис. 6. Уровни холестерина, обнаруженные в крови крыс в экспериментальной модели, были скорректированы тканевыми пептидами и дигидрокверцитином  
Примечание: \* –  $p < 0,05$ ; \*\* –  $p < 0,01$ ; \*\*\* –  $p < 0,001$ .

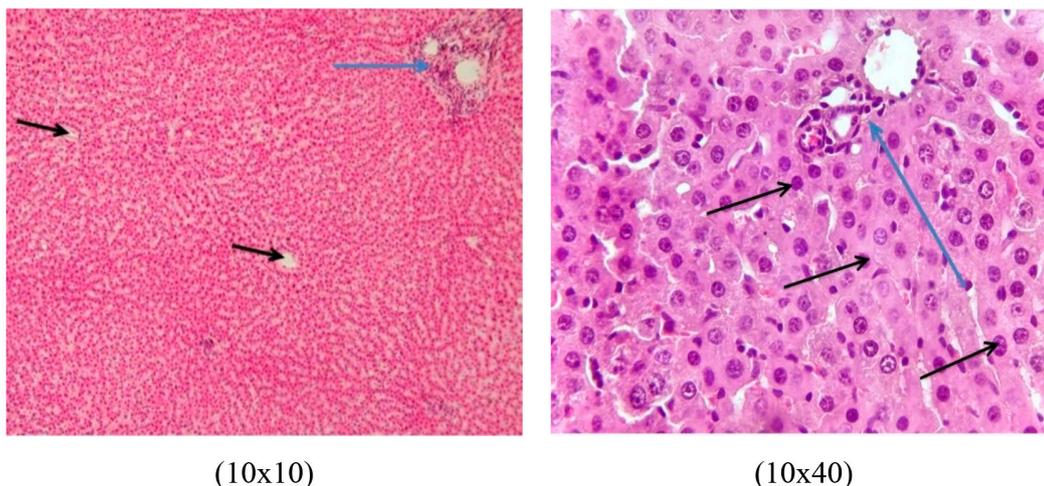


Рис. 7. Гистология ткани печени здоровой крысы (контрольная группа): а – венозное полнокровие в кровеносных сосудах отсутствует (показано черной стрелкой); б – ситоархитектоника печеночной триады (показано синей стрелкой); с – отсутствие очагов некробиоза в гепатоцитах; д – отсутствие структурных нарушений в ситоархитектонике печеночной триады. Окраска гематоксилином и эозином. X: 10x10

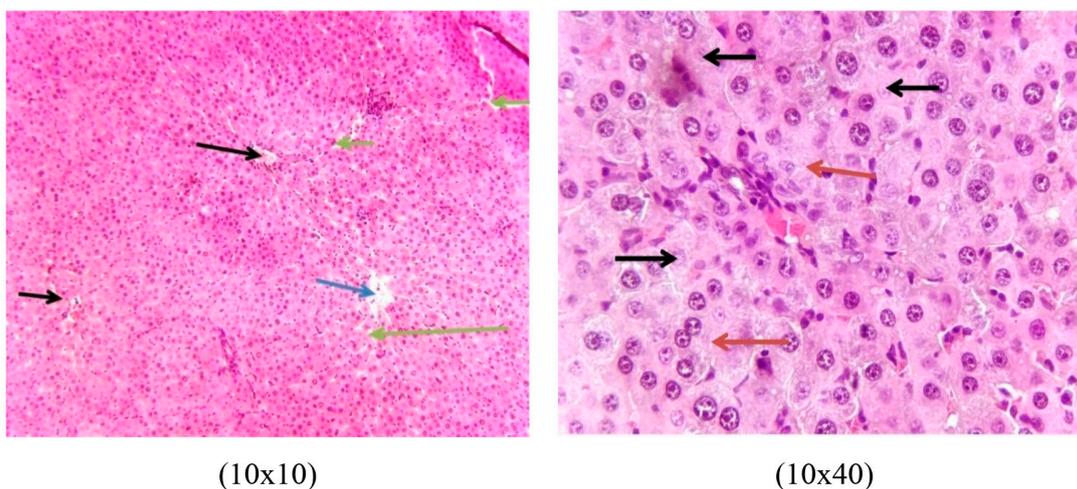


Рис. 8. Гистология ткани печени больной крысы: а – венозное полнокровие в венозных кровеносных сосудах (показано синей стрелкой); б – спазм и внутрисосудистый гемостаз в артериальных кровеносных сосудах (показано черной стрелкой); с – расширение синусоидальных пространств и области вокруг печеночной триады, что обычно наблюдается при острых или хронических интоксикациях (показано зеленой стрелкой); д – многочисленные очаги некробиоза в гепатоцитах: кариопикноз, кариорексис, кариолизис ядер клеток (показано черной стрелкой); е – общие дистрофические (метаболические) изменения (показано красной стрелкой). Окраска гематоксилином и эозином. X: 10x10

Гистология ткани печени здоровой крысы показывает сохранность структуры кровеносных сосудов и функциональное состояние печени без признаков венозного полнокровия. Печеночная триада имеет нормальную ситоархитектонику. Гепатоциты имеют овальную форму, ядро круглой формы расположено в центре клетки. Синусоидальные капилляры слегка расширены, пространства Диссе не видны. Количество

гепатоцитов велико, очаги некробиоза отсутствуют (рис. 7).

Гистология ткани печени крысы с хронической экспериментальной моделью болезни Крона показывает венозное полнокровие в венозных сосудах, спазм и внутрисосудистый гемостаз в артериальных сосудах. Гистологические препараты показывают дезорганизацию печеночных балок. Наблюдается расширение синусоидальных

пространств, что характерно для острых или хронических воспалений. В гепатоцитах присутствуют многочисленные очаги некробиоза. В ядрах клеток наблюдаются процессы kariопикноза, kariорексиса и kariолиза (рис. 8).

В легких здоровой крысы капилляры содержат нормальные клетки крови (эритроциты и лейкоциты). Альвеолы симметричные, в их стенке макрофаги или эпителии не обнаружены (рис. 9).

При исследовании ткани легкого крысы с хронической экспериментальной болез-

нью Крона был выявлен лизис множества эритроцитов и процессы лейкоцитоза. Альвеолы располагались асимметрично, эпителий на внутренней стенке был передвинут, выявлены эритроциты. Обнаружены признаки отека легкого (рис. 10).

У здоровой крысы кишечник в нормальном состоянии состоит из слизистой и мышечной оболочек. Кишечные ворсинки в норме, гранулемы не видны. Макрофагальная и лимфоцитарная инфильтрация не наблюдается. Состояние распада (эрозии) кишечника не установлено (рис. 11).

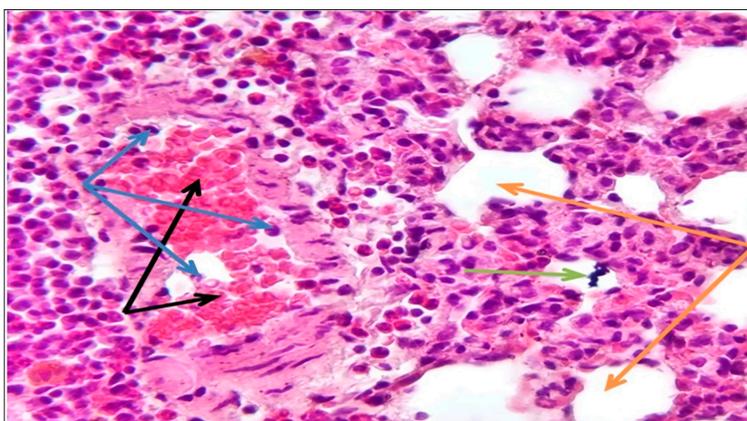


Рис. 9. Гистология ткани легкого здоровой крысы: а – нормальные клетки крови в капиллярах легкого: эритроциты (обозначены черной стрелкой) и лейкоциты (обозначены синей стрелкой); б – альвеолы симметричные, макрофаги или эпителии в стенке не обнаружены; в – артефакт (частицы пыли, попавшие на препарат при подготовке или фотографировании под микроскопом, обозначены зеленой стрелкой). Окраска гематоксилином и эозином. X: 10x40

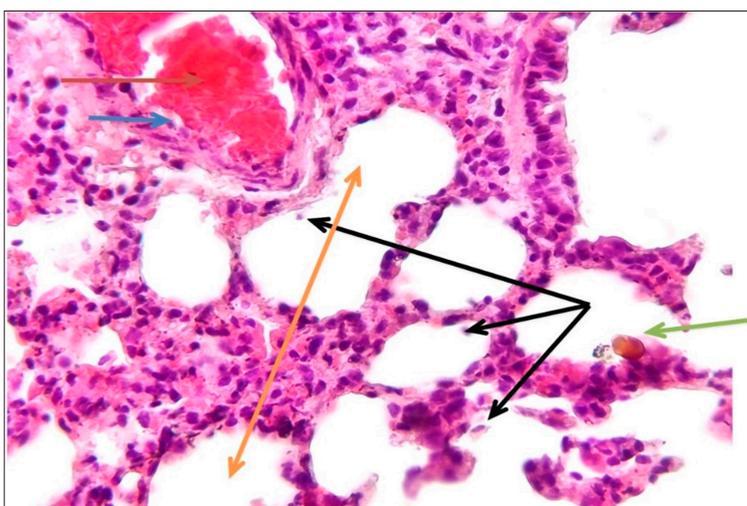


Рис. 10. Гистология ткани легкого больной крысы: а – нормальные клетки крови в капиллярах легкого: лизис множества эритроцитов (обозначено красной стрелкой) и снижение количества лейкоцитов (обозначено синей стрелкой); б – альвеолы асимметричны, десквамация (слущивание) эпителиа на внутренней стенке (обозначено черной стрелкой) и обнаружение эритроцитов (обозначено зеленой стрелкой); в – признаки отека легкого (обозначено коричневой стрелкой). Окраска гематоксилином и эозином. X: 10x40

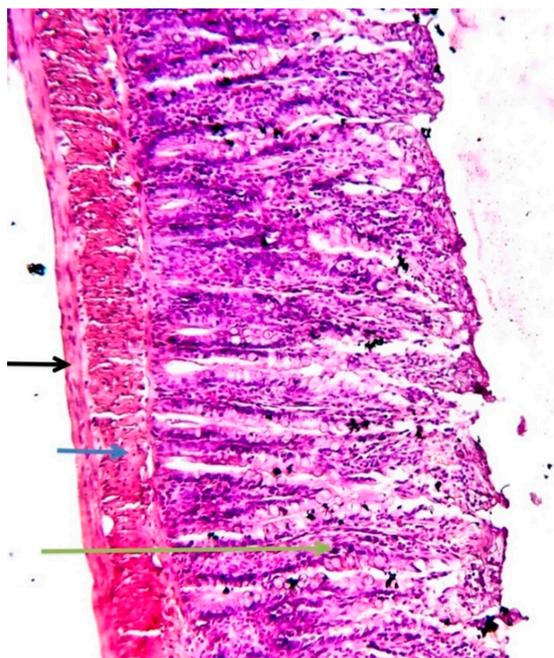


Рис. 11. Гистология кишечника здоровой крысы. Кишечник в нормальном виде: а – слизистая оболочка (черная стрелка); б – мышечный слой (синяя стрелка); в – ворсинки (зеленая стрелка). Красители гематоксилин и эозин. X: 10x10



Рис. 12. Гистология кишечника больной крысы: а – макрофагальная и лимфоцитарная инфильтрация подслизистого слоя (обозначено черной стрелкой); б – разрушение ворсинок и образование гранулем (обозначено синей стрелкой); в – эрозия слизистой оболочки кишечника (обозначено зеленой стрелкой). Окраска гематоксилином и эозином. X: 10x10

При исследовании гистологических препаратов кишечника крысы с хронической экспериментальной болезнью Крона была выявлена макрофагальная и лимфоцитарная инфильтрация подслизистого слоя. Ворсинки стенки кишечника разрушены, образованы гранулемы. Обнаружена эрозия слизистой оболочки кишечника (рис. 12).

### Заключение

В экспериментальной модели болезни Крона из-за изменений во всасывании пищеварительной системы масса тела уменьшилась в среднем в 2,3 раза. У крыс первой группы, которым была вызвана болезнь Крона, содержание белка в крови по сравнению с показателями у здоровых крыс уменьшилось в 3,4 раза, уровень глюкозы снизился на 44%, а при корректирующем воздействии дигидрокверцетина и тканевых пептидов уровень холестерина увеличился на 13,5%, углеводов на 26,7%, белка на 42,8%.

Модель считалась успешно воспроизведенной, так как у крыс с экспериментальной моделью болезни Крона были обнаружены все гистологические признаки, отсутствующие у здоровых крыс.

### Список литературы

1. Roda G. Crohn's disease // Nature Reviews Disease Primers. 2020. Vol. 6, № 1. P. 22-30.
2. Torres J. Crohn's disease // The Lancet. 2017. Vol. 389, № 10080. P. 1741-1755.
3. Fiorino G. Preventing collateral damage in Crohn's disease: the Lémann index // Journal of Crohn's and Colitis. 2016. Vol. 10, № 4. P. 495-500.
4. Ananthakrishnan A.N, Charles N.B., Dimitrios I., Andrew M., Markus F.N., Raja A.R., Stephan R.V., Claudio F. Environmental triggers in IBD: a review of progress and evidence // Nature reviews Gastroenterology & hepatology. 2018. Vol. 15, № 1. P. 39-49.
5. Levine A., Boneh R. S., Wine E. Evolving role of diet in the pathogenesis and treatment of inflammatory bowel diseases // Gut. 2018. Vol. 67, № 9. P. 1726-1738.
6. Khalili H., Niclas H., Simon S.Ch., Ye Ch., Paul L., Jonas F.L., Andrew T.Ch., Andrew R.H., Ola O., Alicja W. Adherence to a Mediterranean diet is associated with a lower risk of later-onset Crohn's disease: results from two large prospective cohort studies // Gut. 2020. Vol. 69, № 9. P. 1637-1644.
7. Ananthakrishnan A.N. Epidemiology and risk factors for IBD // Nature reviews Gastroenterology & hepatology. 2015. Vol. 12, № 4. P. 205-217.
8. Ng S.C. Environmental risk factors in inflammatory bowel disease: a population-based case-control study in Asia-Pacific // Gut. 2015. Vol. 64, № 7. P. 1063-1071.
9. Kaplan G. G., Nug S. C. Globalisation of inflammatory bowel disease: perspectives from the evolution of inflammatory bowel disease in the UK and China // The lancet Gastroenterology & hepatology. 2016. Vol. 1, № 4. P. 307-316.
10. Daniele P., Silvio D., Laurent P.B., Georgios K.N., Theodore L., Stefanos B. Environmental risk factors for inflammatory bowel diseases: an umbrella review of meta-analyses // Gastroenterology. 2019. Vol. 157, № 3. P. 647-659.

11. Ortizo R.L., Stephanie Y.N., Emily T.J., Mohammad M., Bechtold M., Nguyen M., Douglas L. Exposure to oral contraceptives increases the risk for development of inflammatory bowel disease: a meta-analysis of case-controlled and cohort studies // *European journal of gastroenterology & hepatology*. 2017. Vol. 29, № 9. P. 1064-1070.
12. Levine A., Boneh R.S., Wine E. Evolving role of diet in the pathogenesis and treatment of inflammatory bowel diseases // *Gut*. 2018. Vol. 67, № 9. P. 1726-1738.
13. Khalili H., Niclas H., Simon S.Ch., Ye Ch., Paul L., Jonas F.L., Andrew T., Chan Andrew R.H., Ola O., Alicja W. Adherence to a Mediterranean diet is associated with a lower risk of later-onset Crohn's disease: results from two large prospective cohort studies // *Gut*. 2020. Vol. 69, № 9. P. 1637-1644.
14. Nicole G., Talya M., David S., Dale L. A review of dietary therapy for IBD and a vision for the future // *Nutrients*. 2019. Vol. 11, № 5. P. 947.
15. Moninuola O.O., Milligan W., Lochhead P., Khalili H. Systematic review with meta-analysis: association between acetaminophen and nonsteroidal anti-inflammatory drugs (NSAID s) and risk of Crohn's disease and ulcerative colitis exacerbation // *Alimentary pharmacology & therapeutics*. 2018. Vol. 47, № 11. P. 1428-1439.
16. Moller M., Frederik T., Andersen M., Vibeke M., Wohlfahrt J., Jess T. Familial risk of inflammatory bowel disease: a population-based cohort study 1977–2011 // *Official journal of the American College of Gastroenterology ACG*. 2015. Vol. 110, № 4. P. 564-571.

## НАУЧНЫЙ ОБЗОР

УДК 664.8:57

**ВЛИЯНИЕ ЭЛЕКТРОЛИЗОВАННОЙ ВОДЫ НА КАЧЕСТВО И БЕЗОПАСНОСТЬ ПЛОДООВОЩНОГО СЫРЬЯ****Бурак Л.Ч.***ООО «Белросаква», Минск, e-mail: leonidburak@gmail.com*

Цель исследования – характеристика процесса получения электролизованной воды, преимущества и недостатки, а также ее потенциальное применение для удаления остатков пестицидов и микроорганизмов с поверхности овощей и фруктов. В обзор включены статьи, опубликованные на английском и русском языках за 2005–2024 гг. Поиск научной литературы на английском языке по данной теме проводился по ключевым словам в библиографических базах Scopus и Web of science. Для отбора научных статей на русском языке провели поиск по ключевым словам в Научной электронной библиотеке eLIBRARY.RU. При выполнении работы использованы такие научные методы, как поиск и скрининг научной литературы, извлечение данных, их анализ, систематизация и обобщение. Обзор результатов исследований показал, что электролизованная вода не только удаляет микроорганизмы и остатки пестицидов из овощей и фруктов, но также способствует улучшению качества плодоовощного сырья после сбора урожая. Использование обработки овощей и фруктов электролизованной водой целесообразно благодаря ее экологичности, высокоэффективной стерилизации, низкой цене и простоте производства. Основным применением электролизованной воды в пищевой промышленности является снижение и инактивация патогенов на пищевом оборудовании и посуде, морепродуктах, мясе птицы и свежих овощах и фруктах, а также предотвращение болезней сельскохозяйственных культур. Тенденция промышленного внедрения метода обработки электролизованной водой растительного сырья имеет положительную динамику. Для дальнейшего улучшения антибактериального действия электролизованной воды необходимо продолжать исследования по ее комбинированному использованию с другими методами обработки, такими как озонирование, кратковременный нагрев и ультразвук, холодная плазма и др.

