



АКМУЛЛИНСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ

ISSN 3034-266X

Вестник¹⁶⁺

Башкирского государственного
педагогического университета
им. М. Акмуллы



Серия:
Естественные науки

4/2025

ВЕСТНИК



БАШКИРСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО
ПЕДАГОГИЧЕСКОГО УНИВЕРСИТЕТА
ИМ. М. АКМУЛЛЫ

Научно-практический журнал
Серия:
Естественные науки
№ 4/ 2025

Адрес редакции и учредителя:
450077, РБ, г. Уфа,
ул. Октябрьской революции, 3-а,
корп. 3.

Ответственный редактор:
Аманбаева З.С.

Ответственный секретарь:
Масалимова В.В.

Тел.: 8 (347) 246-92-42
E-mail: vestnik.bspu@yandex.ru
© Редакция Вестника БГПУ
им. М. Акмуллы.
© Муратов И.М., обложка, 2024.
Издаётся с 2000 года.
Журнал зарегистрирован
Федеральной службой по надзору в
сфере связи, информационных
технологий и массовых
коммуникаций. Рег. №: ПИ №ФС77-
87973 от 30 июля 2024 г.
Дата выхода в свет: 15.12.2025.

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ:

**Саттаров
Венер
Нуруллович**

главный редактор, д-р биол. наук, профессор, зав. кафедрой экологии, географии и природопользования ФГБОУ ВО «Башкирский государственный педагогический университет им. М. Акмуллы» (г. Уфа, Россия).

**Аюбов
Ильгар
Гаджи оглу**

д-р хим. наук, доцент, главный научный сотрудник лаборатории «Циклоолефины» Института нефтехимических процессов им. акад. Ю.Г. Мамедалиева Министерства науки и образования (г. Баку, Азербайджан).

**Воробьева
Светлана
Леонидовна**

д-р с.-х. наук, проректор по образовательной деятельности и молодежной политике, профессор кафедры кормления и разведения сельскохозяйственных животных ФГБОУ ВО «Удмуртский государственный аграрный университет» (г. Ижевск, Россия).

**Гаджиева
Гульсум Энвер
кызы**

канд. хим. наук, доцент, ведущий научный сотрудник лаборатории «Изучение antimикробных реагентов и биоповреждений» Института нефтехимических процессов имени академика Ю.Г. Мамедалиева Министерства науки и образования (г. Баку, Азербайджан).

**Джафаров
Иса
Ага оглу**

канд. хим. наук, доцент кафедры «Аналитическая и органическая химия» Азербайджанского государственного педагогического университета (г. Баку, Азербайджан).

**Земскова
Наталья
Евгеньевна**

д-р биол. наук, зав. кафедрой «Зоотехния» ФГБОУ ВО «Самарский государственный аграрный университет» (г. Кинель, п.г.т. Усть-Кинельский, Россия).

**Измаилов
Рамиль
Наильевич**

канд. ф.-м. наук, доцент, зав. кафедрой физики и нанотехнологий ФГБОУ ВО «Башкирский государственный педагогический университет им. М. Акмуллы» (г. Уфа, Россия).

**Ильясов
Рустем
Абзарович**

д-р биол. наук, ведущий научный сотрудник лаборатории нейробиологии развития ФГБУН Институт биологии развития им. Н.К. Кольцова РАН (г. Москва, Россия).

**Маликов
Рамиль
Фарукович**

д-р ф.-м. наук, профессор, руководитель научно-исследовательской лаборатории «Системный анализ и математическое моделирование» ФГБОУ ВО «Башкирский государственный педагогический университет им. М. Акмуллы» (г. Уфа, Россия).

Мамедбейли Эльдар Гусейнгулу оглу	д-р хим. наук, профессор, зав. лаборатории «Изучение антимикробных реагентов и биоповреждений» Института нефтехимических процессов им. акад. Ю.Г. Мамедалиева Министерства науки и образования (г. Баку, Азербайджан).
Маннапов Альфир Габдуллович	д-р биол. наук, профессор, зав. кафедрой аквакультуры и пчеловодства ФГБОУ ВО «РГАУ – МСХА им. К.А. Тимирязева» (г. Москва, Россия).
Морева Лариса Яковлевна	д-р биол. наук, профессор кафедры зоологии ФГБОУ ВО «Кубанский государственный университет» (г. Краснодар, Россия).
Насретдинова Римма Наилевна	канд. хим. наук, доцент кафедры физической химии и химической экологии, зам. директора института химии и защиты в чрезвычайных ситуациях по учебной работе ФГБОУ ВО «Уфимский университет науки и технологий» (г. Уфа, Россия).
Седых Татьяна Александровна	д-р биол. наук, зав. кафедрой генетики и химии ФГБОУ ВО «Башкирский государственный педагогический университет им. М. Акмуллы» (г. Уфа, Россия).
Семенов Владимир Григорьевич	д-р биол. наук, профессор, зав. кафедрой морфологии, акушерства и терапии ФГБОУ ВО «Чувашский государственный аграрный университет» (г. Чебоксары, Россия).
Суханова Наталья Викторовна	д-р биол. наук, зав. кафедрой биоэкологии и биологического образования ФГБОУ ВО «Башкирский государственный педагогический университет им. М. Акмуллы» (г. Уфа, Россия).
Улугов Одилджон Пардаалиевич	канд. с.-х. наук, зав. кафедрой естествознания ОУ «Таджикский государственный финансово-экономический университет» (г. Душанбе, Таджикистан).
Юлдашбаев Юсупжан Артыкович	д-р с.-х. наук, профессор, академик РАН, ФГБОУ ВО «РГАУ – МСХА им. К.А. Тимирязева» (г. Москва, Россия).
Юсупов Азат Равилевич	канд. ф.-м. наук, директор института физики, математики, цифровых и нанотехнологий ФГБОУ ВО «Башкирский государственный педагогический университет им. М. Акмуллы» (г. Уфа, Россия).

СОДЕРЖАНИЕ

БИОЛОГИЧЕСКИЕ НАУКИ

<i>Альканова И.П., Земскова Н.Е., Саттаров В.Н.</i>	6
ОБОСНОВАНИЕ ВЫРАЩИВАНИЯ ОСЕТРОВЫХ РЫБ В УСЛОВИЯ УЗВ	
<i>Воробьева С.Л., Федорова А.С., Васильева М.И.</i>	12
ПРИМЕНЕНИЕ СТИМУЛИРУЮЩЕЙ КОРМОВОЙ ДОБАВКИ НА ОСНОВЕ ФЕРМЕНТА <i>SUPEROXIDEDIS</i> ПРИ ПРОФИЛАКТИКЕ НОЗЕМАТОЗА	
<i>Протасова Ю.В., Земскова Н.Е., Альканова И.П., Саттаров В.Н.</i>	28
ПРЕИМУЩЕСТВА ПРИМЕНЕНИЯ <i>GEKKON FARMER</i> В БОРЬБЕ С ПУХОЕДОМ КУР	
<i>Соломко А.Р., Сулейманова А.Б., Филиппов Д.Д., Чернов В.М., Кабиров Т.Р., Суханова Н.В.</i>	37
ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕТОДА ФЛУКТУИРУЮЩЕЙ АСИММЕТРИИ ЛИСТЬЕВ <i>BETULA PENDULA ROTH</i> ДЛЯ ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА АТМОСФЕРНОГО ВОЗДУХА ГОРОДА УФЫ	

НАУКИ О ЗЕМЛЕ

<i>Альканова И.П., Лубенцова М.И., Земскова Н.Е., Саттаров В.Н.</i>	46
ГОДОВАЯ ЦИКЛИЧНОСТЬ ГИДРОХИМИЧЕСКОЙ ДИНАМИКИ ВОДНЫХ ОБЪЕКТОВ САМАРСКОЙ ОБЛАСТИ КАК ФАКТОР ФОРМИРОВАНИЯ УСЛОВИЙ ОБИТАНИЯ ГИДРОБИОНТОВ	

ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ФИЗИКА

<i>Асылгужина Н.Ю.</i>	54
ОБ ИНДЕКСАХ ДЕФЕКТА СИНГУЛЯРНОГО ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНОГО ОПЕРАТОРА НЕЧЕТНОГО ПОРЯДКА	

ХИМИЧЕСКИЕ НАУКИ

<i>Аббасов В.М., Гасанов Э.К., Тамразлы Т.Т.</i>	58
ИССЛЕДОВАНИЕ СОЛЕЙ РАЗЛИЧНЫХ МЕТАЛЛОВ, СИНТЕЗИРОВАННЫХ НА ОСНОВЕ ТЕХНИЧЕСКОЙ НЕФТИНОЙ КИСЛОТЫ И ЕЕ ФРАКЦИИ, В КАЧЕСТВЕ АНТИСТАТИЧЕСКОЙ ДОБАВКИ К ДИЗЕЛЬНОМУ ДИСТИЛЛАТУ	

<i>Гурбанова У.Р., Расулов Ч.К., Гасымова Ф.И., Гейдарли Г.З.</i>	68
---	----

Сулейманова П.В.

**ФЕНОЛСОДЕРЖАЩИЕ РЕГУЛЯТОРЫ РОСТА РАСТЕНИЙ И
ИХ ПРИМЕНЕНИЕ В СЕЛЬСКОМ ХОЗЯЙСТВЕ**

*Мамедова П.Ш., Бабаев Э.Р., Кахраманова К.Р., Алмамедова А.Э.,
Ибрагимова Т.М., Муштагова Ф.Г.* 92

**ПРИМЕНЕНИЕ МИКРООРГАНИЗМОВ В ПРОЦЕССЕ
БИОРЕМЕДИАЦИИ ПОЧВ, ЗАГРЯЗНЕННЫХ ТЯЖЕЛЫМИ
МЕТАЛЛАМИ**

Нагиева М.В., Расулов Ч.К., Алиева К.Ш., Гейдарли Г.З. 105
**ПРИМЕНЕНИЕ ФЕНОЛЬНЫХ СОЕДИНЕНИЙ В КАЧЕСТВЕ
РЕГУЛЯТОРОВ РОСТА РАСТЕНИЙ**

Удалова Е.А., Гаджисеева Г.Э., Мамедбейли Э.Г. 118
**СИНТЕЗ, СВОЙСТВА И ОБЛАСТИ ПРИМЕНЕНИЯ
ГЕМИТЕРПЕНОВ**

**ДОСТИЖЕНИЯ НАУКИ. ИЗВЕСТНЫЕ УЧЁНЫЕ.
ХРОНИКА**

ЭЛЬДАР ГУСЕЙНГУЛУ ОГЛЫ МАМЕДБЕЙЛИ 133
(К 85-ЛЕТИЮ СО ДНЯ РОЖДЕНИЯ)

ПРАВИЛА ДЛЯ АВТОРОВ

Общие положения 137

Рекомендуемая структура публикаций 138

Требования к текстовой части статьи 145

Образцы оформления ссылок на литературу 146

БИОЛОГИЧЕСКИЕ НАУКИ

Научная статья

УДК 639.3.05

DOI 10.21510/3034-266X-2025-4-6-11

ОБОСНОВАНИЕ ВЫРАЩИВАНИЯ ОСЕТРОВЫХ РЫБ В УСЛОВИЯ УЗВ

*Ирина Павловна Альканова¹, Наталья Евгеньевна Земскова²,
Венер Нуруллович Саттаров³*

^{1,2}*Самарский государственный аграрный университет, п.г.т.
Усть-Кинельский, Россия, alkanovaairinaaaa@mail.ru,
Zemskowa.nat@yandex.ru*

³*Башкирский государственный педагогический университет
имени М. Акмуллы, г. Уфа, Россия, wener5791@yandex.ru*

Аннотация. В работе представлены результаты сравнительного анализа гидрохимических показателей природных водоисточников Самарской области (р. Волга, р. Большой Кинель) и воды в установке замкнутого водоснабжения (УЗВ) осетроводного предприятия. Исследование выявило значительное антропогенное воздействие на природные водоемы, обнаружено превышение некоторых показателей, что делает водоемы малопригодными для выращивания гидробионтов. Рекомендовано внедрение комплексного подхода к решению проблем антропогенного загрязнения водоемов, предусматривающего взаимодействие государственных органов власти, деловых кругов и общества в целях формирования экологически ответственного поведения и рационального водопользования.

Ключевые слова: осётр, гидрохимический режим, УЗВ, природные водоёмы, Самарская область.

Для цитирования: Альканова И.П., Земскова Н.Е., Саттаров В.Н. Обоснование выращивания осетровых рыб в условия УЗВ // Вестник Башкирского государственного педагогического университета им. М. Акмуллы. Серия: Естественные науки. 2025. №4. С. 6-11.

Original article

JUSTIFICATION OF CULTIVATION OF STURGEON FISH IN CONDITIONS OF UZV

Irina P. Alkanova¹, Natalia E. Zemskova², Vener N. Sattarov³

¹*Samara State Agrarian University, Ust-Kinelsky, Russia,
alkanovaairinaaaa@mail.ru, Zemskowa.nat@yandex.ru*

^{2,3}*M. Akmulla Bashkir State Pedagogical University, Ufa, Russia,
wener5791@yandex.ru*

Abstract. The paper presents the results of a comparative analysis of the hydrochemical parameters of natural water sources in the Samara region (the Volga River, the Bolshoy Kinel River) and water in a Recirculating Aquaculture System (RAS) of a sturgeon farm. The study revealed significant anthropogenic impact on natural water bodies, with some parameters exceeding permissible levels, making the water bodies poorly suitable for cultivating hydrobionts. The implementation of an integrated approach to solving the problems of anthropogenic pollution of water bodies is recommended, involving cooperation between government authorities, business circles, and society to foster environmentally responsible behavior and rational water use.

Keywords: sturgeon, hydrochemical regime, RAS (Recirculating Aquaculture System), natural water bodies, Samara region.

For citation: Alkanova I.P., Zemskova N.E., Sattarov V.N. Justification of cultivation of sturgeon fish in conditions of UZV (Recirculating Aquaculture System) // Bulletin of the Bashkir State Pedagogical University named after M. Akmulla. Series: Natural Sciences. 2025. No4. pp. 6-11.

Исследование современного состояния водных объектов приобретает особую научную и прикладную значимость вследствие усиления антропогенной нагрузки на природную среду. Водотоки, занимая промежуточное положение между местами проживания и хозяйствственно-экономической деятельностью человека, выступают чувствительными биоиндикаторами экологической ситуации, отражающими масштабы эксплуатации природных ресурсов и нарушение природного баланса.

Интенсивный прирост населения, ускоренное промышленное развитие, экспансия аграрного сектора и активное наращивание транспортных коммуникаций вызывают масштабные трансформации в структуре и функционировании водных экосистем. Данные процессы сопровождаются снижением качественных характеристик вод, нарушением гидродинамических режимов и разрушением традиционных мест обитания гидробионтов.

На современном этапе актуальной задачей выступает осуществление регулярного мониторинга водного фонда с целью оценки степени деградации экосистем и выявления основных негативных воздействий. Проведение геоэкологических оценок позволяет определить приоритетные направления оптимизации

управления водными ресурсами, учитывая тот факт, что ключевым фактором снижения биоразнообразия гидрофауны является существенное ухудшение гидрохимических показателей и уничтожение естественной среды обитания водных организмов [1].

Наблюдается устойчивое уменьшение численности многих видов рыб, преимущественно представителей семейства осетровых [2]. Негативные тенденции проявляются в ослаблении репродуктивной способности, дестабилизации популяционной структуры и уменьшении биоразнообразия, что свидетельствует о наличии серьезной угрозы и диктует потребность в реализации мероприятий по охране и восстановлению указанных видов.

Один из эффективных подходов к поддержанию устойчивого воспроизводства пресноводных гидробионтов заключается в организации культивирования рыб в искусственных системах замкнутого водоснабжения (УЗВ), позволяющих создавать благоприятные условия содержания и воспроизводства посредством постоянного контроля гидрохимических параметров среды [3].

Целью представленного научного исследования было выявление уровня антропогенного воздействия на водоемы Самарской области.

Задачи исследования:

1. Анализ гидрохимического состава воды водоемов Самарской области.
2. Выделение водоемов с оптимальными характеристиками гидрохимии, обеспечивающими нормальную жизнедеятельность рыб.
3. Формирование рекомендаций относительно перспектив восстановления и сохранения биоресурсов семейства осетровых.

Объектом исследования выступали пробы воды из рек Волги, Большого Кинеля и установок замкнутого водоснабжения (УЗВ), содержащих рыбу семейства осетровых (белугу, ленского осетра, русского осетра, стерлядь). Отбор образцов производился согласно стандарту ГОСТ Р 59025-2020 [4] с использованием стерильных емкостей и экспресс-тестов «Water test strips».

Методология анализа включала применение колориметрического метода измерения концентраций веществ.

Исследования проводились в Самаре и поселке Усть-Кинельский, включали забор воды из вышеуказанных водоемов, водопроводных сетей и резервуаров УЗВ осетрового хозяйства региона. Полученные данные сравнивались с установленными нормами предельно допустимых концентраций (ПДК), приведенными в ГОСТ Р 59025-2020, и представлены в таблице 1.

Таблица 1
Гидрохимическое состояние изучаемых водных объектов

Показатель	ПДК	Источники воды					
		Река Волга (речной порт)	Река Волга (Ладья)	Река Большой Кинель	Озеро	Водо-провод	УЗВ
Нитраты, мг/дм ³	1-5	0	0	0	0	10±0,9	0
Нитриты, мг/дм ³	0,02	0	0	0	0	0	0
Жёсткость, °Ж	7,0	4±0,57	4±0,57	10±0,43	10±0,18	10±0,55	2±0,65
Железо общее, мг/дм ³	0,5-1	6±0,76	6±0,36	1,0±0,25	0,5±0,45	1,0±0,79	0,1±0,81
pH	6,5-8,5	7±0,37	6,5±0,6	10±0,56	9±0,13	10±0,34	6,5±0,25
Фосфаты, мг/дм ³	0,02 5-0,5	0,3	0,4	0,25	0,015	0,1	0,020

Проведенный гидрохимический мониторинг выявил значительный уровень антропогенной нагрузки на водоемы Самарской области, характеризующейся многократным превышением установленных предельных значений по ряду важнейших показателей.

Концентрации нитрат-ионов оказались двукратно увеличены в питьевой воде пос. Усть-Кинельский, что объясняется вероятностью попадания азотосодержащих соединений в результате разложения органических материалов. Поскольку рыба не содержится в водопроводной сети, данное обстоятельство непосредственно не затрагивает рыбоводческие цели.

Кроме того, жесткость воды превысила пороговые значения более чем на 40%, вероятно обусловленная взаимодействием с минеральными компонентами почвы и пород. Повышенная жесткость отрицательно сказывается на здоровье рыб, вызывая деформацию плавников и повреждение слизистых оболочек.

В речной воде города Самары зафиксирован повышенный уровень содержания железа (до 6,0 мг/л против нормы 0,5—1,0 мг/л), что создает серьезные риски для физиологии и размножения рыб, затрудняя дыхание и питательные процессы. Причина роста концентрации железа, вероятно, связана с воздействием городской промышленности и недостаточной очисткой канализационно-промышленных стоков.

Щелочность воды оказалась повышенной, обусловленной присутствием карбонатных и гидроксидных солей, способствующих дисбалансу электролитов и метаболическим расстройствам у гидробионтов.

Фосфат-ионы обнаруживались в повышенных количествах в самарских реках, что подтверждает присутствие бытовых отходов, сельскохозяйственных удобрений и прочих загрязняющих агентов, провоцирующих гипоксию и заболевания рыб.

Оптимальные гидрохимические показатели зарегистрированы исключительно в установках замкнутого водоснабжения (УЗВ), где исключается риск внешнего загрязнения и создаются стабильные условия для разведения осетровых и других редких видов рыб.

В целом, полученные результаты свидетельствуют о том, что лишь искусственно контролируемых сред (например, УЗВ) удается избежать пагубного воздействия загрязняющих веществ и поддерживать необходимые условия для воспроизведения гидробионтов.

Исходя из результатов, целесообразно рекомендовать внедрение комплексного подхода к решению проблем антропогенного загрязнения водоемов, предусматривающего взаимодействие государственных органов власти, деловых кругов и общества в целях формирования экологически ответственного поведения и рационального водопользования.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Белякова Е.В. Осетровые рыбы: биология и разведение. — М.: КолосС, 2013. — 215 с.
2. ГОСТ Р 59025-2020. «Вода. Общие требования к отбору проб». — М.: Стандартинформ, — 2020. — 39. с.
3. Пономарев С.В., Лагуткина Л.Ю. Технологии аквакультуры в установках замкнутого водоснабжения. — Астрахань: АГТУ, 2014. — 320 с.
4. Шировокова В.А., Юрова Ю.Д. Комплексная геоэкологическая оценка водосборной территории р. Осетр в условиях антропогенного воздействия [Электронный ресурс]. URL: https://www.researchgate.net/publication/287097886_Lockhart_Wiseman's

Crop_Husbandry_Including_Grassland_Ninth_Editionhttps://www.researchgate.net/publication/358491075_Kompleksnaa_geoekologiceskaa_ocenka_vodosbornoj_territorii_r_Osetr_v_usloviah_antropogennogo_vozdejstvia (дата обращения: 08.11.2025).

REFERENCES

1. Belyakova E.V. Sturgeon fish: biology and breeding. – M.: KolosS, 2013. – 215 p.
2. GOST R 59025-2020. «Water. General requirements for sampling». – M.: Standartinform. – 2020. – 39. p.
3. Ponomarev S.V., Lagutkina L.Y. Aquaculture technologies in closed-circuit water supply installations. Astrakhan: AGTU, 2014. 320 p.
4. Shirovokova V.A., Yurova Yu.D. Comprehensive geoecological assessment of the catchment area of the river. Sturgeon in conditions of anthropogenic impact [Electronic resource]. URL: https://www.researchgate.net/publication/287097886_Lockhart_Wiseman's_Crop_Husbandry_Including_Grassland_Ninth_Editionhttps://www.researchgate.net/publication/358491075_Kompleksnaa_geoekologiceskaa_ocenka_vodosbornoj_territorii_r_Osetr_v_usloviah_antropogennogo_vozdejstvia (accessed on 08.11.2025).

Информация об авторах

И.П. Альканова – студент 4 курса факультета БиВМ, ФГБОУ ВО «Самарский ГАУ»;

Н.Е. Земскова – доктор биологических наук, заведующий кафедрой зоотехнии ФГБОУ ВО «Самарский ГАУ»;

В.Н. Саттаров – доктор биологических наук, профессор, зав. кафедрой экологии, географии и природопользования ФГБОУ ВО «БГПУ им.М.Акмуллы».

Information about the authors

I.P. Alkanova – is a 4th-year student of the Faculty of Animal Husbandry and Veterinary Medicine, Samara State Agrarian University;

N.E. Zemskova – Doctor of Biological Sciences, Head of the Department of Animal Husbandry at Samara State Agrarian University;

V.N. Sattarov – Doctor of Biological Sciences, Professor, Head of the Department of Ecology, Geography and Nature Management at Bashkir State Pedagogical University named after M. Akmulla.

Статья поступила в редакцию 11.11.2025; принята к публикации 10.12.2025.

The article was submitted 11.11.2025; accepted for publication 10.12.2025.

БИОЛОГИЧЕСКИЕ НАУКИ

Научная статья

УДК: 638.15-084

DOI 10.21510/3034-266X-2025-4-12-27

ПРИМЕНЕНИЕ СТИМУЛИРУЮЩЕЙ КОРМОВОЙ ДОБАВКИ НА ОСНОВЕ ФЕРМЕНТА SUPEROXIDEDIS ПРИ ПРОФИЛАКТИКЕ НОЗЕМАТОЗА

*Светлана Леонидовна Воробьева¹, Александра Сергеевна
Федорова², Марина Ивановна Васильева³*

^{1,2,3} Удмуртский государственный университет, Ижевск,
Россия

¹ vorobievasveta@mail.ru.

² alfed98@yandex.ru

³ marinaroshyam@gmail.com

Аннотация. В статье представлена информация по использованию кормовой стимулирующей добавки, основанной на антиоксидантном ферменте Superoxidedis. Проведенные исследования успешно доказывают эффективность использования кормовой добавки, так как применение кормовой добавки снижает процент поражения медоносных пчел распространенным заболеванием в пчеловодстве - нозематозом. Исследования проводились в течение 2021-2025 гг. в полевых условиях на стационарной пасеке, расположенной в Можгинском районе Удмуртской Республики. Объектом исследования являлись пчелиные семьи среднерусской породы и степень их поражения спорами *Nosema apis*.

Ключевые слова: кормовая добавка, медоносные пчелы, антиоксидантный фермент, Superoxidedis, нозематоз, заболеваемость пчел.

Для цитирования: Воробьева С.Л., Федорова А.С., Васильева М.И. Применение стимулирующей кормовой добавки на основе фермента *SUPEROXIDEDIS* при профилактике нозематоза// Вестник Башкирского государственного педагогического университета им. М. Акмуллы. Серия: Естественные науки. 2025. №4 С. 12-27.

Original article

**USE OF A STIMULATING FEED ADDITIVE BASED ON THE
ENZYME SUPEROXIDEDIS IN THE PREVENTION OF
NOSEMATOSIS**

Svetlana Leonidovna Vorobyova¹, Alexandra Sergeevna Fedorova², Marina Ivanovna Vasilyeva¹

^{1,2,3}Udmurt State University, Izhevsk, Russia

¹vorobievasveta@mail.ru.

²alfed98@yandex.ru

³marinaroshyam@gmail.com

Abstract. This article presents information on the use of a feed stimulant additive based on the antioxidant enzyme Superoxidedis. The conducted studies successfully demonstrate the effectiveness of the feed additive, as it reduces the incidence of honeybees affected by nosema, a common beekeeping disease. The studies were conducted from 2021 to 2025 in the field at a permanent apiary located in the Mozhginsky District of the Udmurt Republic. The study focused on honeybee colonies of the Central Russian breed and the extent of their infestation with *Nosema apis* spores.

Keywords: feed additive, honeybees, antioxidant enzyme, Superoxidedis, nosema, bee disease incidence.

For citation: Vorobyova S.L., Fedorova A.S., Vasilyeva M.I. Use of a stimulating feed additive based on the enzyme superoxide dismutase in the prevention of nosemosis // Bulletin of the Bashkir State Pedagogical University named after M. Akmulla. Series: Natural Sciences. 2025. No4. pp. 12-27.

Эпизоотическая ситуация в Российской Федерации по основным заразным болезням пчел в настоящее время тяжелая. Во многих регионах страны происходят вспышки акарапидоза, нозематоза, американского и европейского гнильцов. Основные причины распространения этих заболеваний на пасеках страны: отсутствие должного ветеринарного контроля, покупка зараженных пчел (пчелиные семьи, отводки, рои, матки), кочевки пчел в неблагополучные по болезням пчел районам, соседство с кочевыми пасеками, не проверенными на наличие возбудителей опасных заболеваний пчел, блуждающие пчелы и трутни [1,2].

Основное условие успеха пчеловода – это здоровые сильные семьи на пасеке, но пчелы, как и другие животные, подвержены различным заболеваниям. Кроме негативного воздействия внешней среды, холода, повышенной влажности и других факторов, существуют опасные болезни пчел инфекционного характера. Возбудителями инфекций являются бактерии, вирусы, болезнестворные грибки, простейшие, а их переносчиками – клещи разных видов и насекомые-паразиты. Именно от заразных болезней, распространяющихся от особи к особи, гибнет наибольшее количество

и взрослых пчел, и расплода. [3]. Заразные болезни медоносных пчел наносят огромный ущерб мировому пчеловодству [4].

В пчеловодстве ущерб от заболеваний и отравлений пчел, несмотря на принимаемые меры, остается значительным. Изучение эпизоотического состояния многих пасек показывает наличие на них болезней, как правило, нескольких протекающих одновременно – варрооза, аскосфероза, гнильца и нозематоза. Причинами снижения естественной устойчивости пчел к заболеваниям являются многие факторы, в том числе применение химических препаратов, особенно кислот-акарицидов, нарушающих кислотно-щелочное равновесие в гнездах пчелиных семей. Не исключается, что остатки лекарственных средств даже при соблюдении рекомендаций по применению будут находиться на сотах и в производимых продуктах. Для получения экологически чистой продукции и повышения иммунитета пчел в борьбе с заболеваниями следует шире использовать безмединикаментозные приемы их профилактики и лечения [5-8].

Одним из распространенных заболеваний пчел на территории Удмуртской Республики является нозематоз [9]. Нозематоз – микроспоридии – спорообразующие внутриклеточные паразиты, изначально были классифицированы как простейшие, но спустя некоторое время, благодаря филогенетическому анализу, были отнесены к царству грибов. Микроорганизм на стадии споры устойчив к воздействию негативных факторов окружающей среды, благодаря чему способен выживать до нескольких лет вне тела хозяина-пчелы. [11-14].

Нозематоз вызывается одноклеточным организмом рода *Nosema*, паразитирующим в средней кишке пчел, трутней и маток. Оптимальные условия для развития возбудителя: недоброкачественный или падевый мед, недостаток кормов, неблагополучная длительная зимовка в холодном помещении, весенние возвратные холода, повышенная влажность, частый осмотр семей, особенно весной. Заболевание проявляется обычно весной, реже осенью. Источник заражения – больные пчелы. Признаки болезни: повышенный расход белковых и углеводных кормов в начальной стадии заболевания, который снижается затем до нормы, в зимовнике – беспокойство пчел и непрерывный шум, вылет из ульев и гибель. Соты, передняя стенка улья, предлетковая доска покрыты фекалиями [15].

Целью исследования является изучение влияния стимулирующего ферментного препарата на уровень пораженности медоносных пчел среднерусской породы пчел заболеванием нозематоз.

Полевые опыты проводились на стационарной пасеке предприятия ООО «РОССИЯ» Можгинского района Удмуртской Республики в период с 2021 по 2025 гг., анализ поражённости

пчелиных семей спорами *Nosema apis* проводился в лаборатории кафедры технологии переработки продукции животноводства ФГБОУ ВО Удмуртский ГАУ. Объектом исследования стали чистопородные медоносные пчелы среднерусской породы с признаками инвазионного заболевания, вызываемой одноклеточными спорами из рода *Nozema*. Исследования проводились с использованием стимулирующего ферментного препарата импортного и отечественного производства согласно схеме исследования приведенной в табл. 1.

Таблица 1
Схема исследований

Препаратор Superoxidedismutase импортное производство 2021-2022 гг.	Препаратор Superoxidedismutase отечественное производство 2023-2024 гг.
Контрольная группа № 1 – сахарный сироп в количестве 1 литра	Контрольная группа № 2 – сахарный сироп в количестве 1 литра
Опытная группа № 1 – Сахарный сироп + 450 мг SOD импортного производства	Опытная группа № 3 - Сахарный сироп + 450 мг SOD отечественного производства + 50 мл настой шиповника
Опытная группа № 2 – Сахарный сироп + 600 мг SOD импортного производства	Опытная группа № 4 – Сахарный сироп + 450 мг SOD отечественного производства + 50 мл настой шиповника

Опытные группы сформированы по 10 пчелиных семей в каждой по принципу пар-аналогов, с учетом силы семьи, возраста пчелиной матки и конструкции улья. Состав стимулирующего ферментного препарата представлен главным антиоксидантным внутриклеточным ферментом Superoxidedismutase – (SOD). Препаратор импортного происхождения основан на Superoxidedismutase – (SOD) в комплексе с внеклеточными ферментами глутатионпероксидазой и каталазой, а состав отечественного препарата представлен ферментом Superoxidedismutase – (SOD) в сочетании с низкомолекулярными антиоксидантами прямого действия, извлеченными из плодов шиповника.

Внутриклеточный фермент Superoxidedismutase – (SOD) ускоряет ход дисмутации супероксид анион-радикала, формируя перекись водорода, который затем преимущественно нейтрализуется до воды дополнительными ферментами каталазой и глутатионпероксидазой. Каталаза является железосодержащим белком, преимущественно находящаяся в пероксисомах, микросомах и

цитозоле. При низких концентрациях, представленный хромопротеид не способен удалять перекись водорода и в этом случае важным элементом инактивации является восстановленный фермент глутатионпероксидаза, находящийся в цитоплазме и митохондриях. Глутатионпероксидаза, обладая большей силой взаимодействия к перекиси водорода, является более эффективным ферментом, для ее нейтрализации при низких концентрациях, но в условиях окислительного стресса, вызванного избытком перекиси водорода, каталаза становится основным защитником клеток.

В качестве нутриентов шиповника в биологических жидкостях, липидных и соединительнотканых структурах защищает от радикального окисления проявляет витамин С и флавоноиды, которые представляют фенольные соединения. Роль аскорбиновой кислоты в комплексе заключается в способности активизировать энзимы антиоксидантной защиты организма, находящегося в состоянии оксидативного стресса.

Сформированная антиоксидантная линия защиты организма представляет систему взаимокомпенсаторных взаимоотношений, которая через различные свои звенья резервирует защитные функции, обеспечивает коррекцию метаболических нарушений. Эксперименты проводились в соответствии с «Правилами проведения работ с использованием экспериментальных животных» (приложение к приказу Министерства здравоохранения СССР от 12.08.1977 г. № 755). Все исследования проводились согласно методам проведения научно-исследовательских работ в пчеловодстве (А.В. Бородачев, А.Н. Бурмистров, А.И. Касьянов, Л.С. Кривцова, 2006). Полевые исследования проводились в 2 этапа. Для первого этапа в 2021–2022 гг. был использован стимулирующий ферментный препарат импортного производства, для второго этапа в 2023–2024 гг. применялся стимулирующий ферментный препарат отечественного производства.

Весеннюю подкормку пчелиных семей осуществляли однократно в мае, согласно схеме исследования. Для установления влияния биопрепарата на течение заболевания у пчел осенней генерации подкормку исследуемых групп осуществляли в сентябре согласно принятой схеме, в период формирования гнезда.