**Ключевые слова:** овощи, фрукты, электролизованная вода, качество, пестициды, бактерии, дезинфекция, антимикробная активность

**INFLUENCE OF ELECTROLYZED WATER ON THE QUALITY AND SAFETY OF FRUIT AND VEGETABLE RAW MATERIALS****Burak L.Ch.***LLC Belrosakva, Minsk, e-mail: leonidburak@gmail.com*

The aim of the study is to characterize the process of obtaining electrolyzed water, its advantages and disadvantages, as well as its potential application for removing pesticide residues and microorganisms from the surface of vegetables and fruits. The review includes articles published in English and Russian for 2005–2024. The search for scientific literature in English on this topic was carried out using keywords in the Scopus and Web of Science bibliographic databases. To select scientific articles in Russian, a search was conducted using keywords in the Scientific Electronic Library eLIBRARY.RU. When performing the work, scientific methods were used: searching and screening of scientific literature, data extraction, analysis, systematization and generalization. A review of the research results showed that electrolyzed water not only removes microorganisms and pesticide residues from vegetables and fruits, but also helps to improve the quality of fruit and vegetable raw materials after harvesting. The use of electrolyzed water for treating vegetables and fruits is advisable due to its environmental friendliness, highly effective sterilization, low cost and ease of production. The main application of electrolyzed water in the food industry is the reduction and inactivation of pathogens on food equipment and utensils, seafood, poultry and fresh vegetables and fruits, as well as the prevention of diseases of agricultural crops. The trend towards industrial implementation of the method of processing plant raw materials with electrolyzed water has positive dynamics. To further improve the antibacterial effect of electrolyzed water, it is necessary to continue research on its combined use with other treatment methods, such as ozonation, short-term heating and ultrasound, cold plasma and others.

**Keywords:** vegetables, fruits, electrolyzed water, quality, pesticides, bacteria, disinfection, antimicrobial activity

**Введение**

Сведения о составе продуктов питания, отсутствии в них химических консервантов, использовании в процессе переработки современных технологий, позволяющих максимально сохранять пищевую ценность продукта, свежесть вкуса и аромата, привлекает потребителей и во многом определяет их покупательскую способность [1]. Фрукты и овощи играют ключевую роль в питании человека благодаря наличию многих

биологически активных соединений и питательной ценности. Плодоовощное сырье является важным ресурсом, оказывающим профилактическое действие, поскольку способствует предотвращению таких заболеваний, как болезни глаз, ожирение, сердечно-сосудистые заболевания, остеопороз и некоторые виды рака [2]. Однако свежие фрукты и овощи в процессе выращивания, транспортировки, хранения и продажи подвержены микробному загрязнению бакте-

риями и патогенными микроорганизмами, содержащимися в почве, воде и других средах. Присутствие этих микроорганизмов вызывает вспышки болезней пищевого происхождения и порчу растительного сырья. За последние два десятилетия отмечается рост числа заболеваний пищевого происхождения, связанных с употреблением зараженных овощей и фруктов. Согласно статистике Центра по контролю и профилактике заболеваний (CDC), около 48 млн чел. в США ежегодно страдают от болезней пищевого происхождения, из них 3000 чел. умирают [3]. По оценкам Продовольственной и сельскохозяйственной организации Объединенных Наций (ФАО) около 20–40% послеуборочного плодовоовощного сырья теряется из-за гниения, вызванного гнилостными бактериальными инфекциями. Кроме того, остатки пестицидов являются еще одним ключевым фактором, влияющим на качество свежих фруктов и овощей. Химические технологии, например дезинфекция, и физические, такие как термическая обработка, применяют с целью сохранения и обеспечения безопасности растительного сырья. Качество собранного растительного сырья также зависит от предуборочных факторов, включая агротехнические приемы. С этой целью в процессе сельскохозяйственного производства овощей и фруктов широко используют пестициды [4]. Неправильное использование пестицидов не только приводит к образованию отходов, но и загрязняет сельскохозяйственную продукцию и окружающую среду. Пестициды обладают экологической стабильностью, способностью к биоаккумуляции и токсичностью.

Длительное потребление растительного сырья, содержащего остатки пестицидов, оказывает неблагоприятное воздействие на здоровье человека, вызывая хронические заболевания, нарушения репродуктивной функции и клеточную дисплазию [5]. Эти неблагоприятные последствия будут усугубляться повышенным спросом на свежие овощи и фрукты, поэтому необходимы исследования в области технологий контроля микробиологической обсемененности и пестицидов в растительном сырье для снижения биологической и химической опасности [6]. Свежие фрукты и овощи, собранные на сельскохозяйственных угодьях, перед отправкой на хранение в холодильник должны быть тщательно очищены. Для удаления микроорганизмов и остатков пестицидов с поверхности послеуборочного растительного сырья обычно используют водопроводную воду. Однако, поскольку водопроводная вода сама по себе содержит микроорганизмы, а многие пестициды являются

гидрофобными, провести очистку водой затруднительно и неэффективно. В настоящее время для удаления микроорганизмов и остатков пестицидов из овощей и фруктов применяются многие методы, такие как традиционные термические методы, химические реагенты, озон ( $O_3$ ), ультрафиолетовое (УФ) облучение и ультразвук (US) [4, 6]. Вместе с тем традиционная термическая обработка обычно приводит к разрушению питательных веществ и ухудшению текстуры. Обработка с использованием хлора сопряжена с риском образования вредных побочных продуктов, таких как тригалометаны, которые угрожают здоровью потребителей [4, 7]. Озон и УФ-облучение вызывают неблагоприятные изменения сенсорных характеристик и потерю питательных веществ, а обработка ультразвуком (US) имеет такие недостатки, как высокая стоимость и негативное влияние для слуховую систему человека [4, 6, 8]. Поэтому для решения вышеуказанных проблем необходимы безопасные и эффективные альтернативные методы обработки. Недавние исследования доказали, что электролизованная вода (ЭВ) не только удаляет микроорганизмы и остатки пестицидов из овощей и фруктов, но также способствует улучшению качества плодовоовощного сырья после сбора урожая. ЭВ привлекает широкое внимание предприятий пищевой промышленности благодаря своим преимуществам, таким как экологичность, высокоэффективная стерилизация, низкая цена и простота производства. Концепция технологии электролизованной воды была разработана и предложена учеными России, где изначально применялась для обеззараживания воды и стерилизации медицинского оборудования. Со временем данный способ обработки начали использовать в таких областях, как животноводство, сельское хозяйство и пищевая промышленность. Основным применением ЭВ в пищевой промышленности является снижение и инаktivация патогенов на пищевом оборудовании и посуде, морепродуктах, мясе птицы и свежих овощах и фруктах, а также предотвращение болезней сельскохозяйственных культур. **Цель данного исследования** – характеристика процесса приготовления ЭВ, преимущества и недостатки, а также его потенциальное применение для удаления остатков пестицидов и микроорганизмов с поверхности овощей и фруктов.

#### Материалы и методы исследования

Поиск научной литературы результатов исследований потенциальных возможностей обработки овощей и фруктов электро-

лизированной водой, механизмов микробной инактивации и влияния на физико-химические, технологические и сенсорные свойства, а также сохранения пищевой ценности проводили в библиографических базах Scopus, Web of Science и Научной электронной библиотеке eLIBRARY.RU с применением дескрипторов: «консервирование», «нетермическая технология», «электролизная вода», «микроорганизмы», «ферменты», «инактивация», «биологически активные соединения», «пищевая ценность», «антиоксидантная активность». В качестве временных рамок для обзора научных публикаций был принят период с 2010 по 2024 г. Более ранние научные статьи изучали только при отсутствии новых публикаций по теме исследования. При выполнении работы применяли методы анализа, систематизации и обобщения. Изначально было отобрано и изучено 426 научных публикаций. Среди статей, соответствующих критериям включения, для составления данного обзора было выбрано 45 исследований.

Критерии включения и исключения для статей, подлежащих анализу, были следующими:

Критерии включения:

(1) Статья написана в период с 2010 по 2024 г.

(2) Статья соответствует теме исследования.

(3) Типы анализируемых статей – оригинальные исследовательские статьи, обзорные статьи, монографии.

Критерии исключения:

(1) Статья не соответствует теме данного обзора: не касается тематики использования электролизованной воды в пищевой промышленности в качестве способа обработки растительного сырья.

(2) Содержание статьи дублируется. Если из разных баз данных или разных электронных библиотечных систем были извлечены повторяющиеся источники, их классифицировали только один раз.

## Результаты исследования и их обсуждение

### 1. Принцип получения электролизованной воды

Электролизованную воду (ЭВ) получают путем электролиза раствора электролита (обычно хлорида натрия, NaCl) в электролизном аппарате. Электролизер разделен на анод и катод с помощью диафрагмы [9]. В процессе электролиза NaCl растворяется в воде и диссоциирует на ионы натрия ( $\text{Na}^+$ ) и ионы хлора ( $\text{Cl}^-$ ). При этом часть воды в растворе будет подвергаться электролизу на ионы водорода ( $\text{H}^+$ ) и гидроксид-ионы ( $\text{OH}^-$ ). Отрицательно заряженные ионы, включая  $\text{Cl}^-$  и  $\text{OH}^-$ , будут перемещаться к аноду и терять электроны, образуя кислород ( $\text{O}_2$ ), газообразный хлор ( $\text{Cl}_2$ ), ионы гипохлорита ( $\text{ClO}^-$ ), хлорноватистую кислоту ( $\text{HClO}$ ) и соляную кислоту ( $\text{HCl}$ ). Положительно заряженные  $\text{H}^+$  и  $\text{Na}^+$  перемещаются к катоду, чтобы присоединить электроны, образуя водород ( $\text{H}_2$ ) и гидроксид натрия ( $\text{NaOH}$ ) [10]. После электролиза кислая электролизная вода (КЭВ) с pH от 2,0 до 3,5, высоким окислительно-восстановительным потенциалом (ОВП)  $> 1000$  мВ и концентрацией доступного хлора (КДХ)  $10\text{--}90$  мг л<sup>-1</sup> генерируется на стороне анода. На стороне катода образуется щелочная электролизованная вода (ЩЭВ) с высоким pH (10,0–13,0) и низким ОВП (от  $-800$  до  $-900$  мВ) [11]. Недавно ученые разработали технологии нейтральной электролизной воды (НЭВ) и слабокислой электролизной воды (СКЭВ). НЭВ и СКЭВ получают путем электролиза разбавленного раствора NaCl и/или HCl в электролизере без диафрагмы между анодом и катодом. НЭВ имеет pH 7–8 и ОВП 750–900 мВ, тогда как СКЭВ представляет собой разновидность электролизной воды с более высоким pH (5,0–6,5) и более низким ОВП (850 мВ) по сравнению с КЭВ [9, 10]. В табл. 1 приведены основные характеристики различных типов ЭВ.

Таблица 1

Основные характеристики различных типов электролизованной воды

Тип электролизованной воды	Обозначение	pH	Окислительно-восстановительный потенциал ОВП (мВ)	Источник
Кислая электролизованная вода	КЭВ	2,0–3,5	$> 1000$	[11]
Слабокислая электролизованная вода	СКЭВ	5,0–6,5	850	[10]
Нейтральная электролизованная вода	НЭВ	7,0–8,0	от 750 до 900	[9]
Щелочная электролизованная вода	ЩЭВ	10,0–13,0	от $-800$ до $-900$	[10]

*Преимущества и недостатки*

Электролизованная вода (ЭВ) – это современный метод обработки по снижению микробного загрязнения, разложению остатков пестицидов и улучшению послеуборочного качества плодоовощного сырья, который, по-видимому, является одной из наиболее перспективных альтернатив токсичным химикатам. Его преимущества можно резюмировать следующим образом:

(1) Как упоминалось выше, ЭВ генерируется только путем электролиза разбавленного солевого раствора и дистиллированной воды, который прост в эксплуатации.

(2) При разбавлении водопроводной водой или водой после обратного осмоса ЭВ превратится в обычную воду, поэтому она оказывает незначительное неблагоприятное воздействие на окружающую среду и здоровье человека [12].

(3) Эксплуатационные расходы при использовании ЭВ незначительные, нужны только вода и соль.

(4) Благодаря своим неселективным антибактериальным свойствам ЭВ не вызывает развития резистентности микроорганизмов.

(5) В качестве нетермического метода ЭВ не оказывает неблагоприятного влияния на органолептические характеристики фруктов и овощей, такие как цвет, запах, вкус и текстура.

(6) ЭВ может производиться на месте, что позволяет избежать проблем, связанных с транспортировкой и хранением.

(7) По сравнению с гипохлоритом натрия ( $\text{NaClO}$ ) времени на обработку ЭВ требуется меньше.

Поэтому способ обработки ЭВ считается недорогим, эффективным и экологически безопасным методом. С другой стороны, ЭВ имеет свои недостатки:

(1) Первоначальные затраты на приобретение оборудования могут быть относительно высокими.

(2) Присутствие органических веществ (таких как белок) снизит эффективность ЭВ, поскольку они будут реагировать со свободным хлором, уменьшая доступность хлора для дезинфекции.

(3) ЭВ не будет обладать антибактериальной активностью, если  $\text{H}^+$ ,  $\text{Cl}_2$  и  $\text{HOCl}$  не поступают непрерывно путем электролиза [12].

(4) Антибактериальные свойства могут существенно снижаться при хранении с высокой температурой или при длительном хранении, поскольку ЭВ будет терять хлор из-за саморазложения.

(5) Некоторые модели установок производят  $\text{Cl}_2$  при  $\text{pH} < 5$ , который раздражает кожу, что вызовет дискомфорт у обслуживающего персонала [11].

(6) ЭВ с экстремальным pH может вызывать коррозию пищевого оборудования.

**2. Обработка ЭВ овощей и фруктов**

Антимикробная активность ЭВ была общей темой исследований во многих странах, таких как США, Япония и Китай. Знание антимикробного механизма действия ЭВ будет способствовать более эффективному его применению в пищевой промышленности. Однако точный механизм антимикробной активности ЭВ до конца не изучен. Прямое окисление поверхности анода и косвенное окисление некоторых оксидантов, образующихся в растворе в процессе электролиза, являются основными причинами микробной инактивации [9]. Среди этих двух причин не прямое окисление, по-видимому, преобладает. Многие исследователи считали, что присутствие соединений хлора является основным фактором, нарушающим активность микробных клеток. Разновидности хлора ( $\text{Cl}_2$ ,  $\text{HOCl}$  и  $\text{ClO}^-$ ) проявляют свои бактерицидные свойства, атакуя клеточную стенку, клеточную мембрану, клеточную рибосому, фермент, РНК и другие компоненты [13].  $\text{ClO}^-$  разрушает внешнюю мембрану и инактивирует ключевые белки плазматической мембраны, что приводит к распаду клеточной стенки и клеточной мембраны [14].  $\text{HOCl}$  считается наиболее активным соединением хлора, образующимся при электролизе, которое проникает в клетки и образует гидроксильные радикалы.  $\text{HOCl}$  повреждает микробную клеточную стенку и внутриклеточные органеллы, подавляя активность ферментов, разрушая ДНК и нарушая клеточные метаболические процессы, тем самым проявляя противомикробную активность. Кроме того, в процессе электролиза образуются другие окислители, такие как  $\text{H}_2\text{O}_2$ , которые повреждают липидные компоненты и белки клеточной мембраны микроорганизмов, приводя к быстрой инактивации микроорганизмов [15]. Следовательно, ЭВ может оказывать свое антибактериальное действие главным образом за счет повреждения клеточной стенки, клеточной мембраны и цитоплазмы микроорганизмов.

Орошение жизненно важно для роста овощей и фруктов. Сельскохозяйственная оросительная вода составляет 70% от общего забора пресной воды в мире. Существует вероятность микробного загрязнения поливной воды из-за широкого круга ее источников [14]. Загрязненная оросительная вода переносит патогены в овощи и фрукты. Орошаемые продовольственные культуры, особенно зеленные листовые овощи, легко загрязняются микроорганизмами, содержащими поливную воду, поэтому каче-

ство поливной воды имеет решающее значение для обеспечения безопасности плодоовощного сырья. ЭВ показала высокую эффективность в обеззараживании загрязненной микроорганизмами поливной воды для овощей и фруктов. В ходе исследований сравнили антибактериальную эффективность НЭВ, NaClO и ClO<sub>2</sub> против отдельных и смешанных популяций *Escherichia coli*, *Listeria innocua* и *Salmonella enterica* серовара *Enteritidis* в воде. Результаты показали, что в некоторых случаях НЭВ была более эффективна в снижении микробной нагрузки, чем другие дезинфицирующие средства, и также установлено, что на ее эффективность влиял не диапазон условий pH, а скорее содержание органических веществ в воде. Точно так же в другом исследовании Ogunniyi A.D., Dandie C.E. и Ferro S. сравнили дезинфицирующее действие поливной воды, содержащей НЭВ и NaClO, на листья салата и молодого шпината, зараженные смесью *Escherichia coli*, *Salmonella enterica* серовары *Enteritidis* и *Listeria innocua* [15]. Результаты показали, что орошение водой, содержащей НЭВ или NaClO, значительно снижало инокулированную бактериальную нагрузку на  $\geq 1,5 \log_{10}$  КОЕ г<sup>-1</sup> на зараженных листьях. Тем не менее орошение NaClO оказало серьезное негативное влияние на качество двух овощей, в то время как НЭВ во время орошения не оказывала явного неблагоприятного воздействия на общий вид листьев в течение всего эксперимента [16, 17].