Выявление инвазионной болезни на пасеках осуществлено по принципу работы, произведенной Антоновым Б.И., (1985) групповым исследованием отделённых у пчёл отдела кишечника с добавлением дистиллированной воды и толченого стекла. Использованную суспензию рассматривали на предметном стекле под 400–600 кратном увеличением микроскопа, просматривая не менее 20 полей. Степень поражения пчёл спорами рода *Nosema* оценивали в крестах/баллах: до 10 спор в препарате – один крест, от 11 до 100 – два, от 101 до 1000 – три, а свыше 1001 – четыре креста. Степень пораженности пчелиных

семей спорами рода *Nosema* определяли весной после выставки семей из зимовника и в осенний период времени, после подкормки стимулирующим ферментным препаратом.

Для проведения изучения медоносных пчел на наличие спор нозематоза в лабораторных условиях из анализируемых групп было отобрано не менее 50 взрослых особей рабочих пчел. Дальнейшее исследование проводили групповым методом при помощи ампутации от туловища брюшных сегментов и последующим вычленением среднего отдела кишечника. При микроскопии выполняли подсчет среднего количества простейших микроорганизмов в отобранных пробах от каждой исследуемой группы.

Результаты микроскопического исследования по выявлению нозематоза при использовании импортного препарата в различных дозировках приведены на рисунках с 1 по 12 в течение двухгодичных исследований 2021-2022 года.

Количество спор в одной особи
составило 589,5 единиц

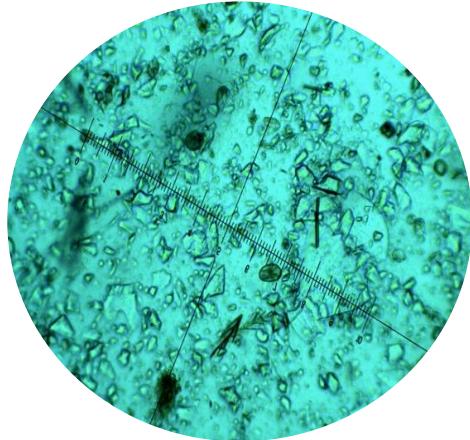


Рис. 1 – Степень поражения пчелиных семей нозематозом в 2021 г. до применения стимулирующего ферментного препарата импортного происхождения (контрольная). Количество спор в одной особи составило 547,1 единиц

Количество спор в одной особи
составило 541,0 единиц

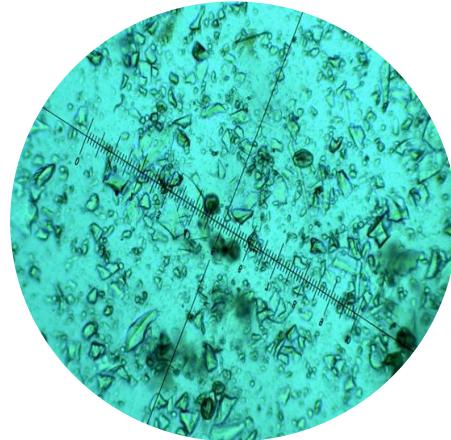


Рис. 4 – Степень поражения пчелиных семей нозематозом в 2021 г. после применения стимулирующего ферментного препарата импортного происхождения (контрольная). Количество спор в одной особи составило 437,2 единиц

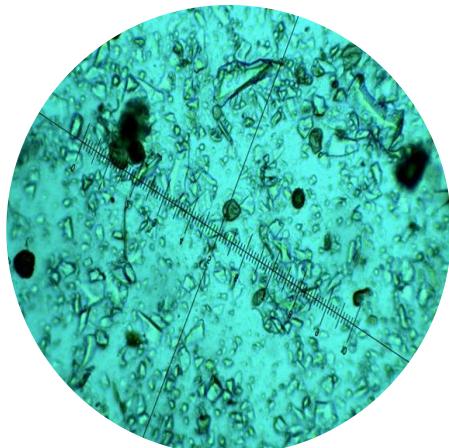


Рис. 2 – Степень поражения пчелиных семей нозематозом в 2021 г. до применения стимулирующего ферментного препарата импортного происхождения (опытная № 1)
Количество спор в одной особи составило 529,4 единиц

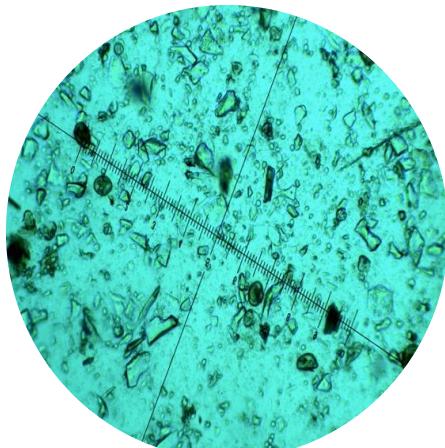


Рис. 5 – Степень поражения пчелиных семей нозематозом в 2021 г. после применения стимулирующего ферментного препарата импортного происхождения (опытная № 1)
Количество спор в одной особи составило 354,7 единиц

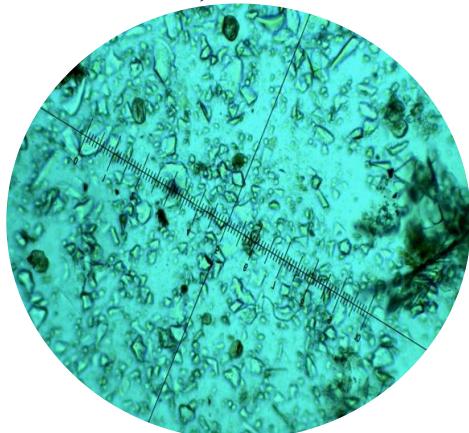


Рис. 3 – Степень поражения пчелиных семей нозематозом в 2021 г. до применения стимулирующего ферментного препарата импортного происхождения (опытная № 2).
Количество спор в одной особи составило 562,2 единиц

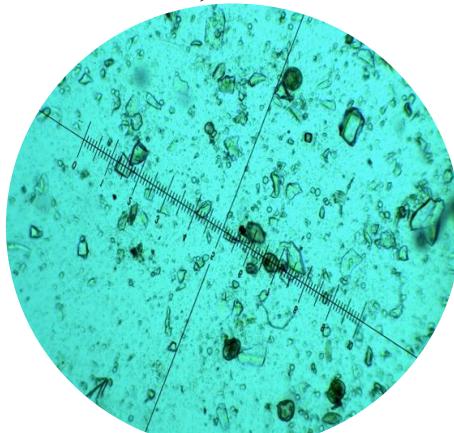


Рис. 6 – Степень поражения пчелиных семей нозематозом в 2021 г. после применения стимулирующего ферментного препарата импортного происхождения (опытная № 2).
Количество спор в одной особи составило 510,4 единиц

В группах до применения препарата Superoxidedismutase количество спор находилось в пределах от 529,4 до 589,5 единиц.

После проведения подкормки весной и осенью, проведен повторный микроскопический анализ на наличие спор нозематоза. В контрольной группе, где осуществлялась дача сахарного сиропа, количество спор составило 541,0 единиц. В опытной группе № 1 этот показатель уменьшился на 103,8 единиц и в группе № 2 на 186,3 единиц спор. В 2022 г. проведены повторные исследования по наличию спор нозематоза, до и после проведения весенней и осенней подкормки.

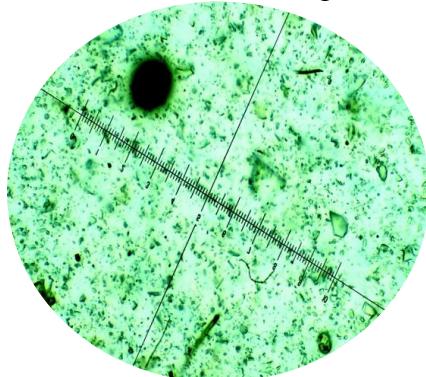


Рис. 7 – Степень поражения пчелиных семей нозематозом в 2022 г. до применения стимулирующего ферментного препарата импортного происхождения (контрольная) Количество спор в одной особи составило 428,5 единиц

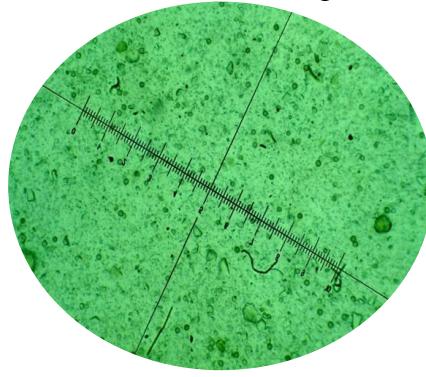


Рис. 10 – Степень поражения пчелиных семей нозематозом в 2022 году после применения стимулирующего ферментного препарата импортного происхождения (контрольная) Количество спор в одной особи составило 387,1 единиц

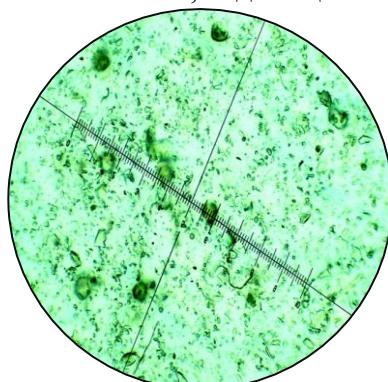


Рис. 8 – Степень поражения пчелиных семей нозематозом в 2022 г. до применения стимулирующего ферментного препарата импортного происхождения (опытная № 1) Количество спор составило 336,0 единиц

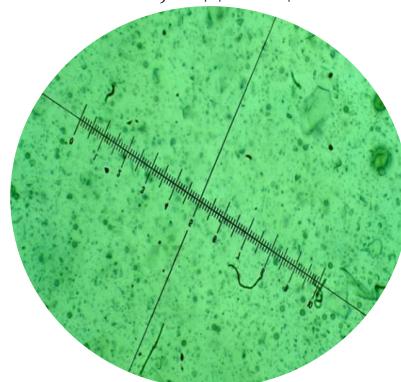


Рис. 11 – Степень поражения пчелиных семей нозематозом в 2022 году после применения стимулирующего ферментного препарата импортного происхождения (опытная № 1) Количество спор составило 272,3 единиц

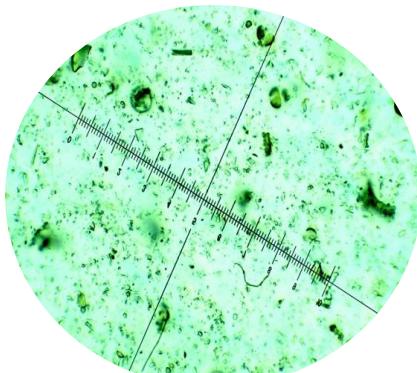


Рис. 9 – Степень поражения пчелиных семей нозематозом в 2022 г. до применения стимулирующего ферментного препарата импортного происхождения (опытная № 2). Количество спор в одной особи составило 492,8 единиц

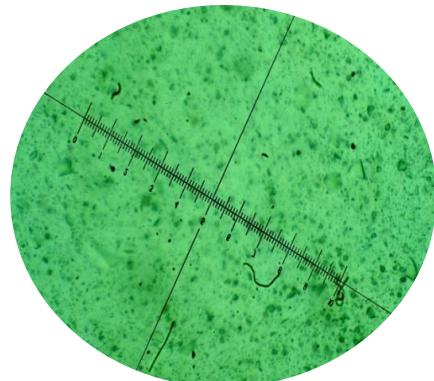


Рис. 12 – Степень поражения пчелиных семей нозематозом в 2022 году после применения стимулирующего ферментного препарата импортного происхождения (опытная № 2). Количество спор в одной особи составило 467,5 единиц

В 2022 г. в контрольной группе обнаружено 562,2 единиц спор, что выше в аналогичный период в опытной группе № 1 на 133,7 единиц и в группе № 2 на 226,2 единиц спор. После проведения подкормки установлено: в опытной группе № 1 – 387,1 единиц спор, группе № 2 – 272,3 единиц спор. Далее проведены исследования по влиянию стимулирующего ферментного препарата отечественного производства с добавлением витамина С. Полученные результаты приведены на рисунках с 13 по 24.

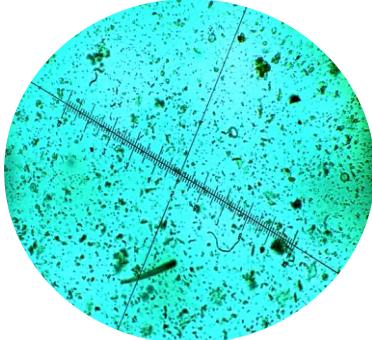


Рис. 13 – Степень поражения пчелиных семей нозематозом в 2023 г. до применения стимулирующего ферментного препарата отечественного происхождения (контрольная №2). Количество спор в одной особи составило 341,4 единиц

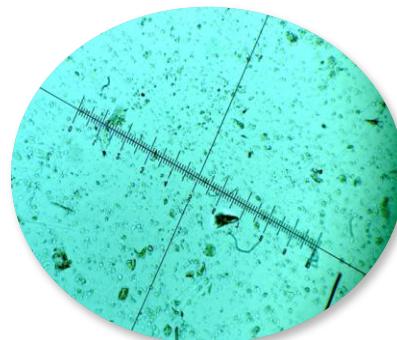


Рис. 16 – Степень поражения пчелиных семей нозематозом в 2023 г. после применения стимулирующего ферментного препарата отечественного происхождения (контрольная №2). Количество спор составило 211,0 единиц

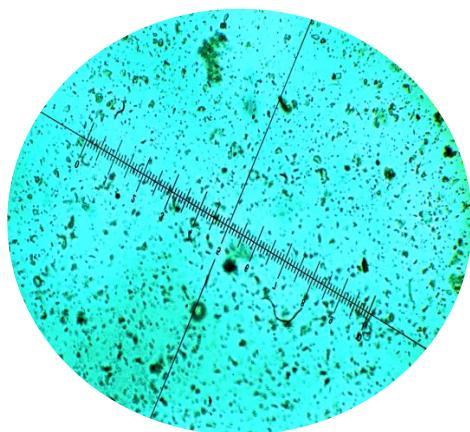


Рис. 14 – Степень поражения пчелиных семей нозематозом в 2023 г. до применения стимулирующего ферментного препарата отечественного происхождения (опытная № 3). Количество спор в одной особи составило 265,2 единиц

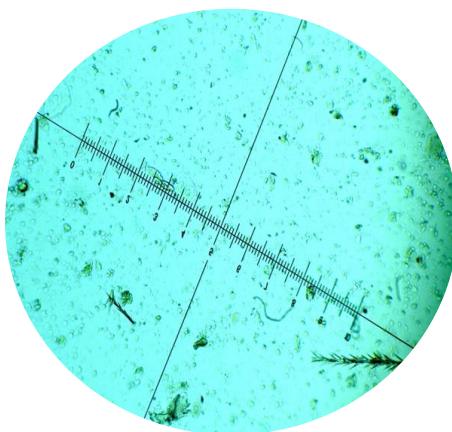


Рис. 17 – Степень поражения пчелиных семей нозематозом в 2023 г. после применения стимулирующего ферментного препарата отечественного происхождения (опытная № 3). Количество спор в одной особи составило 217,3 единиц

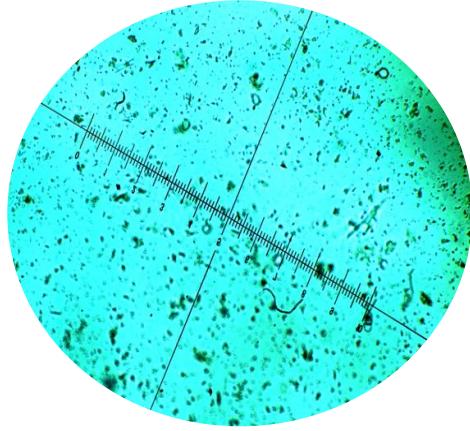


Рис. 15 – Степень поражения пчелиных семей нозематозом в 2023 г. до применения стимулирующего ферментного препарата отечественного происхождения (опытная № 4). Количество спор в одной особи составило 452,4 единиц

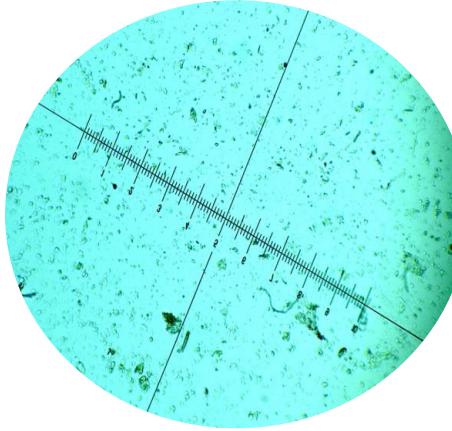


Рис. 18 – Степень поражения пчелиных семей нозематозом в 2023 г. после применения стимулирующего ферментного препарата отечественного происхождения (опытная № 4). Количество спор в одной особи составило 430,1 единиц

В 2023 году в контрольной группе №2 до проведения подкормки наличие спор зафиксировано на отметке 492,8 единиц,

после проведение профилактирующих процедур этот показатель снизился не значительно и составил 467,5 единиц, что меньше на 25,3 единицы. В опытной группе № 3 снижение количества спор нозематоза зафиксировано в количестве на 130,4 единиц, в опытной группе № 4 на 47,9 единиц. Таким образом, максимальное снижение простейших микроорганизмов – спор нозематоза достигнуто в опытной группе № 3 с дозировкой препарата в 450 мг, результат составил на 211,0 единиц спор.