#### Дезинфекция фруктов и овощей

Хорошо известно, что микроорганизмы на поверхности свежих овощей и фруктов вызывают не только вспышки болезней пищевого происхождения, но и вызывают порчу плодоовощного сырья. ЭВ обладает высоким бактерицидным действием против широкого спектра микроорганизмов, таких как *Escherichia coli*, *Bacillus cereus*, *Listeria monocytogenes*, *Salmonella* spp., дрожжевые и плесневые грибы. ЭВ способна уничтожать наиболее распространенные бактерии и грибки за относительно короткий промежуток времени (обычно в течение 5–20 с). Антибактериальный потенциал различных типов ЭВ в ходе обработки овощей и фруктов представлен в табл. 2.

#### Бактерии и грибы

ЭВ оказывает значительное влияние на удаление основных пищевых патогенов человека (*Listeria monocytogenes*, *Escherichia coli* O157:H7 и *Salmonella*, *Enteritidis* и т.д.) из свежих фруктов и овощей. В исследовании Ogunniyi A.D и соавт.

проведено сравнение влияния НЭВ и дезинфицирующего средства на основе пероксиуксусной кислоты (Ecolab Tsunami® 100) на снижение общей микробной нагрузки (*Escherichia coli*, *Salmonella Enteritidis* и *Listeria innocua*) на молодых листьях шпината. Результаты показали, что обработка НЭВ и Ecolab Tsunami® 100 была эффективна в снижении бактериальной нагрузки на листья по сравнению с обработкой необработанной водой и водопроводной водой [17]. В другой работе исследовано влияние СКЭВ, КЭВ, водного озона (ВО), 1% лимонной кислоты (ЛК) и NaOCl на инактивацию пищевых патогенов (*Escherichia coli* O157:H7, *Listeria monocytogenes*, *Salmonella typhimurium* и *Bacillus cereus*) в грибах вешенка. Эффективность стерилизации оценивалась следующим образом СКЭВ > NaOCl > ЛК > ВО [18]. Ученые Santo D. и др. изучали роль ультрафиолетового света УФ-С, КЭВ и НЭВ в снижении популяции *Cronobacter sakazakii* на свежесрезанных фруктах. Результаты показали, что количество *C. sakazakii* было значительно снижено с помощью ЭВ [25]. Кроме того, обработка ЭВ значительно улучшила съедобность, вес в свежем виде и длину ростков. В работе Zhang W.L. и соавт. проведено исследование эффективности удаления СКЭВ бактерий в ростках люцерны. Результаты показали, что СКЭВ значительно уменьшила количество энтеробактерий и не оказала отрицательного влияния на качество проростков [30]. В другом исследовании СКЭВ использовалась для опрыскивания ростков во время прорастания семян. По сравнению с обработкой водопроводной воды, обработка СКЭВ снизила общее количество бактерий и кишечных палочек на 0,99–1,58 и 0,57–1,02 log КОЕ/г соответственно [28]. Из-за высокой температуры сезона сбора урожая различные естественные грибки (такие как дрожжи и плесень) могут вызывать порчу свежего плодоовощного сырья. Недавние исследования показали, что ЭВ обладает большим дезинфицирующим потенциалом по борьбе с порчей овощей и фруктов вызываемой грибами. Ученые Vasquez-Lopez A. и др. исследовали влияние НЭВ (дозировка 10/30/60 мг/л<sup>-1</sup>) на замедление скорости разложения плодов томатов, инокулированных *Fusarium oxysporum*, *Galactomyces geotrichum* и *Alternaria* sp.

Результаты показали, что НЭВ дозой 60 мг л<sup>-1</sup> значительно снижает заболеваемость плодов [29]. В работе Nyamende N.E. и соавт. изучена эффективность обработки ЦЭВ (доза 50, 100, 200, 300, 400 и 500 мг/л<sup>-1</sup>) против *Botrytis cinerea* в яблоках [26].

Таблица 2

Результаты дезинфекции овощей и фруктов ЭВ при различных условиях обработки

Наименование сырья	Целевые микроорганизмы	Вид ЭВ	Время обр. (мин)	pH	ОВП (мВ)	Доза мг-л <sup>-1</sup>	Эффективность обработки	Источник
Листья шпината	<i>Escherichia coli</i> <i>S. enterica serovar Enteritidis</i> <i>Listeria innocua</i>	НЭВ	1	7	857	56	1,0 log КОЕг <sup>-1</sup> 0,5 log КОЕг <sup>-1</sup> 0,3 log КОЕг <sup>-1</sup>	[17]
Вешенка	<i>Escherichia coli</i> <i>O157:H7</i> , <i>Listeria monocytogenes</i> , <i>Salmonella typhimurium</i> and <i>Bacillus cereus</i>	СКЭВ	3	6,2	500–520	5	1,04–1,2 log КОЕг <sup>-1</sup>	[18]
Шпинат и салат	<i>Escherichia coli</i> , <i>Salmonella typhimurium</i> and <i>Listeria monocytogenes</i>	НЭВ	10	6,3–6,5	800–900	20/50/ 100/120	6,1–6,7 log <sub>10</sub> КОЕмг <sup>-1</sup>	[19]
Салаты	<i>Salmonella</i> spp.	СКЭВ	≥ 0,75	6,38	875	50	4,0 log КОЕг <sup>-1</sup>	[20]
Капуста свеженарез.	Всего аэробных бактерий	СКЭВ	10	6,1	–	20	1,5 log КОЕг <sup>-1</sup>	[21]
Свежий органический салат	<i>Escherichia coli</i> и <i>Listeria innocua</i>	КЭВ	7	3,84	920,5	4	1,3 log КОЕг <sup>-1</sup>	[22]
Ростки люцерны	<i>Enterobacteriaceae</i>	СКЭВ	30	6	826	35	0,73–1,81 log КОЕг <sup>-1</sup>	[23]
Баклажаны свежесрезанные	Дрожжи и плесень	КЭВ СКЭВ	5	2,34 6,25	1170 861	51 31	1,51 log КОЕг <sup>-1</sup> 1,92 log КОЕг <sup>-1</sup>	[24]
Мандарин	<i>Penicillium digitatum</i>	КЭВ	4	–	–	–	Снижение 66,6% порчи	[25]
Свежесрезанные яблоки, груши и дыни	<i>C. sakazakii</i>	КЭВ НЭВ	5	2,82 8,18	1121 762	103 94	1,3–1,8 log КОЕг <sup>-1</sup> 1,0–1,2 log КОЕг <sup>-1</sup>	[26]
Яблоки	<i>B. cinerea</i>	ЩЭВ	5/10/15	11	>800	500	Снижение 22%	[27]
Манго	Дрожжи и плесень	НЭВ	5	8,5	800	2836	Ниже 10КОЕг <sup>-1</sup>	[28]
Яблоки свежесрезанные	Дрожжи	КЭВ	5	2,87	1113	102	1,86 log КОЕг <sup>-1</sup>	[29]
Плоды томатов	<i>Fusarium oxysporum</i> , <i>Galactomyces geotrichum</i> и <i>Alternaria</i> sp.	НЭВ	5	7	850	60	Снижение заболеваемости на 20%	[30]

Результат показал, что обработка *B. cinerea* ЩЭВ привела к значительному уменьшению зон поражения по сравнению с контрольной группой. ЩЭВ концентрацией 200 мг л<sup>-1</sup> была эффективна в ингибировании развития *B. cinerea*. Кроме того, в последнее время ЭВ используется для дезинфекции свежесрезанных фруктов и овощей. Так, например, исследователи Koide S., Takeda J., Shi J., Shono H. и Atungulu G.G. сравнили дезинфицирующее действие СКЭВ с раствором NaOCl при обработке свежесрезанной капусты [20]. Статистический анализ показал, что СКЭВ уменьшила количество плесени и дрожжей примерно

на 1,3 log КОЕ г<sup>-1</sup>. СКЭВ обладает более высокой дезинфицирующей эффективностью, чем раствор NaOCl. Другое подобное исследование показало, что КЭВ НЭВ оказывают значительное ингибирующее действие на дрожжи свежесрезанных яблок по сравнению с раствором NaOCl [29]. Группа китайских ученых исследовала ингибирующее действие КЭВ и СКЭВ на дрожжи и плесень в свеженарезанных баклажанах во время хранения. Результаты показали, что обработка КЭВ и СКЭВ явно снижает популяцию дрожжей и плесени в свеженарезанных баклажанах [25]. Кроме того, обработка НЭВ эффективно уменьшила коли-

чество плесени и дрожжей на свежесрезанном манго [28]. Таким образом, КЭВ, СКЭВ и НЭВ являются перспективными методами стерилизации плодоовощного сырья без тепловой обработки, которые могут эффективно ингибировать различные микроорганизмы на свежих фруктах и овощах.

Стойкость пестицидов во фруктах и овощах зависит от природы пестицидов, условий окружающей среды и характеристики самого плодоовощного сырья. Одни пестициды быстро разлагаются, другие остаются стабильными. Скорость удаления пестицидов зависит от многих факторов, которые можно обобщить следующим образом:

1. *Расположение пестицидов.* Если остатки пестицидов находятся на поверхности сырья, их можно удалить путем мытья. Однако если остаток пестицида оседает в тканях, то воздействие ЭВ на него будет происходить в узком диапазоне. Это связано с тем, что восковой слой предотвращает контакт пестицида с моющим раствором.

2. *Время обработки.* Как правило, чем дольше время промывки, тем выше эффективность удаления остатков пестицидов. Это связано с тем, что чем дольше время промывки, тем больше пестицидов будет растворено. Однако окончательное определение времени мойки должно также учитывать влияние времени мытья на свойства текстуры обрабатываемого сырья.

3. *Растворимость пестицидов.* Жирорастворимые пестициды легко удаляются ЭВ, так как содержат гидрофобные группы, плохо растворимые в воде. ЭВ обладает хорошими эмульгирующими свойствами [31].

4. *Температура мойки.* Эффект промывки будет усиливаться при повышении температуры, а удаление термически нестабильных пестицидов более заметно при высоких температурах. Это связано с тем, что высокая температура ускоряет химическое разложение термически нестабильных пестицидов.

5. *Виды пестицидов и моющих средств.* Скорость удаления фосфорорганических пестицидов с помощью КЭВ И СКЭВ выше, чем с помощью ЩЭВ и водопроводной воды. Эффективность ЭВ при разложении пестицидов зависит от значения рН. Доступный хлор в ЭВ в основном существует в форме хлорноватистой кислоты при рН от 3 до 6,5. Хлорноватистая кислота является сильным окислителем. Фосфорорганические пестициды содержат двойные связи и легко окисляются хлорноватистой кислотой [32].

6. *Адсорбционные свойства овощей и фруктов.* Эффективность удаления пестицидов в различных овощах и фруктах хо-

рошо коррелирует с адсорбционными свойствами. Адсорбционное действие определяется адсорбатом и адсорбентом. Некоторые виды сырья легко поглощают пестициды, оставляя больше остатков пестицидов на своей поверхности

Результаты многих научных исследований показали, что ЭВ может уменьшить/удалить различные остатки пестицидов в овощах и фруктах. Так, например, Pattanapo W. и соавт. исследовали влияние ЩЭВ с различной дозировкой (100, 250, 500 и 1000 мг/л<sup>-1</sup>) на удаление остатков карбендазима из помидоров черри [32]. Результаты анализа показали, что обработка ЩЭВ значительно уменьшила остаток карбендазима на 60,36; 80,49; 67,32 и 64,68 % после промывания 100, 250, 500 и 1000 мг л<sup>-1</sup> ЩЭВ соответственно в течение 30 мин. Исследовано влияние ЩЭВ и КЭВ на удаление пестицидов из свежесрезанной капусты, брокколи и цветного перца [33]. Установлено, что обработка ЩЭВ И КЭВ эффективно разлагала остатки пестицидов во всех образцах. КЭВ эффективно удаляла пиретроиды и органофосфаты, тогда как ЩЭВ эффективно удаляла фунгициды. Ученые Нео J. и Liu H.J. изучили влияние КЭВ и ЩЭВ на сокращение остатков трех пестицидов (ацефата, ометоата и диметилдихлорвинилфосфата) в овощах [34]. Результаты показали, что обработка КЭВ и ЩЭВ эффективно уменьшала остаточное количество пестицидов после замачивания в течение 30 мин. Остаточное количество пестицидов уменьшалось с увеличением времени замачивания. В другом исследовании данных авторов исследована эффективность деградации пестицидов КЭВ (дозировка 20/70/120 мг/л<sup>-1</sup>) и ЩЭВ на остатки пестицидов в свежих продуктах [32]. Установлено, что КЭВ более эффективна в удалении пестицидов, чем ЩЭВ. Кроме того, высокая концентрация и длительная обработка привели к лучшему удалению пестицидов. Учитывая результаты исследований, можно сделать вывод, что ЭВ может быть потенциальной стратегией удаления остатков пестицидов в овощах и фруктах.

Вместе с тем следует отметить, что в настоящее время механизм деградации остатков пестицидов в плодоовощное сырье с помощью ЭВ до конца не изучен. ЭВ устраняет остатки пестицидов на поверхности растительного сырья, что во многом определяется его физико-химическими свойствами. ЭВ обладает сильными окислительными свойствами. Среди электролизированных вод КЭВ имеет низкий рН и высокий окислительно-восстановительный потенциал. ЩЭВ имеет высокий рН и хорошие

эмульгирующие свойства. Большинство фосфорорганических пестицидов, включая ацефаты, ометоаты и ДДВФ, содержат двойные связи «Р = S» и «С = О». Нуклеофилы легко способствуют разрыву двойных связей фосфорорганических пестицидов как при обработке КЭВ, так и ЩЭВ [31, 35]. ЭВ обладает высокой способностью удалять большинство пестицидов, особенно тех, которые содержат двойные связи. Однако необходимы дополнительные исследования, чтобы изучить конкретный механизм разложения пестицидов ЭВ, чтобы способствовать дальнейшему внедрению данного метода обработки.

*Влияние ЭВ на физико-химические показатели качества фруктов и овощей*

Свежие овощи и фрукты проявляют высокую дыхательную и метаболическую активность, что приводит к потере воды и ухудшению качества при хранении. Многие исследования показали, что ЭВ оказывает положительное влияние на сохранение внешнего вида и пищевой ценности фрук-

тов и овощей после сбора урожая (табл. 3). Основные показатели включают жесткость плодов, pH, содержание растворимых твердых веществ (СВ), общее содержание фенолов (ТРС), растворимый сахар, аскорбиновую кислоту (АСК) и титруемую кислотность (ТК). В работе Nayta E. и Aday M.S. изучено влияние различных концентраций ЭВ (25, 50, 100, 200, 300 и 400 мг л<sup>-1</sup>) на качественные показатели черешни при хранении [36]. Результаты эксперимента показали, что низкие концентрации ЭВ (25, 50 и 100 мг л<sup>-1</sup>) были эффективны для поддержания различных показателей качества образца во время хранения, таких как pH, потеря веса, концентрация газа в упаковках, активность воды, плотность, СВ, профиль антоцианов и скорость гниения. Физико-химические свойства черешни претерпели незначительные изменения при воздействии ЭВ в концентрации выше 200 мг/л<sup>-1</sup>. Ученый Chen Y.H. и соавт. оценили влияние КЭВ на послеплодочный период хранения двух сортов ягод голубики (Brightwell и Camellia) [37].

Таблица 3

Влияние электролизованной воды на физико-химические свойства фруктов и овощей

Наименование сырья	Вид ЭВ	Параметры обработки	Эффективность обработки	Ист.
Черешня	КЭВ	концентрация 25/50/100/200/300/400 мг л <sup>-1</sup> , время 3 мин.	ЭВ (< 200 мг л <sup>-1</sup> ) способствует сохранению физико-химические свойств (pH, общее количество растворимых сухих веществ, активность воды, потерю веса, плотность, цвет и профиль антоцианов) черешни	[36]
Черника	КЭВ	pH = 2,8, ОВП = 1125 мВ, концентрация 48 мг л <sup>-1</sup> , 5 мин	КЭВ подавляла гниение и размягчение плодов, поддерживала высокое содержание антоцианов и общих фенолов, замедляла повышение проницаемости клеточных мембран	[38]
Финики	УФ-С+ЩЭВ	УФ-С: 6,22 кДж м <sup>-2</sup> ; ЩЭВ: pH = 11,28, ОВП = -880 мВ, концентрация 1,83 мг л <sup>-1</sup>	УФ-С + ЩЭВ может сохранить хорошие физико-химические свойства (потеря веса, плотность, pH, титруемая кислотность, активность воды, содержание сахаров и фенолов и цвет) фруктов	[39]
Персики	СКЭВ	СКЭВ: pH = 6,1, ОВП 947,6 мВ, концентрация 21 мг л <sup>-1</sup> , 5 мин	Обработка СКЭВ показала незначительные изменения цвета мякоти, производство этилена, общее содержание фенолов и целостность мембраны	[40]
Поздние сорта апельсинов «Валенсия»	КЭВ	pH = 2,6, конц. 2,8 мг л <sup>-1</sup> , ОВП = -240 мВ	ЩЭВ и КЭВ не оказали отрицательного влияния на качество апельсинов (потеря массы, СВ, лимонной кислоты, pH, аскорбиновой кислоты и индекса окраски плодов)	[41]

Результаты показали, что обработка КЭВ эффективно сохраняла качественные характеристики двух сортов, такие как твердость и состав целлюлозы. Снижение мягкости структуры после обработки ЭВ на голубике *Camellia* был выше, чем на голубике *Brightwell*. В другой работе эти авторы исследовали влияние обработки КЭВ на свойства черники при хранении. Результаты показали у черники, обработанной КЭВ, более низкую скорость гниения плодов, более высокую плотность плодов и твердость кожуры, а также более высокое содержание антоцианов и ТРС по сравнению с обработкой дистиллированной водой [38].

Очевидно, что внешний вид является самым непосредственным показателем, влияющим на выбор потребителя. Неправильное хранение свежих овощей и фруктов приведет к нежелательным изменениям органолептических характеристик, что повлияет на общее качество и приемлемость для потребителей. В некоторых исследованиях сообщается о влиянии ЭВ на сенсорное качество фруктов и овощей. После того, как морковь была обработана ЩЭВ, группа из пяти экспертов провела оценку цвета, твердости, свежего аромата и общей приемлемости образцов во время хранения. Результаты показали, что срок годности необработанной моркови был ограничен 9 днями с органолептической точки зрения. Срок годности обработанных образцов может быть увеличен до 15 дней [42]. Ученые *Jemni M., Gomez P.A., Souza M.* провели исследование, обработав плоды финиковой пальмы только КЭВ, а также комбинированным способом с применением УФ-С и ЭВ. Финики, обработанные УФ-С + КЭВ, сохранили лучшие органолептические качества, особенно по сравнению с необработанными образцами [39]. Цвет был наиболее заметным изменением из всех параметров во время хранения. Послеуборочную черешню обрабатывали ЭВ (25, 50, 100, 200, 300 и 400 мг/л<sup>-1</sup>). Было обнаружено, что органолептические показатели всех групп снижались с увеличением времени хранения. Концентрации ЭВ более 200 мг л<sup>-1</sup> оказывали неблагоприятное воздействие на органолептические показатели и вызывали неприятный вкус [36]. Авторы *Mansur A.R., Oh D.H.* оценили влияние термозвуковой обработки (TS) в сочетании с СКЭВ на органолептические показатели качества свеженарезанной капусты во время хранения [43]. Результаты показали, что органолептический срок хранения капусты, обработанной TS + СКЭВ, превысил 14 дней, в то время как срок годности необработанной капусты был <12 дней. Основываясь

на результатах этих исследований, обработка ЭВ представляется перспективным способом обработки, который способствует сохранению органолептических показателей качества и продлению срока годности плодоовощного сырья.

#### *Влияние ЭВ на активность ферментов*

Все биохимические реакции в сырье осуществляются с участием ферментов. Благодаря высокому катализу и специфичности ферментов к реагентам ферменты доминируют во всей жизнедеятельности фруктов и овощей. Ферментативная активность отражает изменение качества сырья, высокая активность ферментов приведет к различным метаболическим нарушениям и быстро снизит способность к хранению и устойчивость к болезням послеуборочных овощей и фруктов, что повлияет на их срок годности. В процессе хранения и переработки сырья высокая ферментативная активность является важным фактором, приводящим к ухудшению качества и потере питательных веществ. Поэтому было разработано множество технологий для регулирования активности ферментов, включая термические и нетермические технологии. По сравнению с традиционными методами нагрева нетермическая технология имеет больше преимуществ, поскольку она не разрушает питательные вещества в овощах и фруктах, а также является экологически чистой и сокращает время обработки. В последние годы среди нетермических технологий выделяют и обработку ЭВ [4, 6]. До сих пор механизм ЭВ, регулирующий активность ферментов, не ясен и нуждается в дальнейшем изучении. РРО (ПФО – полифинилоксидаза) является основным ферментом, участвующим в процессе созревания овощей и фруктов. При механическом повреждении плода фенолаза связывается с фенольными соединениями, и в присутствии кислорода происходит побурение. ПФО катализирует гидроксильное монофенола (монофенолаза) и окисление о-дифенола в о-хинон (дифенолаза) и, наконец, полимеризуется в коричневый пигмент [23]. РОД (ПОД – полиоксидаза) окисляет различные субстраты в присутствии перекиси водорода. Авторы *Liu Y., Wang J., Zhu X.R.* провели анализ влияния обработки КЭВ на ингибирование ферментативной реакции потемнения в различных частях ломтиков сладкого картофеля во время хранения. Статистические результаты показали, что обработка КЭВ оказала положительное влияние на ингибирование активности ПФО и ПОД [33]. Кроме того, некоторые ферменты, разрушающие клеточную стен-

ку, такие как полигалактуроназы (PG – ПГ), целлюлазы и пектинметилэстераза (PME – ПМЭ), вызывают постепенное снижение твердости свежих овощей и фруктов и возникновение размягчения. В ходе исследований установлено, что ЭВ задерживает размягчение плодоовощного сырья, ингибируя активность этих ферментов [37]. Результаты показали, что обработка КЭВ подавляла активность различных ферментов, разрушающих клеточную стенку (CWDE: PG, целлюлазы и  $\beta$ -галактозидаза) и задерживала размягчение двух сортов при хранении. В другом исследовании также установлено, что обработка персиков СКЭВ существенно замедляет размягчение за счет ингибирования активности PG и PME [41]. Ингибирующая активность может быть связана со снижением продукции этилена при обработке плодов и овощей. Известно, что обработка плодоовощного сырья может снизить микробную нагрузку и подавлять процесс размножения микробов в сырье, что может привести к меньшему повреждению плодов и выработке этилена. Необходимы дальнейшие исследования, чтобы выяснить, связано ли это ингибирующее воздействие на активность ферментов, разрушающих клеточную стенку, в собранных плодах во время хранения со снижением выработки этилена при обработке фруктов и овощей.

Обработка фруктов и овощей ЭВ усиливает их антиоксидантную способность. Например, ЭВ повышает активность ферментативной антиоксидантной системы, включающей супероксиддисмутазу (СОД), каталазу (КАТ) и аскорбатпероксидазу (АПД), для удаления активного кислорода, тем самым улучшая качество свежих овощей и фруктов. Авторы Chen Y.H., Hung Y.C., Chen M.Y., Lin M.S. и др. изучали влияние обработки КЭВ на сохранность черники при хранении. Результаты показали, что обработка КЭВ сохраняла более высокую активность СОД, КАТ и АПД и более высокую антиоксидантную способность по сравнению с контрольной группой [38]. Точно так же Zhi H.H. и соавт. исследовали влияние обработки СКЭВ на антиоксидантную систему персика во время хранения. Результаты показали, что обработка СКЭВ поддерживает высокую активность СОД и КАТ и замедляет процесс увядания персика [44]. Приведенные выше данные свидетельствуют о том, что обработка ЭВ может улучшить качество хранения свежих овощей и фруктов за счет регулирования активности ферментов [45].

3. Преимущества и недостатки использования обработки ЭВ растительного сырья ЭВ, как простая, недорогая, эффективная и экологичная технология, показала

высокое бактерицидное действие на все виды микробов. Кроме того, ЭВ играет важную роль в удалении остатков пестицидов из овощей и фруктов, препятствуя ухудшению их качества и продлевая срок годности. После одобрения органов здравоохранения данного метода обработки как безопасного и утверждения нормативных документов метод обработки ЭВ может постепенно получить промышленное внедрение. Вместе с тем необходимо отметить наличие нерешенных проблем:

1. Механизмы антибактериальной и ингибирующей активности ферментов до настоящего времени не выяснены. Нет четкого понимания, как конкретно влияют свойства электролизованной воды pH, ОВП, концентрацией или комбинацией составных параметров. В будущем для изучения бактерицидного механизма ЭВ необходимо использовать многие передовые технологии. Наблюдение путей действия и процессов с бактериями на цитологическом и молекулярно-биологическом уровнях будет способствовать выявлению механизма бактерицидного действия.

2. В доступной на момент данного исследования литературе изучалось влияние ЭВ на физико-химическое качество плодоовощного сырья. Несколько исследований показали влияние ЭВ на физиологический метаболизм фруктов и овощей. Поэтому необходимы дополнительные дальнейшие исследования для оценки эффективности ЭВ на физиологический метаболизм сырья после сбора урожая.

3. Несмотря на разложение широкого спектра остаточных количеств пестицидов под действием ЭВ, все еще существуют многие отличительные особенности между различными структурными типами пестицидов. Для достижения наилучшего эффекта удаления необходимо установить оптимальные рабочие параметры ЭВ при разложении остатков пестицидов, включая концентрацию, значение ОВП, значение pH и рабочую температуру.

4. Отношение и восприятие потребителей являются ключевым фактором, влияющим на разработку и применение новейших технологий в пищевой промышленности. В настоящее время взгляды потребителей на использование ЭВ не установлены, а данные об их мнениях сложно собрать и систематизировать. С этой целью необходимо обеспечить максимальную вовлеченность организаций в оценку мнений потребителей на ЭВ, показывая положительное воздействие электролизованной воды на продукты питания и ее экономические и экологические преимущества.

5. Необходимо продолжить исследования по обеспечению стабильности работы оборудования ЭВ, с целью снижения возможности коррозии оборудования и безопасности трубопроводов процессе обработки фруктов и овощей ЭВ.

### Заключение

Для дальнейшего улучшения антибактериального действия электролизованной воды необходимо продолжать исследования по комбинированному взаимодействию ЭВ с другими технологиями, такими как  $O_3$ , УФ-С, кратковременный нагрев и ультразвук, холодная плазма и др. В настоящее время тенденция промышленного внедрения метода обработки ЭВ имеет положительную динамику. С развитием портативных генераторов воды с электролизом, обработку ЭВ возможно будет применять в домашних условиях, например для дезинфекции кухонь и машин для очистки овощей и фруктов. Как нетермическая технология, ЭВ может использоваться для сохранения качества и безопасности растительного сырья. По сравнению с другими традиционными методами способ обработки ЭВ имеет многие преимущества, такие как отсутствие загрязнения, высокая эффективность обеззараживания и простота эксплуатации. Для большинства фруктов и овощей, особенно листовых овощей, обработка ЭВ способствует удалению микроорганизмов и остатков пестицидов. ЭВ также можно использовать для регулирования активности многих ферментов и сохранения цвета, питательных веществ и текстуры фруктов и овощей. Кроме того, ЭВ демонстрирует высокую степень синергизма со многими другими методами обработки, такими как ультразвук и УФ-С. Эти комбинации не только улучшают стерилизацию овощей и фруктов, но также улучшают качество их хранения после сбора урожая и продлевают срок годности. Хотя потенциал применения метода обработки ЭВ очевиден, существуют и его негативные последствия и ограничивающие факторы. Следует отметить, что слишком длительное замачивание приведет к потере питательных веществ овощей и фруктов. Особенности химического состава сырья, количество органических веществ в нем снизит дезинфицирующую активность электролизованной воды. Следует проводить дальнейшие научные исследования с целью апробирования новых эффективных, экономически выгодных, экологически безопасных комбинированных технологий ЭВ для снижения микробиологической порчи и сохранения растительного сырья.

### Список литературы

1. Бурак Л.Ч., Сапач А.Н. Использование технологии омического нагрева в процессе переработки плодов и овощей. Обзор предметного поля // Пищевые системы. 2024. Т. 7, № 1. С. 59–70. DOI: 10.21323/2618-9771-2024-7-1-59-70.
2. Liu D.K., Xu C.C., Guo C.X., Zhang X.X. Sub-zero temperature preservation of fruits and vegetables: A review // Journal of Food Engineering. 2020. Vol. 275. P. 109881. DOI: 10.1016/j.jfoodeng.2019.109881.
3. Zhao L., Li S.B., Yang H.S. Recent advances on research of electrolyzed water and its applications // Current Opinion in Food Science. 2021. Vol. 42. P.180–188. DOI: 10.1016/J.COFS.2021.03.004.
4. Бурак Л.Ч. Использование современных технологий обработки для увеличения срока хранения фруктов и овощей. Обзор предметного поля // Ползуновский вестник. 2024. № 1. С. 99–119. DOI: 10.25712/ASTU.2072-8921.2024.01.013.
5. Qi H., Huang Q.G., Hung Y.C. Effectiveness of electrolyzed oxidizing water treatment in removing pesticide residues and its effect on produce quality // Food Chemistry. 2018. Vol. 239. P. 561–568. DOI: 10.1016/j.foodchem.2017.06.144.
6. Бурак Л.Ч. Существующие способы обработки пищевых продуктов и их влияние на пищевую ценность и химический состав // Технологии пищевой и перерабатывающей промышленности АПК – продукты здорового питания. 2021. № 3. С. 59–73. DOI: 10.24412/2311-6447-2021-3-59-73.
7. Fan K., Wu J., Chen L. Ultrasound and its combined application in the improvement of microbial and physicochemical quality of fruits and vegetables: A review // Ultrasonics Sonochemistry. 2021. Vol. 80, Is. 1. P.105838. DOI: 10.1016/j.ulsonch.2021.105838.
8. Azam S.R., Ma H., Xu B., Devi S., Siddique M.A.B., Stanley S.L., Zhu J. Efficacy of ultrasound treatment in the removal of pesticide residues from fresh vegetables: A review // Trends in Food Science & Technology. 2020. Vol. 97, Is. 9. P. 417–432. DOI: 10.1016/j.tifs.2020.01.028.
9. Iram A., Wang X., Demirci A. Electrolyzed oxidizing water and its applications as sanitation and cleaning agent // Food Eng Rev. 2021. Vol. 13, Is. 2. P. 411–427 DOI: 10.1007%2Fs12393-021-09278-9.
10. Huang Y.R., Hung Y.C., Hsu S.Y., Huang Y.W., Hwang D.F. Application of electrolyzed water in the food industry // Food control. 2008. Vol. 19, Is. 4. P. 329–345.
11. Rahman S.M.E., Khan I., Oh D.H. Electrolyzed water as a novel sanitizer in the food industry: current trends and future perspectives // Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety. 2016. Vol. 15. P. 471–490.
12. Chakka A.K., Sriraksha M.S., Ravishankar C.N. Sustainability of emerging green non-thermal technologies in the food industry with food safety perspective: a review // LWT-Food Science and Technology. 2021. Vol. 151. P. 112140 DOI: 10.1016/j.lwt.2021.112140.
13. Liao X.Y., Xuan X.T., Li J. Bactericidal action of slightly acidic electrolyzed water against *Escherichia coli* and *Staphylococcus aureus* via multiple cell targets // Food Control. 2017. Vol. 79. P. 380–385. DOI: 10.1016/j.foodcont.2017.03.050.
14. Deng L.Z., Mujumdar A.S., Pan Z.L. Emerging chemical and physical disinfection technologies of fruits and vegetables: a comprehensive review // Critical Reviews in Food Science and Nutrition. 2020. Vol. 60. P. 2481–2508. DOI: 10.1080/10408398.2019.1649633.
15. Ogunniyi A.D., Dandie C.E., Ferro S. Comparative antibacterial activities of neutral electrolyzed oxidizing water and other chlorine-based sanitizers // Scientific Reports. 2019. Vol. 9. P. 19955. DOI: 10.1038/s41598-019-56248-7.
16. Ogunniyi A.D., Tenzin S., Ferro S. A pH-neutral electrolyzed oxidizing water significantly reduces microbial contamination of fresh spinach leaves // Food Microbiology. 2021. Vol. 93. P. 103614. DOI: 10.1016/j.fm.2020.103614.