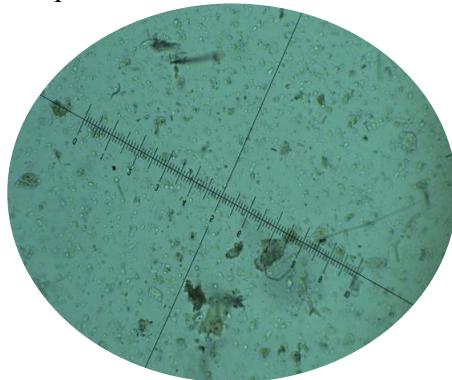


Рис. 19 – Степень поражения пчелиных семей нозематозом в 2024 г. до применения стимулирующего ферментного препарата отечественного происхождения (контрольная № 2)

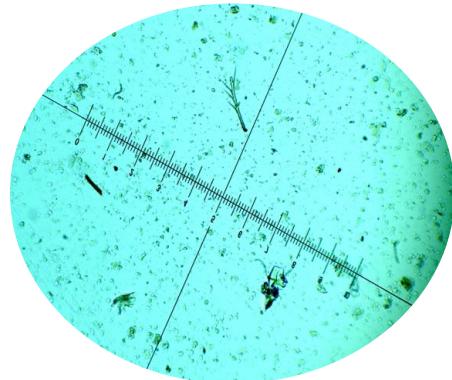


Рис. 22 – Степень поражения пчелиных семей нозематозом в 2024 году после применения стимулирующего ферментного препарата отечественного происхождения (контрольная №2)

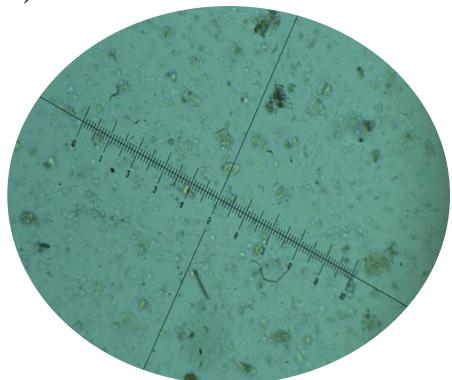


Рис. 20 – Степень поражения пчелиных семей нозематозом в 2024 г. до применения стимулирующего ферментного препарата отечественного происхождения (опытная группа № 3). Количество спор в одной особи составило 147,6 единиц

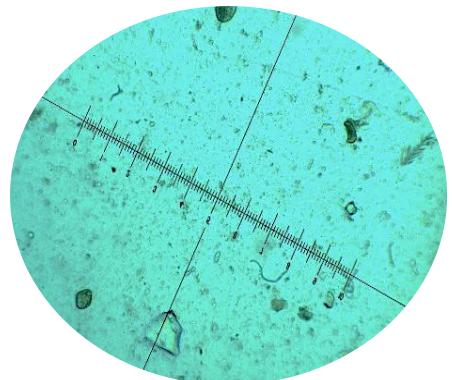


Рис. 23 – Степень поражения пчелиных семей нозематозом в 2024 году после применения стимулирующего ферментного препарата отечественного происхождения (опытная группа № 3). Количество спор в одной особи составило 95,0 единиц

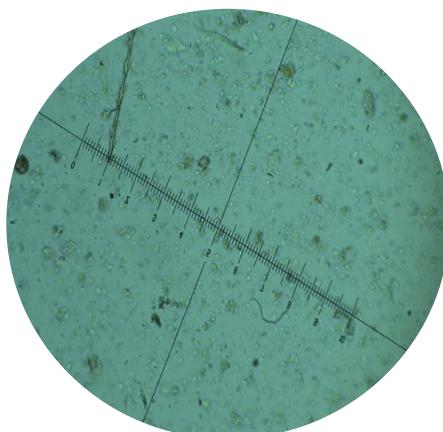


Рис. 21 – Степень поражения пчелиных семей нозематозом в 2024 г. до применения стимулирующего ферментного препарата отечественного происхождения (опытная № 4). Количество спор в одной особи составило 159,5 единиц

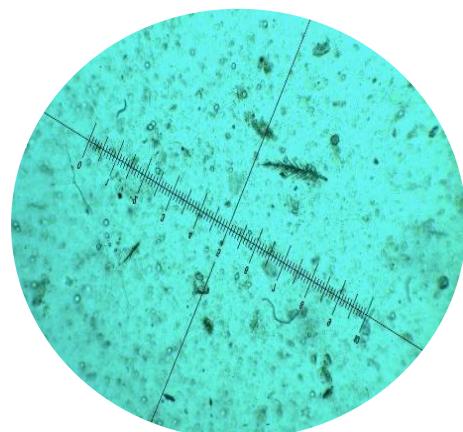


Рис. 24 – Степень поражения пчелиных семей нозематозом в 2024 году после применения стимулирующего ферментного препарата отечественного происхождения (опытная № 4). Количество спор в одной особи составило 123,2 единиц

Заключительная серия проведения подкормок отечественным препаратом в сочетании с настоем шиповника осуществлялась в 2024 году. Пчелиные семьи контрольной группы № 2 показали следующий результат: до проведения подкормки зафиксировано количество единиц спор в одной анализируемой особи 452,4 единиц и при последнем анализе этот результат практически был на том же уровне 430,1 единиц. В опытной группе № 3 снижение количества спор нозематоза произошло на 52,6 единиц, в то время как в опытной группе № 4 этот показатель снизился только на 36,3 единиц. Однако при сравнительном анализе все анализируемых групп в период заключительного этапа проведения исследований, лучший результат показала опытная группа № 3 и количество спор составило 95,0 единиц, что меньше, чем в контрольной группе № 2 на 335,1 единиц, в опытной группе № 4 в сравнении с контрольной группой № 2 составило на 306,9 единиц.

Таким образом, можно сделать вывод, что наилучшие результаты зафиксированы в группе при использовании импортного препарата в группе с дозировкой 600 мг, степень поражения инвазией оценивалась в 3 балла (средняя степень +++), зарегистрировано 272,3 ед. спор в отобранных пробах. При использовании антиоксидантного ферментного препарата отечественного производства с добавлением настой шиповника наилучший результат достигнут опытной группой

№ 3 с дозировкой 450 мг, что соответствует слабой степени (++) поражения нозематозом.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Сохликов А.Б., Игнатьева Г.И. Причины слета и гибели пчел // Пчеловодство. 2021. №3. С. 34-35.
2. Мероприятия по охране пасек от заноса возбудителей опасных болезней пчел / А.Б. Сохликов, А.М. Смирнов, С.Н. Луганский [и др.] // Российский журнал Проблемы ветеринарной санитарии, гигиены и экологии. – 2022. – № 3(43). – С. 293-298.
3. Морева Л.Я. Профилактика и лечение болезней пчел на юге России / Л.Я. Морева, А.А. Мойся // Сборник научно-исследовательских работ по пчеловодству и апитерапии, Рыбное, 02–03 ноября 2017 года. – Рыбное: Федеральное государственное бюджетное научное учреждение "Федеральный научный центр пчеловодства", 2018. – С. 77-80.
4. Домацкая Т.Ф. Распространение болезней медоносных пчел на пасеках Тюменской области / Т.Ф. Домацкая, А.Н. Домацкий, З. Я. Зинатуллина // Вестник КрасГАУ. – 2020. – № 7(160). – С. 87-92.
5. Соловьева Л.Ф. Экологически чистые приемы профилактики и лечения болезней пчел / Л.Ф. Соловьева // Апитерапия сегодня: Материалы XIV Всероссийской научно-практической конференции, Рыбное, 28–30 мая 2009 года. Том Сборник 14. – Рыбное: НИИП, 2009. – С. 214-220.
6. Кашковский В.Г. Лечение пчелиных семей без лекарств, или зоотехнический метод борьбы с болезнями пчел / В.Г. Кашковский, А.А. Плахова // Вестник НГАУ (Новосибирский государственный аграрный университет). – 2021. – № 2(59). – С. 115-124.
7. Кашковский В.Г. Зоотехнический метод борьбы с болезнями пчел / В.Г. Кашковский, А.А. Плахова // Пчеловодство и апитерапия: современные подходы и развитие: Материалы Международной научно-практической конференции, Рыбное, 03–04 декабря 2021 года / Под редакцией А.З. Брандорф, Р.Е. Калинина, А.В. Бородачева, Л.Н. Савушкиной, Н.В. Будниковой. – Рыбное: Федеральное государственное бюджетное научное учреждение "Федеральный научный центр пчеловодства", 2021. – С. 74-80.
8. Брандорф А.З. Биотехнологические методы профилактики и борьбы с болезнями медоносных пчел / А.З. Брандорф, А.И. Шестакова // Современные проблемы пчеловодства и апитерапии: Материалы Международной научно-практической конференции, Рыбное, 18 декабря 2020 года / Под редакцией А.З. Брандорф [и др.]. – Рыбное: Федеральное

государственное бюджетное научное учреждение "Федеральный научный центр пчеловодства", 2021. – С. 5-12.

9. Эпизоотологическое состояние пчеловодства Удмуртской Республики / Л.М. Колбина, Н.И. Санникова, С.Л. Воробьева, С.Н. Непейвода // Мир пчел, Ижевск, 24–25 марта 2011 года / Государственное научное учреждение "Удмуртский государственный научно-исследовательский институт сельского хозяйства", Федеральное государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования "Ижевская государственная сельскохозяйственная академия", Общество с ограниченной ответственностью "Республиканская объединение пчеловодов Удмуртии". – Ижевск: ООО «Колорит-Принт», 2011. – С. 61-67.

10. Валитова Н.В. Лекарственные растения в профилактике и лечении инвазионных болезней пчел / Н. В. Валитова // Инновации в науке. – 2017. – № 4(65). – С. 33-38.

11. Хабарова А.В. Нозематоз – поиск актуальных методов лечения / А.В. Хабарова, Е.Д. Мандрыка // Труды Всероссийского НИИ экспериментальной ветеринарии имени Я.Р. Коваленко. – 2023. – Т. 83, № 1. – С. 153-156.

12. Хабарова А.В. Нозематоз - актуальная проблема пчеловодства / А. В. Хабарова // Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. – 2022. – № 4(60). – С. 143-149.

13. Capella-Gutiérrez S., Marcet-Houben M., Gabaldón T. Phylogenomics supports microsporidia as the earliest diverging clade of sequenced fungi //BMC biology. – 2012. – Т. 10. – №. 1. – Р. 1-14.

14. Marín-García P. J. et al. The Role of Nosema ceranae (Microsporidia: Nosematidae) in Honey Bee Colony Losses and Current Insights on Treatment //Veterinary Sciences. – 2022. – Т. 9. – №. 3. – Р. 130.

15. Оськин С.В. Основные болезни пчел, перспективные средства и способы их лечения / С. В. Оськин, А. А. Блягоз // Чрезвычайные ситуации: промышленная и экологическая безопасность. – 2018. – № 2(34). – С. 107-116.

REFERENCES

1. Sokhlikov A.B., Ignatyeva G.I. Causes of the flight and death of bees // Beekeeping. 2021. No. 3. pp. 34-35.
2. Measures to protect apiaries from the introduction of pathogens causing dangerous bee diseases / A. B. Sokhlikov, A. M. Smirnov, S. N. Lugansky [et al.] // Russian Journal of Problems of Veterinary Sanitation, Hygiene and Ecology. – 2022. – No. 3 (43). – pp. 293-298.
3. Moreva L.Ya. Prevention and treatment of bee diseases in the south of Russia / L.Ya. Moreva, A.A. Moysya // Collection of research

papers on beekeeping and apitherapy, Rybnoye, November 2-3, 2017. – Rybnoye: Federal State Budgetary Scientific Institution "Federal Scientific Center for Beekeeping", 2018. – pp. 77-80.

4. Domatskaya, T. F. Spread of honey bee diseases in apiaries of the Tyumen region / T. F. Domatskaya, A.N. Domatsky, Z. Ya. Zinatullina // Bulletin of KrasSAU. – 2020. – No. 7 (160). – pp. 87-92.

5. Solovieva L.F. Environmentally friendly methods for the prevention and treatment of bee diseases / L. F. Solovieva // Apitherapy today: Proceedings of the XIV All-Russian Scientific and Practical Conference, Rybnoye, May 28–30, 2009. Volume Collection 14. – Rybnoye: NIIP, 2009. – pp. 214-220.

6. Kashkovsky V.G. Treatment of bee colonies without drugs, or a zootechnical method of combating bee diseases / V. G. Kashkovsky, A.A. Plakhova // Bulletin of NSAU (Novosibirsk State Agrarian University). – 2021. – No. 2 (59). – pp. 115-124.

7. Kashkovsky V.G. Zootechnical method of combating bee diseases / V.G. Kashkovsky, A.A. Plakhova // Beekeeping and apitherapy: modern approaches and development: Proceedings of the International Scientific and Practical Conference, Rybnoye, December 3-4, 2021 / Edited by A.Z. Brandorf, R.E. Kalinin, A.V. Borodachev, L.N. Savushkina, N.V. Budnikova. – Rybnoye: Federal State Budgetary Scientific Institution "Federal Scientific Center for Beekeeping", 2021. – pp. 74-80.

8. Brandorf A.Z. Biotechnological methods for the prevention and control of diseases of honey bees / A. Z. Brandorf, A. I. Shestakova // Modern problems of beekeeping and apitherapy: Proceedings of the International Scientific and Practical Conference, Rybnoye, December 18, 2020 / Edited by A.Z. Brandorf [et al.]. – Rybnoye: Federal State Budgetary Scientific Institution "Federal Scientific Center for Beekeeping", 2021. – pp. 5-12.

9. Epizootological state of beekeeping in the Udmurt Republic / L.M. Kolbina, N.I. Sannikova, S.L. Vorobyova, S.N. Nepeyvoda // The World of Bees, Izhevsk, March 24–25, 2011 / State Scientific Institution "Udmurt State Research Institute of Agriculture", Federal State Educational Institution of Higher Professional Education "Izhevsk State Agricultural Academy", Limited Liability Company "Republican Association of Beekeepers of Udmurtia". - Izhevsk: OOO "Kolorit-Print", 2011. – pp. 61-67.

10. Valitova, N. V. Medicinal plants in the prevention and treatment of invasive diseases of bees / N. V. Valitova // Innovations in Science. - 2017. - No. 4 (65). – pp. 33-38.

11. Khabarova, A. V. Nosema – the search for relevant treatment methods / A. V. Khabarova, E. D. Mandryka // Proceedings of the All-Russian Research Institute of Experimental Veterinary Medicine named after Ya. R. Kovalenko. – 2023. – Vol. 83, No. 1. – pp. 153-156.

-
12. Khabarova A.V. Nosema – a pressing problem in beekeeping / A.V. Khabarova // Bulletin of the Ulyanovsk State Agricultural Academy. – 2022. – No. 4 (60). – pp. 143-149. 13. Capella-Gutiérrez S., Marcet-Houben M., Gabaldón T. Phylogenomics supports microsporidia as the earliest diverging clade of sequenced fungi //BMC biology. – 2012. – T. 10. – №1. – pp. 1-14.
14. Marin-García P.J. et al. The Role of Nosema ceranae (Microsporidia: Nosematidae) in Honey Bee Colony Losses and Current Insights on Treatment //Veterinary Sciences. – 2022. – T. 9. – No. 3. – P. 130.
15. Osokin S.V. The main diseases of bees, promising remedies and methods of their treatment / S.V. Osokin, A.A. Blyagoz // Emergencies: industrial and environmental safety. – 2018. – No. 2(34). – pp. 107-116.

Информация об авторах

С.Л. Воробьева – доктор сельскохозяйственных наук, профессор, профессор кафедры кормления и разведения сельскохозяйственных животных;

А.С. Федорова – аспирант кафедры кормления и разведения сельскохозяйственных животных;

М.И. Васильева – кандидат сельскохозяйственных наук, доцент, доцент кафедры технологии переработки продукции животноводства.

Information about the authors

S.L. Vorobyeva – Doctor of Agricultural Sciences, Professor, Professor in the Department of Animal Nutrition and Breeding;

A.S. Fedorova – Postgraduate Student in the Department of Animal Nutrition and Breeding;

M.I. Vasilyeva – Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor, Associate Professor in the Department of Livestock Product Processing Technology.

*Статья поступила в редакцию 29.10.2025; принята к публикации 14.11.2025.
The article was submitted 29.10.2025; accepted for publication 14.11.2025.*

БИОЛОГИЧЕСКИЕ НАУКИ

Научная статья

УДК 636.034

DOI 10.21510/3034-266X-2025-4-28-36

ПРЕИМУЩЕСТВА ПРИМЕНЕНИЯ *GEKKON FARMER* В БОРЬБЕ С ПУХОЕДОМ КУР

*Юлия Васильевна Протасова¹, Наталья Евгеньевна
Земскова², Ирина Павловна Альканова³, Венер Нуруллович
Саттаров⁴*

¹*Лаборатория отдела технологий и контроля качества, ООО
НПО «Гарант», Самара, Россия, lab@garant.center*

^{2,3}*Самарский государственный аграрный университет, п.г.т.
Усть-Кинельский, Россия, Zemskowa.nat@yandex.ru,
alkanovairinaaa@mail.ru*

⁴*Башкирский государственный педагогический университет
имени М. Акмуллы, Уфа, Россия, wener5791@yandex.ru*

Аннотация. Цель работы заключалась в изучении влияния препарата *Gekkon farmer*, разработанного на предприятии ООО НПО «Гарант» (г. Самара), на популяцию пухоедов у кур различных пород (русская белая, кучинская юбилейная, красная белохвостая, леггорн и московская черная). Препарат основан на аморфном диоксиде кремния и предназначен для борьбы с пухоедами у домашней птицы. Для проведения эксперимента были сформированы четыре группы птиц по 15 голов в каждой, используя принцип пар-аналогов. В контрольной группе применяли зольно-песчанную ванну, а в опытной группе использовали *Gekkon farmer*, опудривая каждую птицу 10-15 г порошка. Сбор пухоедов осуществлялся индивидуально с каждой птицы, путем счёса паразитов. Интенсивность поражения птиц оценивалась по условной шкале «Оценка степени заражённости птичьими эктопаразитами». Эффективность обработки проверялась каждые 7 дней путем визуального осмотра птиц и подсчета количества эктопаразитов с определением уровня зараженности. Результаты показали, что эффективность лечения в опытной группе составила 100%, в то время как в контрольной группе она составила 73,3%. Это свидетельствует о выраженном положительном влиянии *Gekkon farmer* на процесс деконтаминации кур от эктопаразитов. Двукратная экспозиция препарата позволила достичь 100%-го эффекта уже на 21-й день контрольного осмотра. Таким образом, *Gekkon farmer*

рекомендуется для применения на птицеводческих предприятиях в количестве 10-15 г на голову, с повторной обработкой каждые 7 дней

Ключевые слова: куры, пухоед, контаминация, *Gekkon farmer*.

Для цитирования: Протасова Ю.В., Земскова Н.Е., Альканова И.П., Саттаров В.Н. Преимущества применения *Gekkon farmer* в борьбе с пухоедом кур // Вестник Башкирского государственного педагогического университета им. М. Акмуллы. Серия: Естественные науки. 2025. №4. С. 28-36.

BIOLOGICAL SCIENCES

Original article

ADVANTAGES OF USING GEKKON FARMER IN THE FIGHT AGAINST PESTICIDES

Yulia Vasilievna Protasova¹, Natalya Evgenievna Zemskova², Irina Pavlovna Alkanova², Vener Nurullovich Sattarov³

¹*Laboratory of the Department of Technologies and Quality Control of NPO Garant LLC, Russia, lab@garant.center*

²*Samara State Agrarian University, Ust-Kinelsky, Russia, Zemskowa.nat@yandex.ru², alkanovairinaaaa@mail.ru*

³*Bashkir State Pedagogical University named after M. Akmulla, Ufa, Russia, wener5791@yandex.ru*

Abstract. The aim of the study was to investigate the effect of the preparation Gekkon farmer, developed by LLC NPO "Garant" (Samara, Russia), on the population of poultry lice (*Mallophaga*) in chickens of various breeds (Russian White, Kuchinsky Jubilee, Red White-tailed, Leghorn, and Moscow Black). The preparation is based on amorphous silicon dioxide and is intended for controlling poultry lice. For the experiment, four groups of birds, 15 individuals each, were formed using the principle of pair-analogues. The control group was treated with an ash-sand dust bath, while the experimental group was treated with Gekkon farmer by dusting each bird with 10-15 g of powder. Lice were collected individually from each bird by combing out the parasites. The intensity of infestation was assessed using a conditional scale "Assessment of the degree of infestation with avian ectoparasites." Treatment efficacy was checked every 7 days by visual examination of the birds and counting the number of ectoparasites to determine the infestation level. The results showed that treatment efficacy in the experimental group was 100%, compared to 73.3% in the control group. This indicates a pronounced positive effect of Gekkon farmer on the decontamination of chickens from ectoparasites. A double application of the preparation achieved 100% efficacy by the 21st day of the

control inspection. Thus, *Gekkon farmer* is recommended for use on poultry farms at a dosage of 10-15 g per bird, with re-treatment every 7 days.

Keywords: chickens, poultry lice (Mallophaga), contamination, *Gekkon farmer*.

For citation: Protasova Yu.V., Zemskova N.E., Alkanova I.P., Sattarov V.N. Advantages of using *Gekkon farmer* in the fight against poultry lice (Mallophaga) // Bulletin of the Bashkir State Pedagogical University named after M. Akmulla. Series: Natural Sciences. 2025. No4. pp. 28-36.

Благодаря достижениям в селекции и генетике, современная сельскохозяйственная птица отличается высокой продуктивностью. Однако, помимо генетики, важную роль играет правильное содержание и уход. Оптимальные условия содержания включают обеспечение комфортных температурных режимов, достаточного освещения, чистой воды и качественного корма. Все эти факторы способствуют поддержанию здоровья птицы и достижению максимальной продуктивности. Таким образом, сочетание генетического потенциала и оптимального ухода за птицей является основополагающим фактором успешного развития современного птицеводства [3].

Отсутствие систематических процедур санитарной обработки и дезинфекции, повышенное содержание влаги в помещениях, а также активный метаболический процесс, характерный для периода интенсивной яйцекладки, создают благоприятные условия для развития популяций кожных паразитов, таких как пухоеды и пероеды. Предупреждение распространения экзопаразитов требует проведения регулярных профилактических мер и строгого соблюдения гигиенических норм содержания птиц. Периодическое обследование каждой особи способствует своевременному обнаружению патологических изменений и принятию соответствующих контрмер [5].

Целью исследования является изучение влияния препарата *Gekkon farmer*, производимого предприятием ООО НПО «Гарант» (г. Самара) содержащего аморфный диоксид кремния, на численность популяции пухоедов у кур. Помимо этого, работа направлена на оценку эффективности предложенной технологии и разработку научно-обоснованных рекомендаций по внедрению данного средства в практику ветеринарии и птицеводства.

Материалы и методы исследований

Опыт проводился в летний сезон (июнь-сентябрь) на территории крестьянско-фермерских хозяйств Кинельского и Красноярского районов Самарской области, при напольном содержании кур-несушек разных пород российского происхождения (русская белая, кучинская юбилейная, красная

белохвостая, леггорн и московская черная). Согласно методу параналогов, было отобрано четыре подопытные группы кур, по 15 особей. В контрольной группе применялась зольно-песочная ванна (постоянный, принятый в хозяйствах метод), опытные группы подвергались обработке методом порошкового опыления изучаемым препаратом (рис. 1). Норма расхода препарата составляла 10-15 г на одну особь



Рис. 1. Препарат для борьбы с пухоедом

Содержание всех животных осуществлялось в соответствии с нормативными требованиями Приказа Минсельхоза №188 от 25.03.2025 г [4].

Сбор пухоедов осуществлялся индивидуально с каждой птицы, путем счёса на белый бумажный лист, после чего производился их количественный учет. Оценка интенсивности поражения проводилась в соответствии с условной шкалой «Оценка степени заражённости птичьими эктопаразитами», где:

- единичные случаи соответствуют менее 10 экземпляров;
- низкая степень заражения определяется от 10 до 30 экземпляров;
- средняя интенсивность фиксируется при количестве от 30 до 100 экземпляров;
- высокая концентрация регистрируется при наличии от 100 до 500 экземпляров;
- очень высокая концентрация устанавливается при более чем 500 экземплярах.

Видовая идентификация эктопаразитов выполнялась методом микроскопического исследования собранного материала, основываясь на классификациях пухоедов, предложенных Д.И.

Благовещенским. Данный подход обеспечивал точность идентификации и оценку распространения паразитов среди исследованной популяции птиц [1].

Для оценки эффективности обработки птиц от пухоеда, каждые 7 дней производился визуальный осмотр птицы, после чего проводился подсчет экземпляров эктопаразита, с определением уровня зараженности. Статистический анализ полученных данных осуществлялся посредством программного обеспечения Microsoft Excel, применяя методы однофакторного дисперсионного анализа и критерия Стьюдента.

Результаты исследований

Исследования показали наличие одного вида эктопаразитов у кур, принадлежащих надклассу насекомые (*Insecta*), отряду – пухоеды (*Mallophaga*), подотряду – настоящие пухоеды (*Amblycera*), семейству – пухоеды (*Menoponidae*), виду – пухоед куриный (*Menopon gallinae*). Этот вид эктопаразитов был распространен по всему телу, предпочитая область под крыльями, грудь, клоаку и бедра (рис. 2).



Рис. 2. *Menopon gallinae*

Анализ полученных данных свидетельствует о том, что у всех 60 исследованных особей птиц выявлены случаи моноинвазии эктопаразитами *Menopon gallinae* (табл. 1).

Таблица 1
Зараженность кур *Menopon gallinae* в условиях КФХ

Вид паразита	Количество обследованных птиц, гол.	Количество зараженных птиц, гол	Диапазон интенсивности заражения, min-max, экз.	ИИ, экз.
<i>Menopon gallinae</i>	60	60	6-65	30,3

Интенсивность заражения указанным видом колебалась в диапазоне от 6 до 65 экземпляров, при среднем значении интенсивности инвазии (ИИ) 30,3 экземпляра. Одной из целей нашего исследования являлось определение уровня заражения кур эктопаразитами в зависимости от породы (табл. 2).

Таблица 2
Зараженность кур *Menopon gallinae*, в зависимости от породного состава

№ п/п	Порода кур	Количество обследованных особей, гол.	Количество зараженных особей, гол.	Диапазон интенсивности заражения, min-max, экз.	ИИ, экз
1	Русская белая	10	10	6-11	9,7
2	Кучинская юбилейная	22	22	22-58	54,3
3	Красная белохвостая	12	12	45-65	57,0
4	Леггорн	8	8	15-25	19,6
5	Московская черная	8	8	8-12	10,8
Итого					30,3

Исследованные крестьянско-фермерские хозяйства специализировались на агротуризме, следовательно, куры не представляли собой основное направление демонстрации животных. Несмотря на ограниченное породное и численное разнообразие кур, удалось сформировать представление об интенсивности инвазии. Среди пяти представленных пород максимальное поражение зафиксировано у двух пород: красная белохвостая (ИИ = 57,0) и кучинская юбилейная (ИИ = 54,3). Первая характеризуется желто-

коричневым окрасом с белым хвостом, вторая – аналогичным цветом оперения, но с чёрным хвостом. Минимальная контаминация зарегистрирована у русских белых (ИИ = 9,7) и московских черных (ИИ = 10,8) кур, а порода леггорн заняла промежуточное положение (ИИ = 19,6).

Также была проведена оценка уровня загрязненности объектов птичника путем отбора образцов соскобов с поверхностей пола, стен, насестов и кормушек. Концентрация клещей в проанализированных пробах варьировала от 15 до 43 экземпляров.

Поскольку целью нашего исследования являлось тестирование эффективности препарата Gekkon farmer, содержащего аморфный диоксид кремния, после достижения полного выздоровления, повторного воздействия препарата не осуществлялось. Установленная эффективность терапии составила 100,0% в опытной группе и 73,3% в контрольной группе, что на 26,7 процентных пунктов ниже показателей опытной группы.

Следовательно, применение препарата Gekkon farmer, содержащего аморфный диоксид кремния, доказало свою высокую эффективность в лечении маллофагоза, что обусловлено особенностями его структуры (отсутствием кристаллической решетки), а также способностью вызывать дегидратацию и оказывать антисептическое воздействие, приводящее к гибели возбудителя заболевания – *Menopon gallinae* (табл. 3).

Таблица 3
Эффективность обработки кур от *Menopon gallinae*

Показатель	Группы	
	контрольная	опытная
Препарат	зольно-песчаная ванна	аморфный диоксид кремния
Количество птиц, гол.	30	30
Количество обработок, экс.	2	2
Количество полного выздоровления птицы после первой обработки, гол.	0	0
Количество полного выздоровления птицы после второй обработки, гол.	22±2	30
Эффективность лечения, %	73,3	100,0

Аморфная структура препарата обеспечивает равномерное

покрытие кожного покрова животных, предотвращая образование непроконтролированных зон и вызывая гибель эктопаразитов за счёт разрушения липидно-воскового защитного слоя их кутикулы, обеспечивающего гидратацию организма. Частицы порошка обладают повышенной сорбционной активностью, трансформируя защитный барьер насекомого в пористую структуру, ускоряя процесс обезвоживания и приводя к гибели паразитов.

Механизм действия аморфного диоксида кремния заключается в его безопасности для человека, сельскохозяйственных животных и экологии, так как вещество традиционно используется в фармакологии в качестве вспомогательного компонента [2] и эффективно уничтожает насекомых, нарушая способность сохранять влагу. Дополнительный дезинфицирующий эффект обеспечивается адсорбционными свойствами препарата, снижающими влажность кожи птицы и создающими неблагоприятные условия для размножения пухоедов.

Итак, в настоящий момент разрабатывается порошковая форма препарата, позволяющая осуществлять обработку птицы без применения средств индивидуальной защиты персонала и в присутствии людей и животных.

Заключение

Проведённое исследование показало, что применение препарата *Gekkon farmer* в дозировке 10-15 г на одну особь, оказывает выраженное антипаразитарное действие, достигая стопроцентного эффекта после двукратного применения. Контрольный осмотр инфицированных особей на 21-е сутки подтвердил полную эрадикацию инфекции. Данные результаты подтверждают целесообразность внедрения препарата на птицеводческих предприятиях с рекомендуемой схемой обработки: дважды с интервалом в семь дней, в дозировке 10-15 г на одну голову.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Благовещенский Д.И. Определитель насекомых Европейской части СССР. – Т.1. – М-Л.: Наука, 1964. – С. 309-323.
2. Исследование российского рынка аморфного диоксида кремния: популярность нового продукта быстро растет <https://dzen.ru/a/XV55KtTwegCtADGe?ysclid=mfwxhulx24243897180>
3. Кох М.Н., Измайлович И.Б. Влияние сухого заменителя обезжиренного молока на физиолого-биохимические показатели курнесушек кросса «Декалб» // Животноводство и ветеринарная медицина. - 2024. – №3. – С. 12.
4. Приказ Минсельхоза РФ <https://normativ.kontur.ru/document?moduleId=1&documentId=494249&ysclid=mfcywrvpq738300231>

5. Штеле А.Л. Повышение яйценоскости у высокопродуктивных кур и проблема ее раннего прогнозирования // С.-х. биол., Сельхозбиология, S-h biol, Sel-hoz biol, Sel'skokhozyaistvennaya biologiya, Agricultural Biology, 2014. – №6. – С. 26.

REFERENCES

1. Blagoveshchensky D.I. Identification of Insects of the European Part of the USSR. Vol. 1. Moscow-Leningrad: Nauka, 1964, pp. 309-323.
2. Research on the Russian Market of Amorphous Silicon Dioxide: The Popularity of a New Product is Growing Rapidly <https://dzen.ru/a/XV55KtTwegCtADGe?ysclid=mfwxhulx24243897180>
3. Koh M.N. The influence of a skimmed milk dry substitute on the physiological and biochemical parameters of laying hens of the Dekalb cross / M.N. Koh, I.B. Izmailovich // Animal husbandry and veterinary medicine, 2024. – No. 3. – P. 12.
4. Order of the Ministry of Agriculture of the Russian Federation <https://normativ.kontur.ru/document?moduleId=1&documentId=494249&ysclid=mfcywrpq738300231>
5. Shtele A.L. Increasing Egg Production in High-Productivity Chickens and the Problem of Early Prediction // S.-h. biol., Sel'skokhozyaistvennaya biologiya, Agricultural Biology, 2014. – No. 6. – P. 26.

Информация об авторах

Ю.В. Протасова – заведующий лабораторией отдела технологий и контроля качества ООО НПО «Гарант»;

Н.Е. Земскова – доктор биологических наук, заведующий кафедрой зоотехнии;

И.П. Альканова – студент 4 курса факультета БиВМ;

В.Н. Саттаров – доктор биологических наук, профессор, зав. кафедрой экологии, географии и природопользования.

Information about the authors

Yu.V. Protasova – Head of the Laboratory of the Technology and Quality Control Department of NPO Garant LLC;

N.E. Zemskova – Doctor of Biological Sciences, Head of the Department of Animal Science;

I.P. Alkanova - 4th year student of the Faculty of BIOM;

V.N. Sattarov – Doctor of Biological Sciences, Professor, Head of the Department of Ecology, Geography and Environmental Management.

Статья поступила в редакцию 21.10.2025; принята к публикации 14.11.2025.

The article was submitted 21.10.2025; accepted for publication 14.11.2025.

БИОЛОГИЧЕСКИЕ НАУКИ

Научная статья

УДК 574.2

DOI 10.21510/3034-266X-2025-4-37-45

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕТОДА ФЛУКТУИРУЮЩЕЙ АСИММЕТРИИ ЛИСТЬЕВ *BETULA PENDULA ROTH* ДЛЯ ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА АТМОСФЕРНОГО ВОЗДУХА ГОРОДА УФЫ

Анастасия Романовна Соломко¹, Аизида Байрасовна Сулейманова², Дмитрий Денисович Филиппов³, Владислав Максимович Чернов⁴, Тагир Рустэмович Кабиров⁵, Наталья Викторовна Суханова⁶

^{1,2,3,4,5,6}Башкирский государственный педагогический университет им. М. Акмуллы, Уфа, Россия
vladcernov93@mail.ru

Аннотация. В данной статье рассматривается применение метода оценки качества атмосферного воздуха по показателям флуктуирующей асимметрии (далее - ФА) листьев берёзы повислой. В результате исследования установлены интегральные показатели ФА для Орджоникидзевского р-на г. Уфа и с. Салихово Чишминского района, использованного в качестве контрольного участка.