17. Ding T., Rahman S.M.E., Oh D.H. Inhibitory effects of low concentration electrolyzed water and other sanitizers against food-borne pathogens on oyster mus-hroom // *Food Control*. 2011. Vol. 22. P. 318–322. DOI: 10.1016/j.foodcont.2010.07.030.
18. Guentzel J.L., Lam K.L., Callan M.A., Emmons S.A., Dunham V.L. Reduction of bacteria on spinach, lettuce, and surfaces in food service areas using neutral electrolyzed oxidizing water // *Food Microbiology*. 2008. Vol. 25. P. 36–41.
19. Cap M., Rojas D., Fernandez M. Effectiveness of short exposure times to electrolyzed water in reducing salmonella spp. and imidacloprid in lettuce // *LWT-Food Science and Technology*. 2020. Vol. 128. P. 109496. DOI: 10.1016/j.lwt.2020.109496.
20. Koide S., Takeda J., Shi J., Shono H., Atungulu G.G. Disinfection efficacy of slightly acidic electrolyzed water on fresh cut cabbage // *Food Control*. 2009. Vol. 20. P. 294–297.
21. Zhao L., Zhao M.Y., Phey C.P. & Yang H.S. Efficacy of low concentration acidic electrolysed water and levulinic acid combination on fresh organic lettuce (*Lactuca sativa* Var. Crispa L.) and its antimicrobial mechanism // *Food Control*. 2019. Vol. 101. P. 241–250. DOI: 10.1016/j.foodcont.2019.02.039.
22. Zhang W.L., Cao J.K. Jiang W.B. Application of electrolyzed water in postharvest fruits and vegetables storage: a review. *Trends in Food Science & Technology*. 2021. Vol. 114. P. 599–607. DOI: 10.1016/j.tifs.2021.06.005.
23. Li X.H., Yue H., Xu S.S., Tian J.Y., Zhao Y., Xu J.F. The effect of electrolyzed water on fresh-cut eggplant in storage period // *LWT – Food Science and Technology*. 2020. Vol. 123. P.109080. DOI: 10.1016/j.lwt.2020.109080.
24. Whangchai K., Saengnil K., Singkamanee C., Uthai-butra J. Effect of electrolyzed oxidizing water and continuous ozone exposure on the control of *Penicillium digitatum* otagerine cv. ‘Sai Nam Pung’ during storage // *Crop Protection*. 2010. Vol. 29. P. 386–389.
25. Santo D., Graca A., Nunes C. Quintas C. Survival and growth of *Cronobacter sakazakii* on fresh-cut fruit and the effect of UV-C illumination and electrolyzed water in the reduction of its population // *International Journal of Food Microbiology*. 2016. Vol. 231. P. 10–15.
26. Nyamende N.E., Domtchouang F.R., Belay Z.A., Zane-phyn K., Ayodeji O., Oluwafemi C.J. Alternative postharvest pre-treatment strategies for quality and microbial safety of ‘granny smith’ apple // *Heliyon*. 2021. Vol. 7. № e07104. DOI: 10.1016/j.heliyon.2021.e07104.
27. Lopes M.M.D., Lucena H.H., Silveira M.R.S. The use of electrolyzed water as a disinfectant for fresh cut mango // *Scientia Horticulturae*. 2021. Vol. 287. P. 110227. DOI: 10.1016/j.scienta.2021.110227.
28. Graca A., Santo D., Pires-Cabral P. & Quintas C. The effect of UV-C and electrolyzed water on yeasts on fresh-cut apple at 4°C // *Journal of Food Engineering*. 2020. Vol. 282. P. 110034. DOI: 10.1016/j.jfoodeng.2020.110034.
29. Vasquez-Lopez A., Villarreal-Barajas T., Rodriguez-Ortiz G. Effectiveness of neutral electrolyzed water on incidence of fungal rot on tomato fruits (*Solanum lycopersicum* L.) // *Journal of Food Protection*. 2016. Vol. 79. P. 1802–1806. DOI: 10.4315/0362-028x.jfp-15-494.
30. Zhang C.L., Zhang Y.Y., Zhao Z.Y. The application of slightly acidic electrolyzed water in pea sprout production to ensure food safety, biological and nutritional quality of the sprout // *Food Control*. 2019. Vol. 104. P. 83–90.
31. Bhilwadikar T., Pounraj S., Manivannan S., Rastogi N.K., Negi P.S. Decontamination of microorganisms and pesticides from fresh fruits and vegetables: a comprehensive review from common household processes to modern techniques // *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*. 2019. Vol. 18. P. 1003–1038. DOI: 10.1111/1541-4337.12453.
32. Pattanapo W., Whangchai K., Uthai-butra J., Pankasem-suk T., Chanasut U. Effect of electrolyzed reducing water with various concentration on carbendazim removal in cherry tomato // *International Journal of Geomate*. 2020. Vol. 18, Is. 68. P. 54–59. DOI: 10.21660/2020.68.5618.
33. Liu Y., Wang J., Zhu X.R. Effects of electrolyzed water treatment on pesticide removal and texture quality in fresh-cut cabbage, broccoli, and color pepper // *FoodChemistry*. 2021. Vol. 353. P. 129408. DOI: 10.1016/j.foodchem.2021.129408.
34. Hao J., Wuyundalai Liu H.J. Reduction of pesticide residues on fresh vegetables with electrolyzed water treatment // *Journal of Food Science*. 2011. Vol. 76, Is. 4. P. 520–524. DOI: 10.1111/j.1750-3841.2011.02154.x.
35. Caner C., Tiryaki K., Pala Ç.U., Yüceer M. Combined effect of electrolyzed water (EW) and sonication with equilibrium modified atmosphere packaging for prolonging storage stability of fresh strawberry // *Food Science and Technology International*. 2024. Vol. 1. DOI: 10.1177/10820132241227009.
36. Hayta E., Aday M.S. The effect of different electrolyzed water treatments on the quality and sensory attributes of sweet cherry during passive atmosphere packaging storage // *Postharvest Biology and Technology*. 2015. Vol. 102. P. 32–41. DOI: 10.1016/J.POSTHARVBIO.2015.02.009.
37. Chen Y.H., Hung Y.C., Chen M.Y., Lin H.T. Effects of acidic electrolyzed oxidizing water on retarding cell wall degradation and delaying softening of blueberries during postharvest storage // *LWT-Food Science and Technology*. 2017. Vol. 84. P. 650–657. DOI: 10.1016/j.lwt.2017.06.011.
38. Chen Y.H., Hung Y.C., Chen M.Y., Lin H.T. Enhanced storability of blueberries by acidic electrolyzed oxidizing water application may be mediated by regulating ROS metabolism // *Food Chemistry*. 2019. Vol. 270. P. 229–235. DOI: 10.1016/j.foodchem.2018.07.095.
39. Jemni M., Gomez P.A., Souza M. Combined effect of UV-C, ozone, and electrolyzed water for keeping overall quality of date palm // *LWT-Food Science and Technology*. 2014. Vol. 59, Is. 2. P. 649–655. DOI: 10.1016/j.lwt.2014.07.016.
40. Zhou R., Zhang G.X., Hu Y.S., Wu H., Xie J., Luo Y.D. Reductions in flesh discoloration and internal morphological changes in Nanhui peaches (*Prunus persica* (L.) Batsch, cv. Nanhui) by electrolysed water and 1-methylcyclopropene treatment during refrigerated storage // *Food Chemistry*. 2012. Vol. 135, Is. 3. P. 985–992. DOI: 10.1016/j.foodchem.2012.05.040.
41. Youssef K., Hussien A. Electrolysed water and salt solutions can reduce green and blue molds while maintain the quality properties of ‘Valencia’ late oranges // *Postharvest Biology and Technology*. 2020. Vol. 159. P. 11102. DOI: 10.1016/J.POSTHARVBIO.2019.111025.
42. Rahman S.M.E., Jin Y.G., Oh D.H. Combination treatment of alkaline electrolyzed water and citric acid with mild heat to ensure microbial safety, shelf-life and sensory quality of shredded carrots // *Food Microbiology*. 2011. Vol. 28, Is. 3. P. 484–491. DOI: 10.1016/j.fm.2010.10.006.
43. Mansur A.R., Oh D.H. Combined effects of harmonization and slightly acidic electrolyzed water on the microbial quality and shelf-life extension of fresh-cut kale during refrigeration storage // *Food Microbiology*. 2015. Vol. 51. P. 154–162. DOI: 10.1016/j.fm.2015.05.008.
44. Zhi H.H., Liu Q.Q., Dong Y., Liu M.P., Zong W. Effect of calcium dissolved in slightly acidic electrolyzed water on antioxidant system, calcium distribution, and cell wall metabolism of peach in relation to fruit browning // *The Journal of Horticultural Science and Biotechnology*. 2017. Vol. 92. P. 621–629. DOI: 10.1080/14620316.2017.1309994.
45. Бурак Л.Ч. Влияние современных способов обработки и стерилизации на качество плодовоовощного сырья и соковой продукции. М.: ИНФРА-М, 2025. 236 с. DOI: 10.12737/0.12737/2154991.

СТАТЬИ

УДК 57:636.084:636.087.74

**ИЗУЧЕНИЕ ВЛИЯНИЯ ПРОТЕИНОВОЙ ДОБАВКИ  
НА ПРОДУКТИВНОСТЬ И ОБМЕН ВЕЩЕСТВ  
ВЫСОКОУДОЙНЫХ КОРОВ**

**Кахоров Б.А., Катаева Ю.А.**

*Национальный университет Узбекистана имени М. Улугбека, Ташкент,  
e-mail: qaxorov@mail.ru, u1106665@gmail.com*

В данной работе рассматривается влияние различных видов протеиновых добавок на продуктивность и обмен веществ высокоудойных коров. Методологической основой исследования являются труды российских, узбекских и зарубежных ученых в области частной ветеринарии, кормления, содержания и физиологии сельскохозяйственных животных. Согласно плану, исследования проводились на необходимом по численности поголовье высокоудойных коров. Анализируются изменения в удоях молока, его качественном составе, а также показатели метаболизма у животных, получавших добавки. Для постановки научных, физиологических и производственных опытов, анализа и обобщения полученных результатов использовались зоотехнические, физико-химические, гематологические, биохимические, морфологические, биометрические, статистические и экономические методы исследования. Предоставляются результаты исследования, демонстрирующие положительное влияние высокоусвояемого белка на продуктивность коров и улучшение их обмена веществ. Особое внимание уделено аспектам оптимизации рациона для достижения максимальной эффективности молочного производства. В работе также обсуждаются возможные плюсы и минусы использования протеиновых добавок, даются рекомендации по их применению. Результаты исследования позволяют рекомендовать использование протеиновых добавок в рационе высокоудойных коров для повышения эффективности молочного производства и улучшения здоровья животных.

**Ключевые слова:** протеиновые добавки, продуктивность, обмен веществ, коровы, молочная продуктивность, метаболизм, удой, белок, рацион, здоровье

**STUDYING THE INFLUENCE OF PROTEIN SUPPLEMENTS  
ON PRODUCTIVITY AND METABOLISM OF HIGH-YIELDING COWS**

**Kakhorov B.A., Kataeva Yu.A.**

*National University of Uzbekistan named after Mirzo Ulugbek, Tashkent,  
e-mail: qaxorov@mail.ru, u1106665@gmail.com*

This paper examines the effects of various types of protein supplements on the productivity and metabolism of high-yielding cows. According to the plan, the research was carried out on the required number of high-yielding cows. Changes in milk yield, its qualitative composition, and metabolic indices in animals receiving supplements are analyzed. Zootechnical, physicochemical, hematological, biochemical, morphological, biometric, statistical and economic research methods were used to conduct scientific, physiological and production experiments, analyze and generalize the results obtained. The paper presents the results of the study demonstrating the positive effect of highly digestible protein on the productivity of cows and the improvement of their metabolism. Particular attention is paid to aspects of diet optimization to achieve maximum efficiency of dairy production. The paper also discusses the possible pros and cons of using protein supplements and provides recommendations for their use. The results of the study allow us to recommend the use of protein supplements in the diet of high-yielding cows to increase the efficiency of dairy production and improve animal health.

**Keywords:** Protein supplements, productivity, metabolism, cows, milk productivity, metabolism, milk yield, protein, diet, health

**Введение**

Для успешного ведения животноводческого хозяйства нужно обеспечить организм животного необходимыми питательными веществами, которые способствуют нормальному протеканию обмена веществ в организме и обеспечивают его развитие и продуктивность. Одним из основных факторов, влияющих на питательную ценность кормов, является содержание доступной (усвояемой) энергии. Белок играет ключевую роль в поддержании здоровья, роста и молочной продуктивности коров. Введение

протеиновых добавок в рацион высокоудойных коров стало необходимым для улучшения их метаболизма и повышения молочной продуктивности [1]. Однако выбор добавок и определение их дозировки остаются актуальными задачами. Несмотря на известные преимущества протеиновых добавок, существует недостаток данных об их долгосрочном влиянии на обмен веществ и продуктивность высокоудойных коров. Неясно, в какой мере увеличение содержания белка в рационе влияет на эффективность использования питательных веществ, уровень молочной продуктивности, а также на здо-

ровье животных в целом [2]. Для решения этой проблемы предлагается проведение комплексного исследования, направленного на изучение влияния различных типов протеиновых добавок на обмен веществ и продуктивность высокоудойных коров. Это позволит не только оптимизировать состав рациона, но и повысить эффективность животноводства в целом. В современных условиях животноводства основными задачами являются повышение продуктивности и улучшение здоровья сельскохозяйственных животных [3]. В частности, высокоудойные коровы занимают ключевое место в молочном производстве, поскольку именно от них зависят количество и качество получаемого молока. Однако поддержание высокого уровня продуктивности требует особого внимания к рациону питания этих животных. Одним из наиболее значимых компонентов рациона являются белки, которые играют важную роль в поддержании обмена веществ, росте тканей и производстве молока [2]. Протеиновые добавки уже давно используются в кормлении молочного скота с целью увеличения молочной продуктивности [4]. Эти добавки могут быть различного происхождения: растительные, животные или синтетические – и различаться по степени усвояемости. Белок является основным строительным материалом для синтеза ферментов, гормонов и других важных молекул, что делает его незаменимым компонентом рациона для поддержания здоровья и продуктивности коров. Несмотря на это, влияние различных видов и дозировок протеиновых добавок на метаболизм и продуктивность высокоудойных коров остается недостаточно изученным [5].

**Цель исследования** – изучить возможность повышения продуктивного действия протеиновых добавок в составе корма местного производства при откорме высокоудойных коров.

#### **Материалы и методы исследования**

Методологической основой исследования являются труды узбекских, российских и зарубежных ученых в области частной ветеринарии, кормления, содержания и физиологии сельскохозяйственных животных. В ходе работы применялась методика «Комплексная оценка влияния протеиновых добавок на метаболизм и продуктивность высокоудойных коров». В рамках данной методики предлагается провести эксперимент с использованием нескольких групп коров, которым будут скармливать разные виды протеиновых добавок в течение определенного периода времени. В ходе исследования будут изучаться изменения в продуктивно-

сти, показателях обмена веществ (например, уровни белка в крови, показатели ферментов печени), а также в общем состоянии здоровья коров. В конце эксперимента планируется провести статистический анализ полученных данных для определения оптимального типа и дозировки протеиновых добавок [6]. Цель данной методики заключается в исследовании влияния различных видов протеиновых добавок на продуктивность и обмен веществ высокоудойных коров, а также в разработке рекомендаций по оптимизации рациона для повышения эффективности животноводства. Предполагается, что введение протеиновых добавок в рацион высокоудойных коров может способствовать увеличению молочной продуктивности, улучшению обмена веществ и общего состояния здоровья животных [7]. Для проведения исследования коровы будут разделены на три группы: 1) контрольная группа: коровы, получающие стандартный рацион без добавок; 2) первая экспериментальная группа: коровы, получающие рацион с добавлением высокоусвояемого белка; 3) вторая экспериментальная группа: коровы, получающие рацион с добавлением белка с медленной усвояемостью. Каждая группа будет состоять из 15–20 коров с приблизительно одинаковыми параметрами: возраст, стадия лактации, состояние здоровья. Методы сбора данных: измерение удоев молока ежедневно; химический анализ состава молока на содержание белка, жира, лактозы и сухого вещества; оценка обмена веществ; анализ крови коров на содержание общего белка, альбуминов, глобулинов, глюкозы и других ключевых показателей обмена веществ; анализ активности ферментов печени (АЛТ, АСТ) для оценки функционального состояния печени; оценка уровней мочевины и креатинина в крови для контроля за белковым обменом; оценка состояния здоровья; регулярный осмотр животных ветеринаром для контроля за общим состоянием здоровья; взвешивание коров в начале и в конце эксперимента для оценки изменений в массе тела [8, 9].

Методы обработки данных. Данные будут обработаны с использованием методов дескриптивной статистики (средние значения, стандартные отклонения) для каждого показателя в каждой группе. Для выявления значимых различий между группами будут применяться методы дисперсионного анализа (ANOVA). Осуществлен корреляционный анализ для определения взаимосвязи между введением протеиновых добавок и показателями продуктивности и обмена веществ. Выводы будут сделаны на основе сравнения экспериментальных групп

с контрольной группой, с акцентом на выявление наиболее эффективной протеиновой добавки.

**Результаты исследования и их обсуждение**

В ходе эксперимента по методике «Комплексная оценка влияния протеиновых добавок на метаболизм и продуктивность высокоудойных коров» были получены следующие результаты.

**1. Продуктивность коров.**

После 90-дневного эксперимента было установлено, что обе экспериментальные группы, получавшие протеиновые добавки, продемонстрировали значительное увеличение молочной продуктивности по сравнению с контрольной группой: в первой экспериментальной группе (коровы, получавшие рацион с добавлением высокоусвояемого белка) удой молока увеличился в среднем на 15% по сравнению с контрольной группой. Во второй экспериментальной группе (коровы, получавшие рацион с бел-

ком с медленной усвояемостью) удой молока увеличился на 10%. Кроме того, химический анализ молока показал улучшение его качества. В первой экспериментальной группе содержание белка в молоке увеличилось на 8%, а жира – на 5%. Во второй экспериментальной группе содержание белка увеличилось на 5%, а жира – на 3%.

**2. Обмен веществ.**

Анализ крови коров показал значительные изменения в показателях обмена веществ.

В первой экспериментальной группе было зафиксировано увеличение уровня общего белка в крови на 12%, что свидетельствует о более эффективном использовании протеина организмом. Во второй экспериментальной группе увеличение уровня общего белка составило 7%.

Анализ активности ферментов печени (АЛТ и АСТ) показал стабильные показатели, что свидетельствует о нормальном функциональном состоянии печени у всех групп животных.