Ключевые слова: биоиндикация, берёза повислая, флуктуирующая асимметрия, г. Уфа, с. Салихово.

Для цитирования: Соломко А.Р., Сулейманова А.Б., Филиппов Д.Д., Чернов В.М., Кабиров Т.Р., Суханова Н.В. Использование метода флуктуирующей асимметрии листьев *Betula pendula Roth* для оценки качества атмосферного воздуха города Уфы// Вестник Башкирского государственного педагогического университета им. М. Акмуллы. Серия: Естественные науки. 2025. №4 С. 37-45.

BIOLOGICAL SCIENCES

Original article

USING THE *BETULA PENDULA ROTH* LEAF FLUCTUATING ASYMMETRY METHOD TO ASSESS AIR QUALITY IN UFA

Anastasia Romanovna Solomko¹, Aizida Bairasovna Suleimanova², Dmitry Denisovich Filippov³, Vladislav

Maksimovich Chernov⁴, Tagir Rustemovich Kabirov⁵, Natalya Viktorovna Sukhanova⁶

^{1,2,3,4,5,6}Bashkir State Pedagogical University named after M. Akmulla, Ufa, Russia

^{1,2,3,4,5,6}vladcernov936@mail.ru

Abstract. This article examines the application of a method for assessing atmospheric air quality using fluctuating asymmetry (hereinafter referred to as FA) indices of silver birch leaves. The study established integrated FA indices for the Ordzhonikidzevsky District of Ufa and the village of Salikhovo in the Chishminsky District, which served as a control site.

Keywords: bioindication, silver birch, fluctuating asymmetry, Ufa city, Salikhovo village.

For citation: Solomko A.R., Suleimanova A.B., Filippov D.D., Chernov V.M., Kabirov T.R., Sukhanova N.V. Using the Fluctuating Asymmetry Method of *Betula pendula* Roth Leaves to Assess Air Quality in Ufa // Bulletin of the Bashkir State Pedagogical University named after M. Akmulla. Series: Natural Sciences. 2025. No.4. pp. 37-45.

Возрастающее негативное антропогенное воздействие на окружающую среду требует постоянной оценки ее состояния и обеспечения безопасности для живых организмов, в том числе человека. Эффективным индикатором степени загрязнения окружающей среды служит параметр ФА, количественно характеризующий ненаправленные отклонения от билатеральной симметрии организмов или их частей. В настоящее время для оценки уровня загрязнения окружающей среды широко используется показатель ФА морфологических структур листа березы повислой, имеющих билатеральную симметрию, так как данный вид обладает высокими сорбционными свойствами. При негативных воздействиях в листьях деревьев наблюдаются морфологические изменения, такие как уменьшение площади листовой пластины и появление асимметрии. По мере накопления токсических веществ при формировании листовой пластины тормозятся ростовые процессы и происходит деформация листа [1].

Целью настоящего исследования был анализ экологического состояния территории Орджоникидзевского р-на г. Уфа методом оценки показателей ФА листьев березы повислой.

Материалы и методы

Изучение ФА листьев березы повислой проводили по методике А.С. Боголюбова [2].

Для анализа экологического состояния территории Орджоникидзевского р-на г. Уфы (опытный участок) в сентябре 2025 г. были отобраны пробы листьев с 5 деревьев по 200 листьев с каждого дерева и в селе Салихово Чишминского района (контрольный участок). Село Салихово расположено в 50 км на юго-запад от города Уфы. На территории республики преобладают ветра южного направления, т.о. выбранная в качестве контроля территория испытывает незначительное воздействие от промышленного мегаполиса.

При камеральной обработке с каждого листа снимали показатели пяти промеров с левой и правой сторон по каждому из перечисленных в таблице 1 признаков. Величину асимметричности оценивали с помощью интегрального показателя – величины среднего относительного различия на признак.

Для оценки полученных результатов использовалась шкала оценки отклонений состояния организма от условной нормы по величине интегрального показателя стабильности развития, предложенная В. М. Захаровым и Е. Ю. Крысановым: 1 балл – $<0,040$ (условная норма); 2 балла – 0,040-0,044; 3 балла – 0,045-0,049; 4 балла – 0,050-0,054; 5 баллов – $>0,054$ (сильное, экстремальное загрязнение) [3].

Таблица 1
Показатели среднего значения ФА и среднеквадратического отклонения, изучаемых признаков

Признаки	Сторона листа	с. Салихово	г. Уфа
1	Л	$12,9 \pm 3,8$	$17,0 \pm 4,1$
	П	$13,3 \pm 3,9$	$17,1 \pm 4,8$
2	Л	$28,9 \pm 6,4$	$32,5 \pm 9,6$
	П	$29,4 \pm 6,9$	$34,3 \pm 9,2$
3	Л	$5,7 \pm 1,9$	$4,7 \pm 2,1$
	П	$5,7 \pm 2,2$	$4,9 \pm 2,4$
4	Л	$10,2 \pm 2,9$	$11,2 \pm 3,3$
	П	$9,7 \pm 2,7$	$11,1 \pm 3,2$
5	Л	$37,6 \pm 5,2$	$41,4 \pm 6,4$
	П	$38,1 \pm 4,9$	$41,1 \pm 7,0$

Примечание. Л – левая сторона листа, П – правая сторона листа.

Признаки: 1 – ширина половинки листа, мм; 2 – длина второй жилки второго порядка от основания листа, мм; 3 – расстояние между

основаниями первой и второй жилок второго порядка, мм; 4 – расстояние между внешними концами этих же жилок, мм; 5 – угол между главной жилкой и второй от основания жилкой второго порядка, °.

Сравнительный анализ средних значений показывает, что по большинству изученных признаков (1, 2, 4, 5) абсолютные значения как для левой (Л), так и для правой (П) сторон листа в среднем выше в урбанизированной зоне (г. Уфа) по сравнению с контрольным участком (с. Салихово). Это указывает на возможное влияние антропогенного стресса, который может проявляться в изменении морфологических характеристик листовой пластиинки.

Таблица 2
Показатели коэффициента вариации, изучаемых признаков, в %

Показатели	Сторона листа	с. Салихов	г. Уфа
1	Л	30	24
	П	29	28
2	Л	22	29
	П	24	27
3	Л	34	45
	П	38	50
4	Л	29	30
	П	28	29
5	Л	14	15
	П	13	17

Оценка стабильности развития на основе анализа коэффициентов вариации (CV) выявила существенные различия (табл. 2). По таким показателям, как ширина половины листовой пластиинки (признак 3), коэффициенты вариации в г. Уфа составляет 45-50% и достоверно превышают аналогичные показатели в контроле – 34-38%. В меньшей степени, но такую же тенденцию имели признаки 1 и 4. Высокий коэффициент вариации свидетельствует о нестабильности развития листовых пластиинок.

Результаты и их обсуждение

Как видно из результатов исследования (табл. 1, 2) более низким интегральным показателем ФА листьев берёзы повислой характеризуется растения, произрастающие в селе Салихово. Насаждениям контрольной площадки присвоен балл 2 – начальные (незначительные) отклонения от нормы, что указывает на относительно чистую окружающую среду, обеспечивающую низкий уровень стрессового воздействия на древесные растения (табл. 3). Это позволяет рассматривать популяцию березы в данной локации как референтную. Показатели ФА на данном участке служат базовым уровнем для оценки степени нарушений в урбанизированной среде.

Таблица 3

Оценка качества среды территории с. Салихово и г. Уфы

Населенный пункт	Значение показателя ФА	Балл
с. Салихово	0,043	2
г. Уфа	0,273	5

Образцы, собранные на территории Орджоникидзевского района г. Уфа, отличаются более высокими показателями ФА. Данным насаждениям присвоен балл 5 – критическое состояние (табл.3).

Таблица 4

Результаты автоматизированного контроля загрязняющих веществ в атмосферном воздухе Орджоникидзевского р-на г. Уфа [4]

Ингредиент	Среднесуточная концентрация загрязняющих веществ, мг/м ³	Максимально-разовая концентрация загрязняющих веществ, мг/м ³	Среднесуточная предельно допустимая концентрация, мг/м ³
Азота оксид	0,011	0,034	0,06
Азота диоксид	0,022	0,036	0,04
Аммиак	0,001	0,004	0,04
Сера диоксид	0,039	0,041	0,05
Оксид углерода	0,318	0,600	3,00
Взвешенные частицы	0,004	0,026	0,04

PM 1 (пыль)	0,004	0,024	-
PM 2.5 (пыль)	0,004	0,025	0,035
PM 4 (пыль)	0,004	0,025	0,15
PM 10 (пыль)	0,0042	0,026	0,06

Растения в таких условиях подвержены влиянию многофакторного техногенного пресса, включающего газообразные и аэрозольные загрязнители. Урбанизированная среда в исследуемом участке, характеризуется повышенной загазованностью, запыленностью и рекреационной нагрузкой. Произрастающие в таких условиях березы испытывают постоянный стресс, влияющий на их онтогенез.

Анализ данных официальных источников [4] показал, что Орджоникидзевский район Уфы характеризуется устойчивой негативной динамикой комплексного экологического индекса в период 2022-2024 годов. Ключевым фактором экологического неблагополучия здесь является высокий уровень загрязнения атмосферного воздуха, обладающий наибольшим весом в интегральной оценке. Значительный вклад в загрязнительную нагрузку вносят промышленные выбросы и автотранспорт, несмотря на отмечаемую положительную динамику их снижения.

Для получения объективной инструментальной оценки качества воздуха на исследуемой территории обратились к данным автоматизированной системы контроля загрязнения атмосферы (АСКЗА), которые приведены в табл. 4 [4].

Несмотря на формальное соответствие нормативам, концентрация некоторых веществ находится на высоком уровне, создавая хронический стресс для растений. Например, среднесуточная концентрация диоксида серы (SO_2) равна 0,039 мг/м³ при ПДК с.с. 0,05 мг/м³ – уровень достигает 78% от предельно допустимого; по диоксиду азота (NO_2) этот показатель равен 0,022 мг/м³ при ПДК с.с. 0,04 мг/м³ – уровень составляет 55% от предельно допустимого. Это указывает на постоянную и значительную нагрузку.

Заключение

Проведенное биоиндикационное исследование убедительно доказало, что метод ФА листьев *Betula pendula* является эффективным инструментом для диагностики уровня антропогенного загрязнения окружающей среды. Результаты оценки демонстрируют четкую градацию состояния среды между контрольной и урбанизированной территориями и коррелируют с инструментальными данными

объективного контроля, что подтверждается многими исследованиями [6-8].

Значение интегрального показателя ФА в контрольном участке с. Салихово Чишминского района составило 0,043, что соответствует 2-м баллам и характеризует среду, как имеющую начальные (незначительные) отклонения от нормы. Данный результат подтверждает пригодность выбранного участка в качестве контрольного и свидетельствует об относительной стабильности развития исследуемой популяции берескета.

В резком контрасте значение показателя ФА в городской черте, а именно в Орджоникидзевском районе г. Уфа, которое достигло 0,273, что соответствует 5-ти баллам по оценочной шкале и интерпретируется как «критическое состояние» окружающей среды. Столь высокий уровень асимметрии указывает на сильную дестабилизацию онтогенеза растений, вызванную комплексным воздействием негативных антропогенных факторов, характерных для крупного промышленного центра.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Кустова Л.М. Применение методов флюктуирующей асимметрии листовой пластинки берескета повислой (*Betula pendula* Roth) для оценки экологического состояния придорожных полос города Казани. Казань, 2013. 112 с.
2. Боголюбов А. С. Оценка экологического состояния леса по асимметрии листьев. Учебное пособие. Экосистема, 2002. – 10 с.
3. Залесов С.В. и др. Использование показателя флюктуирующей асимметрии берескета повислой для оценки ее состояния // Современные проблемы науки и образования. – 2014. – № 5. – С. 742-742.
4. Официальный сайт Министерства природопользования и экологии Республики Башкортостан [Электронный ресурс] – Режим доступа: URL: <https://ecology.bashkortostan.ru/>.
5. Захаров В.М., Крысанов Е.Ю. Проблема оценки последствий Чернобыльской катастрофы для здоровья среды / В.М. Захаров, Е.Ю. Крысанов // Последствия Чернобыльской катастрофы: Здоровье среды – М., 1996.- С. 9-11.
6. Гуртjak А.А., Углев В.В. Оценка состояния среды городской территории с использованием берескета повислой в качестве биоиндикатора // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. – 2010. – Т. 317. – № 1.
7. Опекунова М.Г., Башарин Р.А. Применение флюктуирующей асимметрии листьев берескета (*Betula pubescens* Ehrh.) для оценки загрязнения окружающей среды в районе Костомукши // Вестник СПбГУ. Науки о Земле. 2014. №3. URL:

<https://cyberleninka.ru/article/n/primenie-fluktuiruyushey-asimmetrii-listiev-berezy-betula-pubescens-ehrh-dlya-otsenki-zagryazneniya-okruzhayushey-sredy-v-rayone> (data обращения: 13.10.2025).

8. Стрельцов А.Б., Наумова А.А., Наумова Т.А. Флуктуирующая асимметрия листовой пластиинки березы повислой (*Betula pendula* Roth.) как индикатора определения загрязняющей среды // Международный журнал прикладных наук и технологий «Integral». – 2021. – № 2. – С. 93-98.

REFERENCES

1. Kustova L.M., “Using the Methods of Fluctuating Asymmetry of the Leaf Blade of Silver Birch (*Betula pendula* Roth) to Assess the Ecological State of Roadsides in Kazan.” Kazan, 2013, 112 p.
2. Bogolyubov A.S., “Assessing the Ecological State of a Forest Based on Leaf Asymmetry.” Study Guide. Ecosystem, 2002, 10 p.
3. Zalesov S.V., et al., “Using the Fluctuating Asymmetry Index of Silver Birch to Assess its Condition.” Modern Problems of Science and Education, 2014, no. 5, pp. 742–742.
4. Official Website of the Ministry of Nature Management and Ecology of the Republic of Bashkortostan [Electronic Resource] – Access Mode: URL: <https://ecology.bashkortostan.ru/>.
5. Zakharov V.M., Krysanov E.Yu. The Problem of Assessing the Consequences of the Chernobyl Disaster for Environmental Health / V.M. Zakharov, E.Yu. Krysanov // Consequences of the Chernobyl Disaster: Environmental Health – Moscow, 1996. – pp. 9-11.
6. Gurtyak A.A., Uglev V.V. Assessing the State of the Urban Environment Using Silver Birch as a Bioindicator // Bulletin of Tomsk Polytechnic University. Georesources Engineering. – 2010. – Vol. 317. – No.1.
7. Opekunova M.G., Basharin R.A. Application of Fluctuating Asymmetry of Birch Leaves (*Betula pubescens* Ehrh.) to Assess Environmental Pollution in the Kostomuksha Area // Bulletin of St. Petersburg State University. Earth Sciences. 2014. No. 3. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/primenie-fluktuiruyushey-asimmetrii-listiev-berezy-betula-pubescens-ehrh-dlya-otsenki-zagryazneniya-okruzhayushey-sredy-v-rayone> (date of access: 13.10.2025).
8. Streltsov A.B., Naumova A.A., Naumova T.A. Fluctuating asymmetry of the leaf blade of silver birch (*Betula pendula* Roth.) as an indicator of determining the polluting environment // International Journal of Applied Sciences and Technologies "Integral". – 2021. – No.2. – pp. 93-98.

Информация об авторах

A.P. Соломко – студент;
А.Б. Сулейманова – студент;
Д.Д. Филиппов – студент;
В.М. Чернов – студент;
Т.Р. Кабиров – кандидат биологических наук, доцент;
Н.В. Суханова – доктор биологических наук, профессор.

Information about the authors

A.R. Solomko – student;
A.B. Suleymanova – student;
D.D. Filippov – student;
V.M. Chernov – student;
T.R. Kabirov – Candidate of Biological Sciences, Associate Professor;
N.V. Sukhanova – Doctor of Biological Sciences, Professor.

Статья поступила в редакцию 01.12.2025; принята к публикации 13.12.2025.

The article was submitted 01.12.2025; accepted for publication 13.12.2025.

НАУКИ О ЗЕМЛЕ

Научная статья

УДК 639.3.05

DOI 10.21510/3034-266X-2025-4-46-53

ГОДОВАЯ ЦИКЛИЧНОСТЬ ГИДРОХИМИЧЕСКОЙ ДИНАМИКИ ВОДНЫХ ОБЪЕКТОВ САМАРСКОЙ ОБЛАСТИ КАК ФАКТОР ФОРМИРОВАНИЯ УСЛОВИЙ ОБИТАНИЯ ГИДРОБИОНТОВ

Ирина Павловна Альканова¹, Мария Игоревна Лубенцова²,
Наталья Евгеньевна Земскова³, Венер Нуруллович Саттаров⁴

^{1,2,3}*Самарский государственный аграрный университет, п.г.т.*
Усть-Кинельский, Россия, alkanovairinaaaa@mail.ru,
lubenczova.mari@bk.ru, Zemskowa.nat@yandex.ru.