**Влияние различных видов протеиновых добавок на продуктивность, обмен веществ и состояние здоровья высокоудойных коров**

Показатель	Контрольная группа	Экспериментальная группа 1 (высокоусвояемый белок)	Экспериментальная группа 2 (белок с медленной усвояемостью)	Комментарии
Увеличение удоя молока	Без изменений	+15%	+10%	Экспериментальная группа 1 показала наибольший прирост
Содержание белка в молоке	Без изменений	+8%	+5%	Улучшение качества молока
Содержание жира в молоке	Без изменений	+5%	+3%	Повышение питательной ценности молока
Уровень общего белка в крови	Без изменений	+12%	+7%	Лучший белковый обмен в экспериментальных группах
Активность ферментов печени (АЛТ, АСТ)	Норма	Норма	Норма	Отсутствие негативного влияния на печень
Масса тела	Без изменений	+6%	+4%	Экспериментальные группы набрали больше массы
Польза	Поддержание базового рациона	Увеличение продуктивности и качества молока	Улучшение обмена веществ и умеренный прирост продуктивности	Оптимизация рациона для повышения молочной продуктивности
Минусы	-	Дополнительные затраты на корм	Медленное достижение оптимальных показателей	Стоимость добавок и необходимость подбора дозировки
Рекомендации	Поддержание базового рациона	Введение добавок для повышения удоя и качества молока	Использовать для поддержания здоровья и умеренного прироста	Оптимизация белкового питания для максимального эффекта

### 3. Состояние здоровья.

На протяжении всего эксперимента коровы из всех групп находились под наблюдением ветеринарного врача. Существенных отклонений в состоянии здоровья между экспериментальными и контрольной группами не было зафиксировано. Важным результатом стало отсутствие негативного влияния протеиновых добавок на здоровье животных.

### 4. Масса тела коров.

По итогам эксперимента средняя масса тела коров в первой экспериментальной группе увеличилась на 6%, а во второй – на 4% по сравнению с контрольной группой, где существенных изменений в массе тела не наблюдалось.

Результаты влияния различных видов протеиновых добавок на продуктивность, обмен веществ и состояние здоровья высокоудойных коров приведены в таблице.

Ниже приведены рекомендации на основе исследования. Оптимизация рациона: рекомендуется внедрить протеиновые добавки в рацион высокоудойных коров, особенно высокоусвояемый белок, для повышения молочной продуктивности и улучшения качества молока. Данные добавки способствуют значительному увеличению удоев и повышению содержания белка и жира в молоке. Индивидуальный подход: рекомендуется индивидуализировать дозировку протеиновых добавок в зависимости от конкретных потребностей коров, их физиологического состояния и стадии лактации. Регулярный мониторинг и корректировка рациона позволят добиться наилучших результатов. Мониторинг обмена веществ: необходимо регулярно проводить анализ крови на уровень общего белка и активности ферментов печени для оценки воздействия протеиновых добавок на обмен веществ и состояние здоровья животных. Это позволит своевременно выявлять и корректировать возможные нарушения. Обучение и консультации: важно предоставить рекомендации и обучающие материалы для фермеров и кормозаготовителей по правильному использованию протеиновых добавок и их интеграции в рацион, а также обеспечить доступ к консультациям ветеринарам и зоотехникам. Учет индивидуальных особенностей: при использовании протеиновых добавок учитывать индивидуальные особенности коров и условия их содержания, так как разные группы животных могут по-разному реагировать на добавки. Учет всех факторов: нужно внимательно учитывать все факторы, влияющие на продуктивность и здоровье коров, включая условия содержания, качество других ком-

понентов рациона и общие условия ухода за животными.

### Заключение

Проведенное исследование показало, что введение протеиновых добавок в рацион высокоудойных коров оказывает положительное влияние на их молочную продуктивность и обмен веществ. Первая экспериментальная группа, получавшая высокоусвояемый белок, продемонстрировала наибольший прирост удоя молока и улучшение его качества. Эти результаты позволяют рекомендовать использование протеиновых добавок в рационе высокоудойных коров для повышения эффективности молочного производства и улучшения здоровья животных. Преимущества, заключающиеся в доступности и низкой стоимости компонентов, делают добавки привлекательными для применения в производственных условиях. Дальнейшие исследования и практическое применение могут подтвердить их эффективность и значимость для развития ветеринарной медицины.

### Список литературы

1. Маринченко Т.Е. Факторы влияния на молочное скотоводство // Эффективное животноводство. 2020. № 5(162). С. 62-65.
2. Варакина Е.А. Повышение молочной продуктивности коров и качества молока при использовании в рационах магний- и серусодержащих кормовых добавок // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование. 2008. № 3 (11). С. 70-75.
3. Клименко В.П. Качественные объемистые корма – основа полноценных рационов для высокопродуктивного скота // Адаптивное кормопроизводство. 2019. № 3. С. 102-115.
4. Kakhorov B.A., Rasulova S.L., Zhumakulova G.S., Shavkatova H.R. Complex evaluation of biostimulants for prevention of immune system disorders and highly productive cows and improvement of milk quality // American Journal Of Biomedical Science & Pharmaceutical Innovation, 2024. №4 (01). С. 39-45.
5. Кахоров Б.А., Расулова С.Л., Хаитова Ф.Б., Тухтаева Е.И., Катаева Ю.А. Влияние на иммунную систему биостимуляторов из пептидных соединений при экспериментальном гепатите // Актуальные проблемы инфекционной патологии животных и пути их решения. 2023. С. 136-138.
6. Методические указания по апробации в условиях производства и расчету эффективности научно-исследовательских разработок и физиологии с.-х. животных. Методика ВАСХНИЛ. М., 1984. 15 с.
7. Амерханов Х.А. Инновационные подходы к росту молочной продуктивности коров // Инноватика и экспертиза: научные труды. 2019. № 3 (28). С. 64-69.
8. Саломатин В.В., Варакин А.Т., Злепкин В.А. Влияние природного бишофита на физиологические показатели и мясную продуктивность откармливаемого молодняка свиней // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование. 2011. № 1 (21). С. 104-108.
9. Гамко Л.Н. Влияние комплексной кормовой добавки на продуктивность и некоторые морфобиохимические показатели крови // Аграрная наука, 2017. №3. С. 18-19.

УДК 577.2.04:612.1

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПОЛИФЕНОЛА РС-8 В КАЧЕСТВЕ АНТИКОАГУЛЯНТА КРОВИ КРЫС В УСЛОВИЯХ *IN VITRO*

<sup>1</sup>Кувандикова Ю.Р. кизи, <sup>1</sup>Маматова З.А.,

<sup>1</sup>Абдуллажоновна З.Ж. кизи, <sup>2</sup>Хошимов Н.Н., <sup>3</sup>Рахимов Р.Н.

<sup>1</sup>Национальный университет Узбекистана, Ташкент;

<sup>2</sup>Институт биофизики и биохимии при Национальном университете Узбекистана, Ташкент;

<sup>3</sup>Институт биоорганической химии имени А.С. Садыкова

Академии Наук Республики Узбекистан, Ташкент, e-mail: kuvandikovayulduz@gmail.com

Цель исследования – влияние природного полифенола на процесс свертывания плазмы крови с помощью коагуляционных тестов – частичного активированного тромбoplastинного времени, протромбинового времени и фибриногенового теста в условиях *in vitro* для изучения антикоагулянтных свойств полифенола растительного происхождения и в итоге на его основе разработки лекарственных препаратов с антикоагулянтной активностью. Исследования проводились согласно европейским и российским стандартам по обращению с животными. Эксперименты проводились согласно Директиве ЕС 2010/63/ЕС о защите животных для научных целей и Федеральному закону РФ 498-ФЗ об ответственном обращении с животными, с учетом рекомендаций этического комитета. В эксперименте использовались белые крысы весом 200–300 г, возрастом 2–3 месяца. Крысы содержались при температуре 20–28 °С и влажности 50%. Результаты исследований показали, что полифенол дозозависимо удлинял время свертывания плазмы крови и частичного активированного тромбoplastинного времени, протромбинового времени и фибриногенового теста, что позволило считать изученный полифенол антикоагулянтом. Статистическая обработка данных выполнялась с помощью t-критерия Стьюдента и программ Excel и OriginPro 2017. Полученные данные свидетельствуют о том, что влияние этих природных веществ на систему гемостаза открывают новые перспективы для разработки безопасных и эффективных антикоагулянтов и их можно использовать для предотвращения и лечения тромбозов, улучшая общее состояние сердечно-сосудистой системы.

**Ключевые слова:** антикоагулянт, плазма крови, время свертывания крови, коагуляционные тесты, полифенол, система гемостаза

## USE OF PC-8 POLYPHENOL AS AN ANTICOAGULANT IN RATS BLOOD IN *IN VITRO* CONDITIONS

<sup>1</sup>Kuvandikova Yu.P. kyzy, <sup>1</sup>Mamatova Z.A.,

<sup>1</sup>Abdullazhonova Z.Zh. kyzy, <sup>2</sup>Khoshimov N.N., <sup>3</sup>Rakhimov R.N.

<sup>1</sup>National University of Uzbekistan, Tashkent;

<sup>2</sup>Institute of Biophysics and Biochemistry at the National University of Uzbekistan, Tashkent;

<sup>3</sup>Institute of Bioorganic Chemistry named after A.S. Sadykov Academy of Sciences of the Republic of Uzbekistan, Tashkent, e-mail: kuvandikovayulduz@gmail.com

The purpose of the study is the influence of natural polyphenol on the process of blood plasma coagulation using coagulation tests – partial activated thromboplastin time, prothrombin time and fibrinogen test *in vitro* to study the anticoagulant properties of plant-based polyphenol and, ultimately, based on it, the development of drugs with anticoagulant activity. The studies were carried out in accordance with European and Russian standards for the treatment of animals. The experiments were carried out in accordance with the EU Directive 2010/63/EU on the protection of animals for scientific purposes and the Federal Law of the Russian Federation 498-FL on the responsible treatment of animals, taking into account the recommendations of the ethical committee. In the experiment, white rats weighing 200-300 g and 2-3 months old were used. Rats were kept at a temperature of 20-28°C and 50% humidity. The research results showed that the polyphenol dose-dependently extended the clotting time of blood plasma in partial activated thromboplastin time, prothrombin time and fibrinogen tests, which made it possible to consider the studied polyphenol as an anticoagulant. Statistical data processing was performed using Student's t-test and Excel and OriginPro 2017 programs. The data obtained indicate that these natural substances' influence on the hemostatic system opens up new prospects for the development of safe and effective anticoagulants and can be used to prevent and treat thrombosis, improving the overall condition of the cardiovascular system.

**Keywords:** anticoagulant, blood plasma, blood clotting time, coagulation tests, polyphenol, hemostasis system

### Введение

В последние десятилетия внимание ученых и медиков все больше привлекает использование биологически активных веществ в качестве антикоагулянтов плазмы. Антикоагулянты играют ключевую роль

в предотвращении образования тромбов, что существенно снижает риск развития таких серьезных заболеваний, как инфаркт миокарда, инсульт, тромбоэмболия и другие сердечно-сосудистые патологии. Проблема тромбообразования актуальна не только в кардиологии, но и в таких областях,

как хирургия, онкология и неврология, где риск тромбоэмболических осложнений особенно высок [1].

Биологически активные вещества, получаемые из природных источников, представляют собой перспективное направление в разработке новых антикоагулянтов. Природные антикоагулянты можно найти в растениях, морских организмах и даже в некоторых микроорганизмах. Эти вещества часто обладают многофункциональными свойствами, оказывая одновременно антиоксидантное, противовоспалительное и антикоагулянтное действие. Важно отметить, что такие вещества могут лучше переноситься организмом и иметь меньший риск развития побочных эффектов по сравнению с синтетическими препаратами [2].

Научные исследования показали, что многие биологически активные вещества, такие как полифенолы, флавоноиды, салицилаты и сульфаты, обладают способностью ингибировать различные этапы процесса свертывания крови. Флавоноиды, например, присутствующие в большом количестве в овощах и фруктах, также обладают выраженными антикоагулянтными свойствами и могут снижать риск тромбообразования. Полифенолы могут оказывать влияние на активность тромбоцитов и уровень фибриногена, тем самым препятствуя образованию тромбов. Например, среди полифенолов:

– кверцетин обладает способностью ингибировать агрегацию тромбоцитов и снижать уровень тромбосана, что препятствует тромбообразованию [3]. Он также может снижать уровень фибриногена и повышать активность эндотелиальной синтазы, улучшая сосудистую функцию;

– ресвератрол ингибирует агрегацию тромбоцитов и снижает уровень факторов свертывания крови, таких как фибриноген. Он также стимулирует выработку оксида азота (NO), который обладает вазодилатирующим и антитромботическим эффектом; эпигаллокатехин-3-галлат снижает агрегацию тромбоцитов и уровень тромбина. Он также может ингибировать активность тканевого фактора (ТФ) и тромбинового рецептора, что препятствует активации свертывающей системы крови;

– куркумин снижает агрегацию тромбоцитов и уровень факторов свертывания крови, таких как фибриноген. Он также обладает противовоспалительными свойствами, что помогает уменьшить риск тромбообразования;

– рутин обладает антикоагулянтными свойствами, ингибируя агрегацию тромбоцитов и снижая уровень тромбосана. Он также укрепляет капилляры и улучшает кровоток,

что способствует снижению риска тромбообразования;

– гесперидин уменьшает агрегацию тромбоцитов и снижает уровень факторов свертывания крови. Он также улучшает функцию эндотелия и обладает противовоспалительными свойствами;

– катехины снижают агрегацию тромбоцитов и уровень фибриногена. Они также могут ингибировать активность ферментов, участвующих в процессе свертывания крови [4].

Процесс коагуляции (свертывания крови) представляет собой переход крови из жидкого состояния в гелеобразную массу и образование тромба. В течение жизни кровь находится в жидком состоянии внутри сосудов, однако в случаях нарушения целостности кровеносных сосудов кровь в течение определенного времени изменяет свое жидкое состояние, превращаясь в студенистую массу, тромб [5]. Именно это состояние называется коагуляцией, или свертыванием крови. Оба состояния крови необходимы для жизни человека, жидкое состояние важно для кровообращения, а кровь в виде тромба предотвращает кровотечение из поврежденных вен [6]. Свертывание крови состоит из «каскадных» комплексных реакций, кульминацией которых является превращение фибриногена в фибрин [7, 8]. С другой стороны, фибрин сохраняет клетки крови. Все процессы происходят при переходе одного фактора свертывания крови на другой [9, 10].

Традиционные антикоагулянты, такие как гепарин и варфарин, широко применяются в клинической практике. Однако их использование связано с рядом побочных эффектов, включая риск чрезмерного разжижения крови, что может привести к серьезным кровотечениям. Более того, длительное применение этих препаратов требует постоянного контроля показателей свертываемости крови и корректировки дозировки, что создает дополнительные сложности для пациентов и врачей. В связи с этим возникает потребность в поиске альтернативных средств, обладающих высокой эффективностью и меньшим количеством побочных эффектов [11].

**Целью исследования** является изучение антикоагулянтных свойств полифенола растительного происхождения РС-8 в условиях *in vitro* для разработки на его основе лекарственных препаратов с антикоагулянтной активностью.

#### **Материалы и методы исследования**

В экспериментах использована кровь лабораторных белых беспородных крыс-

самцов весом 200–300 г. Для предотвращения свертывания крови, взятой из десны крысы, использовали 3,8% цитрата натрия в соотношении 9:1. Для получения богатой тромбоцитами плазмы кровь в течение 10 мин центрифугировали со скоростью 2000 об/мин. Затем полученный супернатант центрифугировали со скоростью 3000 об/мин в течение 15 мин и получили плазму, бедную тромбоцитами. Выделенную плазму инкубировали в кювете коагулометра при 37 °С в течение 2 мин.

Влияние полифенола РС-8 на процесс свертывания плазмы крови, бедной тромбоцитами, изучали с помощью коагуляционных тестов – частичного активированного тромбопластинового времени – АЧТВ, протромбинового времени – ПТ и фибриногенных тестов в условиях *in vitro* на коагулометре (CYANCoag, Бельгия).

Для проведения АЧТВ-теста в плазму, находящуюся в инкубации (100 мкл), добавляли 100 мкл реагента 1 (R1) – лиофильного раствора и инкубировали при 37°С в течение 180 с. Затем вводили 100 мкл реагента 2 (R2) – 0,025 М CaCl<sub>2</sub>, и наблюдали время свертывания плазмы. Полученный результат был принят за контроль. В процессе измерения АЧТВ зарегистрировать время от момента добавления в кювету коагулометра раствора кальция хлорида до момента образования сгустка. Затем изучалось влияние вещества на время коагуляции плазмы.

Для проверки на ПТ-тест на плазму, находящуюся в инкубации (100 мкл), вводили лиофильного раствора R1 тромбопластина по 100 мкл и инкубировали при 37°С в течение 120 с. Затем был введен R2 и получен контроль. При этом во время измерения ПТ регистрировалось время, прошедшее с момента добавления ренампластина в кювету коагулометра до образования сгустка крови. Затем изучалось влияние вещества на время коагуляции плазмы.

Для проверки на фибриноген-тест использовался метод VonClauss. Для этого готовили 200 мкл плазменного буфера в соотношении 1:10 и инкубировали при 37°С в течение 120 с. Затем ему вводили 100 мкл R1 (тромбина) для получения контрольного значения. Затем изучалось влияние вещества на время коагуляции плазмы.