⁴*Башкирский государственный педагогический университет*
имени М. Акмуллы, Уфа, Россия, wener5791@yandex.ru

Аннотация. В представленном исследовании проводится сравнительный анализ гидрохимического режима среды в сезонном аспекте – в весенний и осенний периоды. Целью работы является выявление динамики изменения ключевых физико-химических показателей и установление вероятных причин, обуславливающих наблюдаемые колебания. В качестве основной рабочей гипотезы выдвигается предположение о том, что интенсивное антропогенное воздействие, пик которого приходится на летний сезон, приводит к существенной трансформации химического профиля водоема. Следствием этого является недостаточность процессов естественной (природной) самоочистки водной экосистемы для полной нейтрализации и ассимиляции поступающих загрязняющих веществ к началу осеннего периода.

Ключевые слова: гидрохимический режим, Большой Кинель, Волга, Самарская область, водоочистка, естественное восстановление водоёмов.

Для цитирования: Альканова И.П., Лубенцова М.И., Земскова Н.Е., Саттаров В.Н. Годовая цикличность гидрохимической динамики водных объектов самарской области как фактор формирования условий обитания гидробионтов// Вестник Башкирского государственного педагогического университета им. М. Акмуллы. Серия: Естественные науки. 2025. №4. С. 46-53.

EARTH SCIENCES

Original article

ANNUAL CYCLICITY OF HYDROCHEMICAL DYNAMICS OF WATER BODIES IN THE SAMARA REGION AS A FACTOR IN THE FORMATION OF HABITAT CONDITIONS FOR AQUATIC ORGANISMS

*Irina Pavlovna Alkanova¹, Maria Igorevna Lubentsova², Natalya
Evgenievna Zemskova³, Vener Nurullovich Sattarov⁴*

^{1,2,3}*Samara State Agrarian University, Ust-Kinelsky, Russia,
alkanovairinaaaa@mail.ru, Zemskowa.nat@yandex.ru*

⁴*Bashkir State Pedagogical University named after M. Akmulla, Ufa,
Russia, wener5791@yandex.ru*

Abstract. This study presents a comparative analysis of the aquatic environment's hydrochemical regime from a seasonal perspective – during the spring and autumn periods. The aim of the work is to identify the dynamics of changes in key physicochemical parameters and to establish the probable causes underlying the observed fluctuations. The main working hypothesis posits that intensive anthropogenic impact, which peaks during the summer season, leads to a significant transformation of the water body's chemical profile. As a consequence, the processes of natural self-purification within the aquatic ecosystem are insufficient to fully neutralize and assimilate incoming pollutants by the beginning of the autumn period.

Keywords: hydrochemical regime, Bolshoy Kinel River, Volga River, Samara region, water treatment, natural restoration of water bodies.

For citation: Alkanova I.P., Lubentsova M.I., Zemskova N.E., Sattarov V.N. Annual cyclicity of hydrochemical dynamics of water bodies in the Samara region as a factor in the formation of habitat conditions for aquatic organisms // Bulletin of the Bashkir State Pedagogical University named after M. Akmulla. Series: Natural Sciences. 2025. No4. pp. 46-53.

Поверхностные гидрологические объекты (реки, озера, водохранилища) представляют собой неотъемлемые структурные элементы биосфера, выполняющие множество жизненно важных функций. Их экологическое состояние выступает определяющим фактором для устойчивого функционирования водных и околоводных экосистем, напрямую влияя на биоразнообразие и стабильность трофических цепей. Кроме того, качество водных ресурсов является основополагающим условием для социально-экономического благополучия региона, поскольку обеспечивает нужды населения в питьевой воде, поддерживает рекреационный потенциал и различные отрасли промышленности. Таким образом, водные объекты служат

критически важным связующим звеном между природными процессами и антропогенной деятельностью.

В настоящее время большинство пресноводных экосистем, особенно в пределах урбанизированных и аграрных территорий, испытывают на себе значительную прессингующую нагрузку. Формирование специфического гидрохимического режима водоемов происходит под влиянием сложного комплекса взаимосвязанных движущих сил. К числу природных детерминант относятся климатические характеристики (режим выпадения осадков, температурный фон), особенности водосборного бассейна (геологическое строение, тип почв), а также сезонная динамика биологических процессов (цветение фитопланктона, деструкция органического вещества). При этом все более доминирующую роль играют факторы антропогенного генезиса: сброс недостаточно очищенных промышленных и коммунально-бытовых сточных вод, поступление диффузного загрязнения с сельскохозяйственных угодий (агрохимикаты, биогенные элементы), а также регулирование стока и зарегулирование рек, что приводит к трансформации естественного гидрологического режима.

В данном контексте проведение системных сезонных исследований приобретает первостепенное значение. Мониторинговые работы, организованные с учетом внутригодовой цикличности, позволяют не просто фиксировать разовые значения гидрохимических показателей, но и выявлять устойчивые тренды и закономерности в их изменчивости. Анализ таких временных рядов дает возможность установить причинно-следственные связи между внешними воздействиями и реакцией экосистемы, оценить интенсивность биогеохимических процессов в разные сезоны года и спрогнозировать возможные изменения в состоянии водных объектов под влиянием природных и антропогенных факторов. Следовательно, изучение сезонной динамики гидрохимического режима является не только теоретической основой для понимания функционирования водных экосистем, но и важным прикладным инструментом для разработки эффективных мер по их охране и рациональному использованию.

Целью представленного научного исследования является оценка формирования условий обитания гидробионтов в водоёмах Самарской области под влиянием сезонных изменений гидрохимического режима.

Задачи исследования:

1. Дать комплексную характеристику и провести сравнительный анализ гидрохимического режима рек Большой Кинель и Волга в различные сезоны года.
2. Оценить роль процессов естественной самоочистки в формировании качества водной среды и устойчивости экосистемы в условиях антропогенной нагрузки.

3. Проанализировать влияние выявленных сезонных изменений гидрохимического режима на условия обитания и состояние гидробионтов.

Объектом исследования выступали пробы воды из рек Волги, Большого Кинеля и установок замкнутого водоснабжения (УЗВ), содержащих рыбу семейства осетровых (белугу, ленского осетра, русского осетра, стерлядь).

Методология

Исследование проводилось согласно ГОСТ Р 59025-2020 [3], с использованием стерильных емкостей и экспресс-тестов «Water test strips». В работе использовался калориметрический метод.

Исследование проводилось в посёлке городского типа Усть-Кинельский, где протекает река Большой Кинель. Также была использована вода из реки Волга города Самара, точка взятия образца – Ладья. Отбор проб проводился по общепринятой методике и ГОСТу.

Результаты

Проведённый мониторинг выявил устойчивую тенденцию к снижению значений водородного показателя (рН) в исследуемых водных объектах в определённые сезонные периоды. Наблюдаемое подкисление среды может быть обусловлено комплексом факторов. Ведущей причиной, по-видимому, является усиление дыхательной активности гидробионтов, приводящее к повышенному выделению диоксида углерода (CO_2) и последующему образованию слабой угольной кислоты. Параллельно с этим определённый вклад в динамику рН вносит жизнедеятельность фитопланктона. Несмотря на то, что в дневные часы в процессе фотосинтеза фитопланктон потребляет CO_2 и способствует подщелачиванию воды, в ночное время его дыхание, а также разложение органического вещества после отмирания водорослей, оказывают противоположный, подкисляющий эффект. Следует отметить, что активное развитие фитопланктонаемых сообществ является важным компонентом процессов естественного самоочищения водоёмов (табл. 1).

Таблица 1
Гидрохимическое состояние изучаемых водных объектов

Показатели	р. Б. Кинель Весенний период	р. Б. Кинель Осенний период	р. Волга Весенний период	р. Волга Осенний период
рН	10±0,56	7,6±0,75	7±0,54	6,6±0,63
Общая щёлочность, мг/дм ³	120±0,13	120±0,21	70±0,81	70±0,45
Карбонаты, мг/дм ³	120±0,28	180±0,15	128±0,69	160±0,43

Общая жёсткость, °Ж	10	10	4	4
Циануровая кислота, мг/дм ³	0	0	0	0
Медь, мг/дм ³	0	0	0	0
Ртуть, мг/дм ³	0	0	0	0
Общий хлор, мг/дм ³	0	0	1±0,53	0
Свободный хлор, мг/дм ³	0	0	0	0
Бром, мг/дм ³	0	0	0	0
Нитриты, мг/дм ³	0	0	0	0
Нитраты, мг/дм ³	0	10±0,63	0	0
Железо, мг/дм ³	0	0	6±0,36	6,5±0,25
Хром, мг/дм ³	0	0	0	0
Свинец, мг/дм ³	0	0	0	0
Фторид, мг/дм ³	0	0	0	0

Анализ гидрохимического состава показал статистически значимое повышение концентрации карбонатных ионов (CO_3^{2-}). Наиболее выраженный рост данного показателя коррелирует с периодами выпадения интенсивных атмосферных осадков, что позволяет предположить их ведущую роль в вымывании карбонатов с водосборной территории. В качестве дополнительных источников рассматривается инфильтрация грунтовых вод, обогащённых продуктами выветривания горных пород, а также потенциальное влияние недостаточно очищенных сточных вод.

Согласно данным литературных источников [1], вода в реке Большой Кинель характеризуется стабильно повышенными показателями общей минерализации и жёсткости, а по преобладающему ионному составу классифицируется как гидрокарбонатно-кальциевая. Данная гидрохимическая специфика имеет прямую геологическую обусловленность. Бассейн реки Большой Кинель сложен породами осадочного происхождения, в пределах которого широко распространены обнажения известняков, мергелей, а

также глин с прослойками песков и песчаников. Именно процессы химического выветривания и растворения этих карбонатных пород и являются доминирующим фактором, формирующим повышенную жёсткость вод реки Большой Кинель.

Что касается биогенных элементов, то концентрации нитрат-ионов (NO_3^-) в период наблюдений не превышали установленных гигиенических нормативов, однако регистрировались на уровнях, приближенных к их предельным значениям. Основным источником поступления азотных соединений в водную экосистему, вероятнее всего, является природный процесс деструкции органического вещества. Значимым подтверждением этой гипотезы служит интенсивное поступление в водоём аллохтонной органики, в частности, опавшей листвы с прибрежной древесной растительности, разложение которой сопровождается высвобождением азота в минерализованной форме.

В противоположность этому, повышенные концентрации общего железа, зафиксированные в воде реки Волга, имеют ярко выраженную антропогенную природу. Город Самара, являясь крупным промышленным центром, оказывает существенное влияние на качество вод волжского бассейна. Основными каналами поступления железа в акваторию служат сбросы промышленных сточных вод от предприятий металлургического комплекса, лакокрасочной и текстильной промышленности, что подтверждает тесную связь между экологическим состоянием реки и масштабами хозяйственной деятельности в её бассейне.

В рамках исследования была дана комплексная характеристика и проведён сравнительный анализ гидрохимического режима рек Большой Кинель и Волга. Установлено, что водные объекты обладают выраженной пространственной и сезонной неоднородностью. Для реки Большой Кинель установлен гидрокарбонатно-кальциевый состав вод с устойчиво повышенными показателями общей минерализации и жёсткости, что детерминировано геологическим строением её бассейна, сложенного карбонатными породами (известняки, мергели). Сезонная динамика проявляется в увеличении концентрации карбонатов в период половодья и дождевых паводков. В отличие от неё, р. Волга в участке забора пробы испытывает значительное антропогенное воздействие, о чём свидетельствуют стабильно повышенные концентрации общего железа, обусловленные сбросами промышленных стоков. Сезонные колебания pH в обеих реках связаны с биологической активностью гидробионтов и фитопланктона.

Была оценена роль процессов естественной самоочистки. Анализ показал, что, несмотря на активную деятельность фитопланктона и процессы деструкции органического вещества, потенциал самоочищающей способности исследуемых водных

экосистем является недостаточным для нейтрализации постоянной антропогенной нагрузки. Это подтверждается стабильно высокими концентрациями загрязняющих веществ (железо) и показателей жёсткости за весь годовой цикл, превышающими нормативные значения. Таким образом, естественные процессы не обеспечивают необходимой устойчивости экосистем и формирования благоприятного качества водной среды в условиях существующего прессинга.

Проанализировав влияние выявленных сезонных изменений гидрохимического режима на условия обитания гидробионтов установлено, что основные риски для водных биоценозов носят хронический характер и связаны не столько с сезонными колебаниями, сколько со стабильно неблагоприятным фоном [5]. Повышенная жёсткость и минерализация в р. Большой Кинель создают осмотический стресс для многих видов гидробионтов. Высокие концентрации железа в р. Волга обладают токсическим действием, влияя на дыхательные функции и репродуктивную систему рыб и беспозвоночных. Сезонное снижение pH, связанное с выделением CO₂, может потенцировать токсичность других загрязнителей. Условия, пригодные для устойчивого выращивания чувствительных видов гидробионтов, могут быть обеспечены только в системах с регулируемой водной средой (УЗВ) с использованием многоступенчатой очистки, включая мембранные технологии и методы обратного осмоса.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Беспалова К.В., Водные ресурсы: изучение и управление (школа-практика): Материалы VI Международной конференции молодых ученых, Петрозаводск, 01–05 сентября 2020 года. – Петрозаводск: Карельский Научный центр РАН, 2020. – 48 с.
2. Водогрецкий В.Е., Савичев О.С. Антропогенное воздействие на водные ресурсы и экосистемы. – Томск: Изд-во ТПУ, 2010. – 180 с.
3. ГОСТ Р 59025-2020. Вода. Общие требования к отбору проб. – М.: Стандартинформ, 2020.
4. Моисеенко Т.И. Водная экотоксикология: теоретические и прикладные аспекты. – М.: Наука, 2009. – 400 с.
5. Экологический атлас Самарской области / Под ред. Г.С. Розенберга. – Самара: Изд-во СО РАН, 2018. – 280 с.

REFERENCES

1. Bespalova K.V., Water resources: study and management (school practice): Proceedings of the VI International Conference of Young

Scientists, Petrozavodsk, September 01-05, 2020. Petrozavodsk: Karelian Scientific Center of the Russian Academy of Sciences. – 2020. – 48 p.

2. Vodogretsky V.E., Savichev O.S. Anthropogenic impact on water resources and ecosystems. Tomsk: TPU Publishing House, 2010. 180 p.

3. GOST R 59025-2020. Water. General requirements for sampling. Moscow: Standartinform, 2020.

4. Moiseenko T.I. Aquatic ecotoxicology: theoretical and applied aspects. Moscow: Nauka, 2009. 400 p.

5. Ecological atlas of the Samara region / Edited by G.S. Rosenberg. Samara: Publishing House of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, 2018. 280 p.

Информация об авторах

И.П. Альканова – студент 4 курса факультета БиВМ, ФГБОУ ВО «Самарский ГАУ»;

М.И. Лубенцова – студент 2 курса факультета БиВМ, ФГБОУ ВО «Самарский ГАУ»;

Н.Е. Земскова – доктор биологических наук, заведующий кафедрой зоотехники ФГБОУ ВО «Самарский ГАУ»;

В.Н. Саттаров – доктор биологических наук, профессор, зав. кафедрой экологии, географии и природопользования.

Information about the authors

I.P. Alkanova – is a 4th-year student of the Faculty of Animal Husbandry and Veterinary Medicine, Samara State Agrarian University;

M.I. Lubentsova – is a 4th-year student of the Faculty of Animal Husbandry and Veterinary Medicine, Samara State Agrarian University;

N.E. Zemskova – Doctor of Biological Sciences, Head of the Department of Animal Husbandry at Samara State Agrarian University;

V.N. Sattarov – Doctor of Biological Sciences, Professor, Head of the Department of Ecology, Geography and Environmental Management.

Статья поступила в редакцию 11.11.2025; принята к публикации 09.12.2025.

The article was submitted 11.11.2025; accepted for publication 09.12.2025.

ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ФИЗИКА

Научная статья

УДК 517.928

DOI 10.21510/3034-266X-2025-4-54-67

ОБ ИНДЕКСАХ ДЕФЕКТА СИНГУЛЯРНОГО ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНОГО ОПЕРАТОРА НЕЧЕТНОГО ПОРЯДКА

Наркас Юсуповна Асылгужина

Башкирский государственный педагогический университет им.

М.Акмуллы, Уфа, Россия

Asylguzhina36690@gmail.com

Аннотация. Исследуется асимптотическое поведение фундаментальной системы решений дифференциальных уравнений нечетного порядка и индексы дефекта дифференциального оператора.

Ключевые слова: дифференциальные уравнение, асимптотическое поведение решений, индексы дефекта.

Для цитирования: Асылгужина Н.Ю. Об индексах дефекта сингулярного дифференциального оператора нечетного порядка // Вестник Башкирского государственного педагогического университета им. М. Акмуллы. Серия: Естественные науки. – 2025. – № 4. – С. 54-67.

THEORETICAL PHYSICS

Original article

ON THE DEFECT INDEXES OF THE SINGULAR DIFFERENTIAL OPERATOR OF AN EVEN ORDER

Narkas Y. Asylguzhina

*Bashkir State Pedagogical University named after M. Akmulla, Ufa,
Russia*

Asylguzhina36690@gmail.com

Abstract. The article studies the asymptotic behavior of the fundamental system of solutions of odd-order differential equations and the defect indices of the differential operator.