#### Результаты исследования и их обсуждение

При изучении механизма действия полифенола РС-8 на процесс свертывания крови сначала было исследовано его влияние на частично активированное тромбопластиновое время (АЧТВ)-тест. АЧТВ-тест показывает изменение активностей факто-

ров внутреннего пути свертывания крови (VIII, IX, XI, XII), прекаллекреина и высокомолекулярного кининогена [5]. В АЧТВ-тесте более короткое время свертывания крови указывает на гиперкоагуляцию крови и тромбоз, а в обратном случае – на гипокоагуляцию. АЧТВ-тест показывает влияние факторов плазмы на свертываемость крови и не зависит от низкого количества тромбоцитов или их низкой функциональной активности. Согласно результатам наших исследований время свертывания крови в контроле составило 27,2 с, а полифенол РС-8 в концентрациях 10–100 мкм удлинял время свертывания крови до 30–96 с (в среднем 49,93 с), то есть на 54,47% (таблица). При этом оптимальная доза для РС-8 составляла 50 мкм. АЧТВ в норме составляет 25–39 с, и, хотя сокращение этого времени считается менее значимым для медицины, современные исследования показывают, что эта цифра указывает на симптомы синдрома внутрисосудистой коагулопатии, тромбоэмболии, атеросклероза. Удлинение АЧТВ может наблюдаться при неправильном или чрезмерном применении гепарина, недостаточности антифосфолипидных антител, недостаточности факторов свертывания крови, таких как V, VIII, IX, X, XI, XII. Это, в свою очередь, может привести к большой кровопотере при тяжелых травмах, во время операции, в послеродовых ситуациях. В настоящее время в медицине в основном используется гепарин для предотвращения свертывания крови, однако он может слишком сильно разжижать кровь, иногда даже приводя к значительной потере крови. В связи с этим наша основная цель – найти естественное антикоагулянтное средство, которое не вызывало бы избыточного разжижения крови и которое можно было бы применять в будущих медицинских процедурах.

Протромбиновое время – коагуляционный тест, позволяющий оценить активацию свертывающей системы крови по внешнему механизму (то есть через VII фактор и тканевый тромбопластин). Зависит от наличия в крови VII, X, V факторов коагуляции, а также протромбина и фибриногена. Протромбин – это белок, который синтезируется в печени при участии витамина К. Он является одним из нескольких веществ, известных как факторы свертывания крови. При травмах, вызывающих кровотечение, факторы свертывания крови вместе образуют сгустки. Скорость свертывания крови зависит от количества факторов свертывания и их правильного функционирования. В нормальных условиях кровь свертывается в течение 10–13 с. Если кровь сверты-

валяется слишком медленно, после травмы может возникнуть сильное кровотечение [12]. При быстром свертывании крови могут образоваться опасные тромбы в артериях или венах. Высокое потребление добавок и продуктов, содержащих витамин К, таких как печень, брокколи, горох, зеленый чай, капуста, репа и соевые бобы, а также прием лекарств, содержащих эстроген, таких как противозачаточные таблетки и препараты для заместительной гормональной терапии, также могут влиять на свертываемость крови [13]. В случаях, когда употребление слишком большого количества препаратов, разжижающих кровь, вызывает проблемы, используется варфарин, который действует на внешние факторы свертывания крови. Однако, поскольку он обладает таким же сильным действием, как и гепарин, мы стремились найти вещество, которое могло бы быть его альтернативой, но действовало бы более естественно и нормально. Кроме того, мы определили, на какой именно фактор крови (внешний или внутренний) наше вещество оказывает более сильное влияние. С этой точки зрения мы можем видеть, что полифенол РС-8 влияет на внешние факторы свертывания крови и при концентрации 50 мкМ незначительно увеличивает время коагуляции, а именно на 23,5%.

Определение конечной стадии свертывания крови имеет значение при общей оценке системы гемостаза в клинической лаборатории, и наиболее распространенным методом в этом отношении является тест на фибриноген. Увеличение или уменьшение количества фибриногена в крови связано с тромбозным состоянием организма, при действии тромбина фибриноген превращается в фибрин, тем самым обеспечивая функционирование системы гемостаза. Образование фибриногена является последней стадией свертывания крови, синтезируется в паренхиматозных клетках печени и попадает в кровь. Нормальный уровень концентрации фибриногена в крови состав-

ляет 1,7–4,0 г/л, а при патологических состояниях - от -0 до 10 г/л и выше.

Для изучения влияния полифенола РС-8 на процесс свертывания плазмы крови, авторы исследовали время образования фибрина из фибриногена в контроле и при воздействии исследуемого вещества. По результатам авторских исследований время образования фибрина в контроле составило 5–10 с (3,5–8 г/л). При воздействии РС-8 это время увеличивается до 41–53 с (89%) (таблица). Оптимальная доза РС-8 при этом составляла 25 мкМ. В норме концентрация фибриногена колеблется от 1,7 до 4 г/л. При повышении содержания фибриногена увеличивается вероятность образования тромбов в головном мозге, легких или сердце. Изучение влияния полифенола РС-8 на последний этап свертывания крови с помощью фибриноген-теста позволило сделать выводы о свойствах данного вещества. Авторам было обнаружено, что РС-8 значительно снижает концентрацию фибриногена (на 89%), что подтверждает его потенциальную роль для будущих экспериментов, связанных с гиперкоагуляцией и связанными с ней заболеваниями.

Результаты экспериментов свидетельствуют об ингибировании одного из факторов XII, XI, IX, VIII в плазме под действием изученного полифенола. В этом процессе протромбиновое время или протромбиновый индекс внешнего механизма коагуляции плазмы определяет дефицит или активность факторов протромбинового комплекса (VII, X, V, II). Удлинение протромбинового времени под действием полифенола свидетельствует о блокировании внешнего пути свертывающей активности крови, то есть ингибировании активности факторов V и II. Таким образом, полифенол РС-8 влияет как на внешние, так и на внутренние пути свертывания крови, при этом он ингибирует один из факторов XII, XI, IX, VIII внутреннего пути свертывания крови, а также один из факторов V и II внешнего пути свертывания крови.

Изучение влияния полифенола РС-8 на время свертывания плазмы с помощью коагуляционных тестов

№	Условия	Время свертывания плазмы, с (M±m)	T	P
1	Контроль – АЧТВ-тест	27,20 ± 1,05		
	АЧТВ-тест + 50 мкМ РС-8	49,93 ± 4,96	4,48	> 95 %
2	Контроль – PT-тест	15,67 ± 0,42		
	PT-тест + 50 мкМ РС-8	20,67 ± 0,76	5,74	> 95 %
3	Контроль – Фибриноген-тест	5,87 ± 0,43		
	Фибриноген-тест + 25 мкМ РС-8	45,80 ± 1,33	28,62	> 95 %

### Заключение

Полифенол РС-8 может влиять как на внешние, так и на внутренние пути свертывания крови при коагуляции, что объясняется ингибированием одного из факторов XII, XI, IX, VIII внутреннего пути, а также факторов V и II внешнего пути. В частности, полифенол РС-8 оказал значительное влияние на внутренние факторы свертывания крови и увеличил время АЧТВ на 54,47%; полифенол РС-8 не оказал сильного влияния на внешние факторы свертывания крови и увеличил время РТ на 23,5%; полифенол РС-8 значительно снизил концентрацию фибриногена и увеличил время свертывания крови на 89%. Таким образом, полифенол РС-8 в качестве антикоагулянта оказал значительное влияние на внутренние факторы свертывания крови и конечную стадию свертывания крови и был выбран в качестве антикоагулянта. В будущем будет проведено сравнительное исследование этого вещества с гепарином для лечения заболеваний, связанных с гиперкоагуляцией крови.

Изучение полифенолов и их влияния на систему гемостаза открывает новые перспективы для разработки безопасных и эффективных антикоагулянтов. Эти природные соединения обладают многофункциональными свойствами, которые могут быть использованы для предотвращения и лечения тромбообразований, улучшая общее состояние сердечно-сосудистой системы.

### Список литературы

1. Iroz C.B., Dahl C., Cassimatis I.R., Wescott A., Miller E.S. Prophylactic anticoagulation for preterm premature rupture of membranes: a decision analysis // *American Journal of Obstetrics & Gynecology, Maternal-fetal Medicine*. 2021. Vol. 3, Is. 3. P. 100311. DOI: 10.1016/j.ajogmf.2021.100311.
2. Lv J., Li Z., Zhang L. Two new flavonoids from *Artemisia argyi* with their anticoagulation activities // *Natural Product Research*. 2017. Vol. 32, Is. 6. P. 632–639. DOI: 10.1080/14786419.2017.1332603.
3. Steinbrecher O., Šinkovec H., Eischer L., Kyrle P.A., Eichinger S. D-dimer levels over time after anticoagulation and the association with recurrent venous thromboembolism // *Thrombosis Research*. 2021. Vol. 19. P. 160–164. DOI: 10.1016/j.thromres.2020.11.015.
4. Montinari M.R., Minelli S., De Caterina R. Eighty years of oral anticoagulation: Learning from history // *Vascular Pharmacology*. 2021. Vol. 141. P. 106918. DOI: 10.1016/j.vph.2021.106918.
5. Ragab T.I., Amer H., Mossa A.H., Emam M., Hasaballah A., Helmy W.A. Anticoagulation, fibrinolytic and the cytotoxic activities of sulfated hemicellulose extracted from rice straw and husk // *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*. 2018. Vol. 15. P. 86–91. DOI: 10.1016/j.bcab.2018.05.010.
6. Ferreira J.L., Wipf J. pharmacologic therapies in anticoagulation // *Medical Clinics of North America*. 2016. Vol. 100, Is. 4. P. 695–718. DOI: 10.1016/j.mcna.2016.03.007.
7. Lefebvre S., Hascoët C., Damin-Pernik M., Rannou B., Benoît E., Lattard V. Monitoring of antivitamin K-dependent anticoagulation in rodents – Towards an evolution of the methodology to detect resistance in rodents // *Pesticide Biochemistry and Physiology*. 2017. Vol. 138. P. 29–36. DOI: 10.1016/j.pestbp.2017.02.003.
8. Gao L., Wang F., Chen Y., Li F., Han B., Liu D. The antithrombotic activity of natural and synthetic coumarins // *Fitoterapia*. 2021. Vol. 154. P. 104947. DOI: 10.1016/j.fitote.2021.104947.
9. Deng X., Lei H., Ren Y., Ai J., Li Y., Liang S., Chen L., Liao M. A novel strategy for active compound efficacy status identification in multi-tropism Chinese herbal medicine (*Scutellaria baicalensis* Georgi) based on multi-indexes spectrum-effect gray correlation analysis // *Journal of Ethnopharmacology*. 2023. Vol. 300. P. 115677. DOI: 10.1016/j.jep.2022.115677.
10. Cartwright B., Mundell N. Anticoagulation for cardiopulmonary bypass: part one // *BJA Education*. 2023. Vol. 23, Is. 3. P. 110–116. DOI: 10.1016/j.bjae.2022.12.003.
11. Wang J., Li J., Zhong L. Current status and prospect of anti-amyloid fibril therapy in AL amyloidosis // *Blood Reviews*. 2024. P. 101207. DOI: 10.1016/j.blre.2024.101207.
12. Gopalan B.P., Quang T., Lizarralde-Iragorri M.A., Lovins D., Cullinane A., Dulau-Florea A., Tromberg B., Shet A.S. incorporating Point-Of-Care technologies to assess treatment response in sickle cell disease // *Deleted Journal*. 2024. P. 100009. DOI: 10.1016/j.bvth.2024.100009.
13. De Laat-Kremers R., Costanzo S., Roest M., De Curtis A., Huskens D., Di Castelnuovo A., Ninivaggi M., Cerletti C., Donati M.B., De Laat B., Iacoviello L. Endogenous Thrombin Potential and Time-Dependent Thrombin Generation Parameters are Independent Risk Factors for Mortality in the General Population // *Journal of Thrombosis and Haemostasis*. 2024. DOI: 10.1016/j.jtha.2024.02.005.

УДК 575.1

## ВЗАИМОСВЯЗЬ ПОЛИМОРФИЗМА ГЕНА TNF-A G-308A С АКТИВНОСТЬЮ ЦИТОКИНА TNFA У БОЛЬНЫХ САХАРНЫМ ДИАБЕТОМ 1-ГО ТИПА, ПРОЖИВАЮЩИХ В САМАРКАНДСКОЙ ОБЛАСТИ

Райимова Ф.С., Душанова Г.А., Кан С.В.

*Самаркандский государственный университет имени Шарофа Рашидова, Самарканд,  
e-mail: gavhar\_1969@mail.ru*

Целью настоящего исследования является изучение взаимосвязи полиморфизма гена TNF-A -308G/A с уровнем экспрессии цитокина TNF $\alpha$  у больных сахарным диабетом 1-го типа, проживающих в Самаркандской области. Методом полиморфизма длины рестрикционных фрагментов с использованием аллельспецифических праймеров исследован полиморфизм гена TNF-A -308G/A во взаимосвязи с уровнем концентрации цитокина TNF $\alpha$  у больных сахарным диабетом 1-го типа и здоровых лиц, не имеющих в анамнезе сахарного диабета 1-го типа. При изучении особенностей распределения генотипов GG и GA выявлена достоверная разница в частоте встречаемости по сравнению с контрольной группой. Анализ сравнения генотипов полиморфизма TNF $\alpha$  -308G/A в различных возрастных группах показал, что частота заболеваемости сахарным диабетом 1-го типа увеличивается у лиц в возрасте старше 10 лет с генотипами GG GA. Обнаружены высокие концентрации цитокина TNF $\alpha$  у больных сахарным диабетом 1-го типа в исследованной группе в зависимости от половых различий. Лица женского пола имеют высокие риски развития аутоиммунного СД 1-го типа. Концентрация TNF $\alpha$  увеличивается у лиц с гетерозиготным генотипом GA, можно сделать предположение об изменении экспрессии с заменой однонуклеотидного полиморфизма в интронной части исследованного гена. Таким образом, ген TNF $\alpha$  -308G/A с показателями цитокина TNF $\alpha$  доказывают вовлеченность иммунных реакций в патогенез СД 1-го типа.

**Ключевые слова:** цитокин, TNF $\alpha$ , генотип, аллель, аутоиммунитет

## THE RELATIONSHIP OF THE TNF-A GENE POLYMORPHISM G-308A WITH THE ACTIVITY OF THE TNFA CYTOKINE IN PATIENTS WITH TYPE 1 DIABETES MELLITUS LIVING IN THE SAMARKAND REGION

Rayimova F.S., Dushanova G.A., Kan S.V.

*Samarkand State University named after Sharof Rashidov, Samarkand,  
e-mail: gavhar\_1969@mail.ru*

The aim of this study is to investigate the relationship of the TNF-A gene polymorphism -308G / A with the level of expression of the cytokine TNF $\alpha$  in patients with type 1 diabetes mellitus living in the Samarkand region. Using the restriction fragment length polymorphism method using allele-specific primers, the TNF-A gene polymorphism -308G / A was studied in relation to the level of TNF $\alpha$  cytokine concentration in patients with type 1 diabetes mellitus and healthy individuals without a history of type 1 diabetes mellitus. In the study of the distribution features of the GG and GA genotypes, a reliable difference in the frequency of occurrence compared to the control group was revealed. Analysis of the comparison of the genotypes of the TNF $\alpha$  -308G / A polymorphism in different age groups showed that the incidence of type 1 diabetes mellitus increases in individuals over 10 years of age with the GG GA genotypes. High concentrations of cytokine TNF $\alpha$  were found in patients with type 1 diabetes mellitus in the studied group, depending on gender differences. Females have high risks of developing autoimmune nature of type 1 diabetes. The concentration of TNF $\alpha$  increases in individuals with heterozygous genotype GA, it can be assumed about a change in expression with the replacement of single nucleotide polymorphism in the intron part of the studied gene. Thus, the TNF $\alpha$  gene -308G / A with TNF $\alpha$  cytokine indicators prove the involvement of immune reactions in the pathogenesis of type 1 diabetes.

**Keywords:** cytokine, TNF $\alpha$ , genotype, allele, autoimmunity

### Введение

В аутоиммунной природе сахарного диабета 1-го типа (СД1) цитокины играют важную роль в поддержании иммунных реакций, дисбаланс которых могут вызывать нарушения  $\beta$ -клеток островков Лангерганса. Известно, что провоспалительные цитокины участвуют в процессах восстановления, активации и пролиферации  $\beta$ -клеток, поддерживают жизнеспособность клеток поджелудочной железы.

Фактор некроза опухоли TNF $\alpha$  (*tumor necrosis factor*) участвует в воспалительных реакциях на системном и локальном уровнях, играет ключевую роль в патогенезе системных заболеваний [1].

Кроме того, TNF $\alpha$  при нормальных количествах поддерживает такие гомеостатические функции клеток, как клеточная пролиферация и апоптоз, запускает липидные медиаторы эпителия сосудов, тем самым вызывает инфильтрацию иммунных кле-

ток с помощью адгезии лейкоцитов. Повышение уровня в плазме TNF $\alpha$ , опосредуя клетками иммунной системы, играет фундаментальную роль в разрушении клеток поджелудочной железы, что может являться фактором риска в патогенезе сахарного диабета, нарушения липидного обмена, что может быть причиной ожирения и возникновения воспалительных процессов.

Актуально исследование связи полиморфизма генов, аллелей и генотипов SNV, которые могут влиять на их функциональное состояние, влияющие на экспрессию белковых молекул при различных патологических состояниях. Исследования полиморфизма генов сахарного диабета 1 и 2 типа показывают предрасположенность в генотипе статистических данных, исследования полиморфизмов TNF $\alpha$ 2308 AA и TNF $\alpha$ 2308 A у египетских пациентов выявили взаимосвязи с СД1. Также изучены полиморфизмы -308 G/A TNF $\alpha$  в иранских и саудовских популяциях [2, 3].

Проведенные исследования показывают высокий уровень циркулирующего TNF $\alpha$  – в три-четыре раза выше у пациентов с сахарным диабетом 1-го типа, также в прогрессировании диабетической нефропатии имел место полиморфизм аллель С TNF $\alpha$  – 10 31 T/C. У больных диабетической стопой с генотипом СС по сравнению с больными с генотипом ТТ выявлено повышение уровня TNF $\alpha$  в сыворотке крови [4].

Изучение молекулярно-генетических особенностей функциональной области последовательностей промотора гена TNF- $\alpha$  G-308A в иорданской популяции показало влияние функциональной области на уровень сахара в крови у больных с сахарным диабетом 2-го типа. У лиц с генотипом -308GG с высоким уровнем TNF $\alpha$ , больных сахарным диабетом 2-го типа, выявлены изменения концентрации сахара в крови и резистентность к инсулину [5].

**Целью настоящего исследования** является изучение взаимосвязи полиморфизма гена TNF-A -308G/A с активностью цитокина TNF $\alpha$  у больных СД 1-го типа, проживающих в Самаркандской области.

#### **Материалы и методы исследования**

Настоящее исследование основывается на результатах наблюдения за пациентами с сахарным диабетом 1-го типа, проведенного в отделении диагностики Самаркандского областного центра эндокринологии. Контроль и непосредственную консультативную, научную и методическую помощь оказывал заведующий отделением А.Э. Кадыров.

В исследование были включены пациенты, подписавшие добровольное информиро-

ванное согласие на участие в соответствии с Хельсинкской декларацией. Были включены 64 пациента с сахарным диабетом 1-го типа, из них 41 женщина – 70% и 23 мужчины – 30%. В группу исследования были включены пациенты, зарегистрированные в эндокринологическом центре, в возрасте от 7 до 40 лет. Контрольную группу составили 198 относительно здоровых лиц, не имеющих в анамнезе СД 1-го типа.

#### *Выделение ДНК*

Для выделения ДНК был использован метод лизиса клеток крови путем двойного центрифугирования объема цельной крови в буфере RCLB (Redcelllysisbuffer – эритроцитарный лизирующий буфер) при скорости 1500 об/мин.

#### *Проведение метода полиморфизма длины рестрикционных фрагментов – ПДРФ*

Для амплификации полиморфного участка гена TNF-A -308G/A исследованной популяции использовали метод полимеразной цепной реакции с аллельспецифичными праймерами TNF-A-308G/A:

forward 5'-GACAAGCCTGTAGCCCATGT-3',  
reverse 5'-GGAGGTTGACCTTGGTCTGG-3'.

Концентрацию цитокина определяли методом иммуноферментного анализа (ИФА) с использованием коммерческих наборов ЗАО «Вектор Бест» в диапазоне концентраций для TNF- $\alpha$  пг/мл.

Полученные данные обрабатывали с помощью программного пакета GraphPad-Prism 10, включая использование встроенных функций статистической обработки.

#### **Результаты исследования и их обсуждение**

Ген TNF $\alpha$  кодирует многофункциональный белок, который принимает участие в провоспалительных процессах. В основном секретируется макрофагами, функционирует через рецепторы TNFRSF1A/TNFR1 и TNFRSF1B/TNFR2. TNF $\alpha$  участвует в процессах регуляции, пролиферации и дифференцировки клеток, апоптоза, в патологиях, связанных с аутоиммунными заболеваниями. Широко изучены несколько вариантов гена, в том числе TNFA: -238G/A -308G/A, которые способствуют повышению или снижению продукции цитокина.

Исследования полиморфизма аллелей и генотипов маркеров гена TNF $\alpha$  -308G/A в группе больных СД 1-го типа по сравнению с контрольной группой показали высокие показатели частоты аллеля А в группе больных с СД 1-го типа по сравнению с группой контроля (табл. 1).

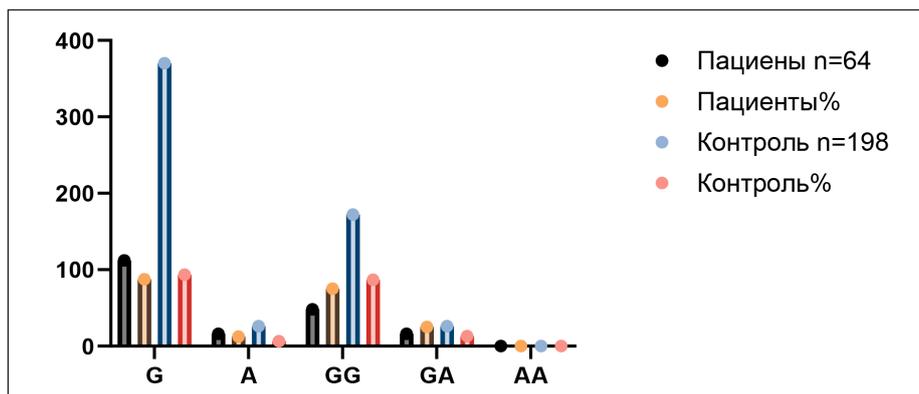


Рис. 1. Сравнительная характеристика частот аллелей и генотипов гена *TNF-A -308G/A* у больных с СД 1-го типа

Таблица 1

Взаимосвязь аллелей и генотипов гена *TNF-A -308G/A* у больных с СД 1-го типа

Генотип	$\chi^2$	RR (95% CI)
G	$p = 0,0321$	0,53 (0,25–0,95)
A	$p = 0,0242$	2,05 (1,54–3,89)
GG	$p = 0,0211$	0,45 (0,28–0,92)
GA	$p = 0,0212$	2,21 (1,86–4,45)

Примечание:  $\chi^2$  – показатель достоверности по Пирсону; RR – относительный риск.

Исследования показателя аллеля G свидетельствуют о низких показателях по сравнению с контрольной группой (рис. 1).

При изучении особенностей распределения генотипа GG выявлена достоверная разница в исследованной группе с СД 1-го типа по сравнению с контролем (табл. 1, рис. 1). Анализ гетерозиготного генотипа GA также свидетельствует о различиях между исследованной группой с СД 1-го типа по сравнению с контрольной группой

(рис. 1), различий при анализе гомозиготного генотипа AA не было выявлено.

Таким образом, анализ распределения аллелей и частот распределения гена – 308(G/A) *TNF* у лиц с СД 1-го типа, проживающих в Самаркандской области, свидетельствует о значительном вкладе в предрасположенность к заболеванию, является существенным фактором прогноза у больных с СД 1-го типа, узбекской популяции, проживающих в г. Самарканде.

При сравнении анализа генотипов полиморфизма *TNF $\alpha$  -308G/A* с различными возрастными группами пациентов с СД1 (табл. 2) у больных с СД 1-го типа, имеющих генотип GG, статистически значимые различия имели лица старше 10 лет ( $p \leq 0,0001$ ). У лиц с генотипом GG 7–10 и  $\geq 15$  лет в возрастных подгруппах статистически значимых различий не выявлено. Также среди лиц с генотипом GA подростки старше 10 лет имели статистически значимую разницу ( $p \leq 0,0001$ ) по сравнению с другими возрастными подгруппами.

Таблица 2

*TNF $\alpha$  -308G/A* генотипы у детей возрастных групп

Генотипы	Частоты (%)	RR (95% CI)	P-value*
GG			
7–10 лет	6/48 (12,5%)	0,81 (0,21–2,54)	0,91
10–15 лет	8/48 (16,6%)		
$\geq 10$ лет	4/48 (8,33%)	0,22 (0,19–0,28)	$\leq 0,0001$
$\geq 15$ лет	28/48 (58,33%)		
GA			
7–10 лет	3/16 (18,75%)	0,81 (0,38–1,74)	0,81
10–15 лет	4/16 (25%)		
$\geq 10$ лет	2/16 (12,5%)	0,24 (0,15–0,38)	$\leq 0,0001$
$\geq 15$ лет	9/16 (56,25%)		

Для изучения особенностей развития СД 1-го типа были исследованы показатели TNF- $\alpha$  у лиц СД 1-го типа. Проведенные исследования свидетельствуют о высоком уровне (TNF- $\alpha$ ) у лиц с СД 1-го типа по сравнению с контрольной группой ( $p < 0,05$ ) (рис. 2).

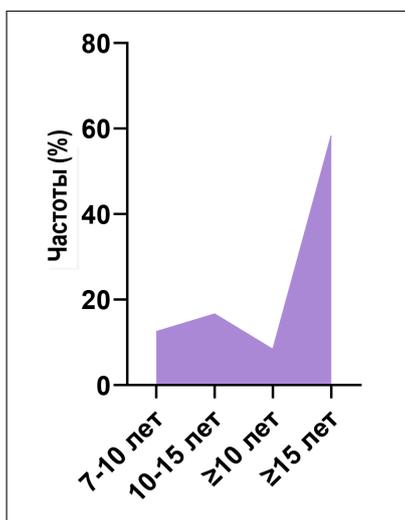


Рис. 2. Уровень провоспалительных цитокинов TNF $\alpha$  при СД 1-го типа

У больных с СД 1-го типа концентрация TNF- $\alpha$  в периферической крови составила  $56,7 \pm 4,8$  пг/мл, в контрольной группе –  $16,3 \pm 1,76$  пг/мл.

TNF $\alpha$  участвует в системном воспалении, уровни TNF $\alpha$  в плазме связаны с различными факторами риска диабета [6]. Он играет фундаментальную роль в разрушении бета-клеток, опосредованном иммунными клетками, потому достоверно ( $p < 0,05$ ) высокое содержание его у больных с СД 1-го типа ( $56,7 \pm 4,8$  пг/мл) говорит о преобладании в патогенезе СД 1-го типа иммуноопосредованного деструктивного процесса в бета-клетках [7, 8].

Была проведена сравнительная характеристика уровня показателей активности цитокинов TNF $\alpha$  у пациентов с СД 1-го типа, проживающих в Самаркандской области, с генотипами GG, GA гена TNF $\alpha$  -308G/A в общей популяции. Данные представлены в табл. 3. Отмечается, что уровень показателей активности цитокинов TNF $\alpha$  у пациентов с СД 1-го типа Самаркандской области в зависимости от полиморфизма TNF $\alpha$  -308G/A, с генотипом GG и GA наблюдается увеличение количества TNF $\alpha$  пг/мл ( $55,3 \pm 5,6$ ,  $58,1 \pm 4,4$ ,  $16,3 \pm 1,76$ ,  $p \leq 0,001$ ) высокие концентрации которых обнаружены у лиц с генотипом GA. Таким образом, гетерозиготный генотип GA вносит значительный

вклад в развитие аутоиммунного сахарного диабета 1-го типа.

По представленным в табл. 3 и на рис. 3 данным, лица общей популяции с СД 1-го типа гена TNF $\alpha$  -308G/A с генотипами GG  $n = 27$  имели высокие концентрации TNF $\alpha$  пг/мл по сравнению с контрольной группой.

Анализ половых различий уровня цитокинов TNF $\alpha$  в зависимости от генотипов TNF $\alpha$  -308G/A у женщин представлен в табл. 3 и на рис. 3, где отмечается, что у женщин с генотипами гена TNF $\alpha$  -308G/A GG и GA наблюдалось увеличение количества цитокинов ( $55,1 \pm 5,6$ ,  $57,1 \pm 4,4$ ,  $16,3 \pm 1,76$ ,  $p \leq 0,001$ ) по сравнению с контрольной группой.

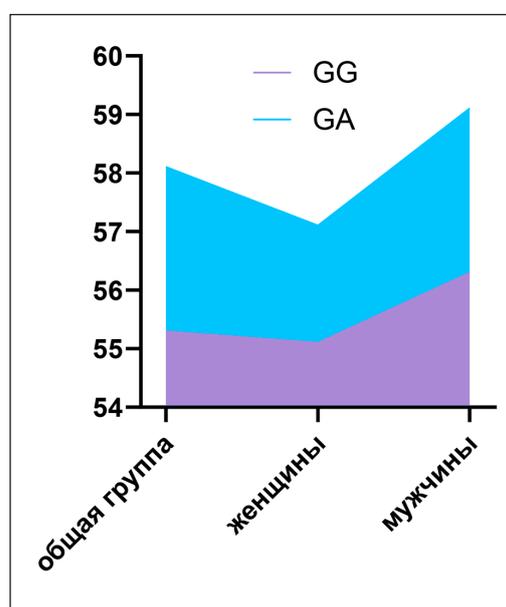


Рис. 3. Уровень TNF $\alpha$  в зависимости от половых различий

Анализ содержания цитокинов TNF $\alpha$  у мужчин с СД 1-го типа Самаркандской области полиморфизма гена TNF $\alpha$  -308G/A у лиц мужского пола (табл. 3) показал, что у лиц с генотипами GG и GA полиморфизма гена TNF $\alpha$  -308G/A отмечаются высокие показатели TNF $\alpha$  по сравнению с контролем ( $56,3 \pm 5,6$ ,  $59,1 \pm 4,4$ ,  $16,3 \pm 1,76$ ,  $p \leq 0,001$ ).

Исследования факторов начала заболевания в зависимости от генотипа GG, GA гена TNF $\alpha$  -308G/A показывают возраст начала заболевания от 7 лет, но существенно число заболевших СД1 типа увеличивается в популяции от 10 лет. Также анализ половых различий встречаемости заболевания СД 1-го типа показал, что в популяции обследованных СД 1-го типа зарегистрировано начало болезни у лиц женского пола, то есть у девочек 7 лет.

Таблица 3

Уровень показателей активности цитокинов TNF $\alpha$   
у женщин и мужчин СД 1-го типа Самаркандской области

Генотип	TNF $\alpha$ пг/мл общая группа n = 64	TNF $\alpha$ пг/мл Женщины n = 41	TNF $\alpha$ пг/мл Мужчины n = 23	Контроль n = 198
GG	55,3 $\pm$ 5,6*** n = 48	55,1 $\pm$ 5,6*** n = 23	56,3 $\pm$ 5,6*** n = 11	16,3 $\pm$ 1,76
GA	58,1 $\pm$ 4,4*** n = 16	57,1 $\pm$ 4,4*** n = 14	59,1 $\pm$ 4,4*** n = 10	16,3 $\pm$ 1,76

Примечание. Достоверность разницы между исследованной группой и контролем ( $p \leq 0,001$ ).

### Заключение

Анализ показателей взаимосвязи между изученными цитокинами показал увеличение концентрации цитокина при СД 1-го типа. Лица с генотипами GG, GA имели высокие концентрации TNF $\alpha$ , гетерозиготный генотип GA независимо от половых различий имели высокие концентрации данного цитокина. Данная ситуация свидетельствует об изменении концентрации в зависимости от замены аллеля A. Полная замена на гомозиготный AA генотип может свидетельствовать о развитии прогрессирующего аутоиммунного СД 1-го типа. Таким образом, ген TNF $\alpha$  -308G/A с показателями цитокина TNF $\alpha$  свидетельствует о вовлеченности иммунных реакций в патогенез СД 1-го типа. Лица женского пола имеют высокие риски развития аутоиммунного СД 1-го типа.

### Список литературы

1. Buckner T., Johnson R.K., Vanderlinden L.A., Carry P.M., Romero A., Onengut-Gumuscu S., Chen W.M., Fiehn O., Frohnert B.I., Crume T., Perng W., Kechris K., Rewers M., Rewers M., And Norris J.M. An Oxylin-Related Nutrient Pattern and Risk of Type 1 Diabetes in the Diabetes Autoimmunity Study in the Young (DAISY) // *Nutrients*. 2023. Vol. 15, Is. 4. P. 2–16. DOI: 10.3390/nu15040945.
2. Jang D.I., Lee A.H., Shin H.Y., Song H.R., Park J.H., Kang T.B., Lee S.R., Yang S.H. The Role of Tumor Necrosis Factor Alpha (TNF- $\alpha$ ) in Autoimmune Disease and Current TNF- $\alpha$  Inhibitors in Therapeutics // *Int. J. Mol. Sci.* 2021. Vol. 22, Is. 5. DOI: 10.3390/ijms22052719.
3. Haber J.Fd.S., Sandra Maria Barbalho S.M., Jose Augusto Sgarbi J.A., Haber R.Sd.A., de Labio R.W., Laurindo L.F., Eduardo Chagas E.F.B., and Payao S.L.M. The Relationship between Type 1 Diabetes Mellitus, TNF- $\alpha$ , and IL-10 Gene Expression // *Biomedicines*. 2023. Vol. 11, Is. 4. DOI: 10.3390/biomedicines11041120.
4. Overgaard A.J., Madsen J.O.B., Pociot F., Johannesen J., Størling J. Systemic TNF $\alpha$  correlates with residual  $\beta$ -cell function in children and adolescents newly diagnosed with type 1 diabetes // *BMC Pediatric*. 2020. Vol. 20. DOI: 10.1186/s12887-020-02339-8.
5. Saeed Majeed H.M., Hassan Abbas A.A., Khudair M.S.H. The role of TNF $\alpha$  in type2 diabetes mellitus // *Bionatura*. Vol. 7, Is. 2/32. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.revistabionatura.com> (дата обращения: 10.07.2024). DOI: 10.21931/RB/2022.07.02.32.
6. Muthuraman N., Abraham P. Serum tumor necrosis factor- $\alpha$  (TNF- $\alpha$ ) and lipid profile in gestational diabetes mellitus // *JOGC*. 2024. Vol. 46, Is. 8. DOI: 10.1016/j.jogc.2024.102592.
7. Emar M., El-Edel R., Fathy W.M., Aboelkhair N.T., Watany M.M., Abou-Elela D.H. Study the association of tumor necrosis factor promoter polymorphism with Type 2 diabetic nephropathy // *Mediators of Inflammation*. 2020. DOI: 10.1155/2020/1498278 eCollection 2020.
8. Райимова Ф.С., Душанова Г.А., Кан С.В., Камалов З.С., Рузубакиева М.Р. Связь полиморфизма генов VDR и TNF с развитием сахарного диабета 1 типа // *Журнал теоретической и клинической медицины*. 2023. № 4. С. 122–126.