Keywords: differential equations, asymptotic behavior of solutions, and defect indices.

For citation: Asylguzhina N.Y. On the defect indexes of the singular differential operator of an even order // Bulletin of the Bashkir State

Pedagogical University named after M. Akmulla. Series: Natural Sciences.
2025. No. 4. pp. 54-67.

В работе рассматривается уравнение следующего вида:

$$2iy^V + p_0(x)y - (p_1(x)y')' + (p_2(x)y'')'' + i[(q_0(x)y)' + q_0(x)y' - (q_1(x)y')'' + (q_1(x)y'')] = i\sigma y, \quad (1)$$

где $\sigma \neq 0, 0 \leq x < \infty$ и $p_k(x), k = \overline{0, 2}, q_0(x), q_1(x)$ – дважды непрерывно дифференцированные вещественнонзначные функции.

Основной целью данной работы является вычисление индексов дефекта дифференциального оператора, порожденного дифференциальным выражением (1).

Выпишем соответствующее характеристическое уравнение:

$$F(x, \mu, \sigma) = -2i\mu^5 - p_2(x)\mu^4 - 2iq_1(x)\mu^3 - p_1(x)\mu^2 + 2iq_0(x)\mu - i\sigma,$$

$$y_{k_0}(x, \sigma) = \left(\frac{\partial F(x, \mu_k, \sigma)}{\partial \mu} \right)^{-1/2} \exp \left\{ \int_{x_0}^x \mu_k(t, \sigma) dt \right\}.$$

Тогда справедлива

Теорема. Пусть

1. $|p_0(x)| \rightarrow \infty$ при $x \rightarrow \infty$;
2. при достаточно большом $R > 0$ и для $x \geq R$ функции $p_0'(x), p_1'(x), p_2'(x), q_0'(x), q_1'(x)$ не меняют знак и $|p_0'(x)| = O(|p_0'(x)|^{\alpha_0}), 0 < \alpha_0 < \frac{11}{10}, |p_1'(x)| = O(|p_1'(x)|^{\alpha_1}), 0 < \alpha_1 < \frac{7}{6}, |p_2'(x)| = O(|p_2'(x)|^{\alpha_2}), 0 < \alpha_2 < \frac{3}{2}, |q_0'(x)| = O(|q_0'(x)|^{\beta_0}), 0 < \beta_0 < \frac{9}{8}, |q_1'(x)| = O(|q_1'(x)|^{\beta_1}), 0 < \beta_1 < \frac{5}{4}$;
3. для всех $i, j = \overline{1, 5}$ и $x \geq R$ $0 < B < |\mu_i(x, \sigma)/\mu_j(x, \sigma)| \leq A$, где A, B – постоянные числа, $\mu_i(x, \sigma)$ – корни уравнения $F(x, \mu, \sigma) = 0$;
4. для всех $x \geq R$ и $i \neq k$ $Re(\mu_i(x, \sigma) - \mu_k(x, \sigma))$ не меняет знак.

Тогда уравнение (1) имеет 5 линейно независимых решений $y_1(x, \sigma), y_2(x, \sigma), y_3(x, \sigma), y_4(x, \sigma), y_5(x, \sigma)$ таких, что при $x \rightarrow \infty$ справедливы асимптотические формулы:

$$y_k^{[0]}(x, \sigma) = y_{k_0}(x, \sigma)(1 + o(1)),$$

$$y_k^{[1]}(x, \sigma) = \mu_k(x, \sigma)y_{k_0}(x, \sigma)(1 + o(1)),$$

$$y_k^{[2]}(x, \sigma) = \sqrt{2}\mu_k^2(x, \sigma)y_{k_0}(x, \sigma)(1 + o(1)),$$

$$y_k^{[3]}(x, \sigma) = \mu_k^3(x, \sigma)(2 - ip_2(x)\mu_k^{-1}(x, \sigma) + q_1(x)\mu_k^{-2}(x, \sigma))y_{k_0}(x, \sigma)(1 + o(1)),$$

$$y_k^{[4]}(x, \sigma) = \mu_k^4(x, \sigma) \left(2 - ip_2(x) \mu_k^{-1}(x, \sigma) + 2q_1(x) \mu_k^{-2}(x, \sigma) + 2q_1(x) - ip_1(x) \mu_k^{-3}(x, \sigma) + q_0(x) \mu_k^{-4}(x, \sigma) \right) y_{k_0}(x, \sigma) (1 + o(1)),$$

$$k = 1, 2, 3, 4, 5.$$

Асимптотические формулы, полученные в теореме, позволяют вычислить индексы дефекта соответствующего дифференциального оператора.

Обозначим через L_0 оператор, порожденный в $L^2[0, \infty)$ дифференциальным выражением (1). Положим $p_0(x) \rightarrow +\infty$ при $x \rightarrow \infty$. Пусть в характеристическом многочлене (2) $\mu = i\eta\tau$, где $\tau = (p_0 - i\sigma)^{\frac{1}{3}}$. Наложим на коэффициенты уравнения дополнительные условия:

$$\lim_{x \rightarrow \infty} \frac{q_0(x)}{(|p_0(x)|)^{1/5}} = a_1 = \text{const};$$

$$\lim_{x \rightarrow \infty} \frac{p_1(x)}{(|p_0(x)|)^{-3/5}} = b_1 = \text{const};$$

$$(3)$$

$$\lim_{x \rightarrow \infty} \frac{q_1(x)}{(|p_0(x)|)^{3/5}} = a_2 = \text{const};$$

$$\lim_{x \rightarrow \infty} \frac{p_2(x)}{(|p_0(x)|)^{-1/5}} = b_2 = \text{const}; \#$$

где a_1, b_1, a_2, b_2 – постоянные числа.

Пусть $\eta_k = u_k + iv_k$. Тогда предельное характеристическое уравнение (2) примет вид:

$$-2\eta^5 + a_1\eta^4 - 2b_1\eta^3 - a_2\eta^2 - b_2\eta + 1 = 0 \quad \#(4)$$

Пусть $a_1 = b_1 = a_2 = b_2 = 1$. Уравнение (4) имеет 1 вещественный корень, а остальные четыре – комплексно-сопряженные. Тогда, если

$$\int_{x_0}^{\infty} (p_0(x))^{-\frac{4}{5}} dx = \infty,$$

то индексы дефекта оператора равны (2,3). Индексы дефекта равны (3,3), если

$$\int_{x_0}^{\infty} (p_0(x))^{-\frac{4}{5}} dx < 0.$$

Пусть $a_1 = b_1 = a_2 = b_2 = -1$. Уравнение (4) имеет 3 вещественных корня, а остальные 2 комплексно-сопряженные. Тогда, если

$$\int_{x_0}^{\infty} (p_0(x))^{-\frac{4}{5}} dx = \infty,$$

то индексы дефекта оператора равны (3,2). Индексы дефекта равны (3,3), если

$$\int_{x_0}^{\infty} (p_0(x))^{-\frac{4}{5}} dx < 0.$$

Пусть $a_1 = b_1 = a_2 = b_2 = 0$. Уравнение (4) имеет 3 вещественных корня, а остальные 2 комплексно-сопряженные. Тогда, если

$$\int_{x_0}^{\infty} (p_0(x))^{-\frac{4}{5}} dx = \infty,$$

то индексы дефекта оператора равны (3,2). Индексы дефекта равны (3,3), когда последний интеграл сходится.

Исследование выполнено при поддержке Министерства просвещения Российской Федерации (соглашение №073-03-2025-039 от 16.01.2025).

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Мукимов В.Р., Султанаев Я.Т. Об индексах дефекта симметрического дифференциального оператора нечетного порядка //Дифференциальные уравнения. – 1995. – Т. 31. – №. 12. – С. 2083-2084.

REFERENCES

1. Mukimov V.R., Sultanaev Ya.T. On the defect indices of a symmetric differential operator of odd order // Differential Equations. – 1995. – Vol. 31. – No. 12. – pp. 2083-2084.

Информация об авторах

А.Н. Юсуповна – младший научный сотрудник;

Information about the authors

N.Y. Asylguzhina – junior research assistant;

Статья поступила в редакцию 21.11.2025; принята к публикации 10.12.2025.

The article was submitted 21.11.2025; accepted for publication 10.12.2025.

ХИМИЧЕСКИЕ НАУКИ

Научная статья

УДК 547.541.3

DOI 10.21510/3034-266X-2025-4-58-67

ИССЛЕДОВАНИЕ СОЛЕЙ РАЗЛИЧНЫХ МЕТАЛЛОВ, СИНТЕЗИРОВАННЫХ НА ОСНОВЕ ТЕХНИЧЕСКОЙ НЕФТЯНОЙ КИСЛОТЫ И ЕЕ ФРАКЦИИ, В КАЧЕСТВЕ АНТИСТАТИЧЕСКОЙ ДОБАВКИ К ДИЗЕЛЬНОМУ ДИСТИЛЛЯТУ

*Вагиф Магеррам оглу Аббасов¹, Эльгюн Камиль оглу Гасанов²,
Тамкин Тамраз оглу Тамразлы³*

*^{1,2,3}Институт нефтехимических процессов Министерства
науки и образования Азербайджана, Баку
elgin.hasanzade02@gmail.com*

Аннотация. На основе технической нефтяной кислоты (ТНК) и её фракции с интервалом кипения 200–280 °С были синтезированы различные соли металлов (Ni, Co, Zn, Mn и Fe). На основе полученных солей были приготовлены антистатические присадки для добавления к дизельному топливу с целью улучшения его электропроводности. Показано, что среди всех использованных соли Co и Mn ТНК оказывают более эффективное антистатическое действие, чем соли других металлов. Результаты проведенных нами исследований представлены в данной работе

Ключевые слова: техническая нефтяная кислота, дизельное топливо, присадка, масло.

Для цитирования: Аббасов В.М., Гасанов Э.К., Тамразлы Т.Т. Исследование солей различных металлов, синтезированных на основе технической нефтяной кислоты и ее фракции, в качестве антистатической добавки к дизельному дистиллату // Вестник Башкирского государственного педагогического университета им. М.Акмуллы. Серия: Естественные науки. 2025. № 4. С. 58-67.

CHEMICAL SCIENCES

Original article

STUDY OF SALTS OF VARIOUS METALS SYNTHESIZED BASED ON TECHNICAL PETROLEUM ACID AND ITS FRACTIONS AS AN ANTISTATIC ADDITIVE TO DIESEL DISTILLATE

Vagif Maharram Abbasov¹, Elgun Kamil Hasanov², Tamkin Tamraz Tamrazly³

^{1,2,3}Institute of Petrochemical Processes of the Ministry of Science and Education of Azerbaijan, Baku

elgun.hasanzade02@gmail.com

Abstract. Various metal salts (Ni, Co, Zn, Mn, and Fe) were synthesized using technical petroleum acid (TPA) and its fraction with a boiling range of 200–280°C. These salts were used to prepare antistatic additives for adding to diesel fuel to improve its electrical conductivity. It was shown that, of all the salts used, Co and Mn TPA salts exhibited a more effective antistatic effect than salts of other metals. The results of our studies are presented in this paper.

Keywords: technical petroleum acid, diesel fuel, additive, oil.

For citing: Abbasov V.M., Hasanov E.K., Tamrazly T.T. Study of salts of various metals synthesized based on technical petroleum acid and its fractions as an antistatic additive to diesel distillate // Bulletin of Bashkir State Pedagogical University named after M. Akmully. Series: Natural Sciences. 2025. № 4. pp. 58-67.

Введение

Статическая электризация нефти и нефтепродуктов не только повышает риск взрыва и пожара, но и препятствует интенсификации некоторых технологических процессов. В связи с этим разработаны и применяются различные методы и средства – от простейших мер до сложных активных устройств и комплексных решений. Наиболее простым и распространенным методом борьбы с электризацией жидких диэлектриков является заземление. Заземление применяется в основном для предотвращения внешних электрических разрядов [1-3]. При выборе присадки к топливу необходимо учитывать его углеводородный состав. Например, при низком содержании аренов в бензине усиливается действие металлоксодержащих присадок, используемых для снижения детонации.

Кроме того, при добавлении в топливо присадки против кристаллизации наличие в окружающей среде небольшого количества такой воды отрицательно влияет на его качество. Растворяясь в воде, присадка ослабляет ее действие. [4].

Для одновременного улучшения всех качественных показателей топлив присадки применяются не по отдельности, а в виде пакета (комплекса). Однако важным моментом является то, что различные присадки в одном пакете могут оказывать друг на друга антагонистическое действие, то есть одна может ослаблять действие другой или полностью устранять его. Поэтому для предотвращения

подобных ситуаций необходимо предварительно экспериментально изучать взаимодействие присадок.

Статическое электричество накапливается в результате электрокинетических процессов при транспортировке топлива, особенно при его скоростной заправке. Поскольку топлива являются плохо проводящими средами, образующиеся заряды трудно нейтрализовать, что представляет опасность.

При этом между поверхностью металла и слоем топлива образуется двойной электрический слой, и риск возгорания и взрыва возрастает вследствие накопления зарядов. Для решения этой проблемы необходимо искусственно повышать электропроводность топлива для снятия статического заряда. Для этого чаще всего используют металлсодержащие соединения (например, хромовую соль диалкилсалициловой кислоты).

Даже при добавлении небольшого количества этой присадки, например, всего 0,00006%, электропроводность увеличивается с 0,2–20 Псм/м до 100–200 Псм/м. Это значение уже считается пределом безопасности. Основное назначение антистатических присадок — снятие статического электричества с окружающей среды и минимизация взрывоопасности при транспортировке топлива.

В качестве антистатических присадок, используемых в промышленности, можно привести следующие: (Shell ASA-3, Sigbol, ACP-3 и др.) [7-9]. Антистатические присадки — это вещества, препятствующие накоплению статического электричества в топливе, что создаёт проблемы в процессе эксплуатации (загрязнение, образование отложений, износ и т. д.) [10, 11].

Постановка задачи

Статическое электричество в нефтехимической промышленности является актуальной проблемой с точки зрения как безопасности, так и стабильности технологических процессов. В исследованиях, проведенных в Институте нефтехимических процессов имени академика Ю.Г. Мамедалиева, были синтезированы антистатические присадки амидоэфирного типа для улучшения эксплуатационных свойств дизельного топлива, в частности его электропроводности.

Результаты проведенных исследований неоднократно сообщались в работах [12–16]. В представленной статье на основе технической нефтяной кислоты и фракции 200–280°C этой кислоты были синтезированы различные соли металлов и добавлены в дизельный дистиллят в качестве антистатической присадки в количестве 0,5, 0,1 и 0,15%, а также исследована электропроводность дизельных топлив.

В исследовании использовалось дизельное топливо (ДТ) стандарта Евро-3. Исследованы его физико-химические свойства, которые приведены ниже:

плотность при 20 °C – 8,54 кг/м³;

кинематическая вязкость при 20 °C составила –5,64 мм²/с.

Экспериментальная часть

Синтез солей металлов на основе технической нефтяной кислоты и её фракции осуществлялся следующим образом. В трёхгорлую колбу, которая снабжена мешалкой, нагревателем и термометром добавляют определенное количество ТНК, к которой в дальнейшем приливают 35-40% щелочной раствор NaOH и осуществляют реакцию нейтрализации. Полученную смесь нагревают при 40°C полчаса, а после этого добавляют соль соответствующего металла. Этот процесс проводят с продолжительностью трех часов. После завершения реакции продукт переносят в делительную воронку и отделяют водный раствор (нижний слой).

Результаты и их обсуждение

В ходе исследования было изучено влияние антистатических присадок на электропроводность дизельного дистиллята с использованием приборе ЭЛ-4М в контексте известных и существующих ГОСТ 25950-83 и ГОСТ 33461-2015. Полученные результаты представлены в таблицах 1 и 2.

Таблица 1.

Изменение электропроводности ДТ при использовании антистатических присадок на основе солей металлов общей фракции ТНК в количестве 0,05, 0,1 и 0,15%

Наименование образца	Концентрация растворителя, %	Электропроводность, Псм/м				
		Через 1 день	Через 10 дней	Через 20 дней	Через 30 дней	Через 40 дней
Образец-1	0,05	131	326	332	364	382
	0,1	681	794	975	980	1040
	0,15	775	870	1001	1087	1096
Образец-2	0,05	655	678	619	837	870
	0,1	1015	1182	1160	1240	1255
	0,15	1072	1195	1205	1295	1360
Образец-3	0,05	29	36	38	65	72
	0,1	154	249	361	425	502
	0,15	270	370	420	476	602
Образец-4	0,05	214	591	687	776	820
	0,1	1001	1033	1040	1070	1080
	0,15	1145	1102	1075	1087	1132

Образец-5	0,05 0,1 0,15	1190 1210 1345	1250 1220 1350	1330 1270 1360	1300 1277 1375	1260 1290 1382
Дизельный дистиллят	100	85	77	77	77	77

Примечание:

Образец-1 Ni соль ТНК

Образец-2 Со соль ТНК

Образец -3 Zn соль ТНК

Образец-4 Mn соль ТНК

Образец-5 Fe соль ТНК

Таблица 2.

Электропроводность ДТ при добавлении к дизельному дистилляту солей различных металлов, синтезированных на основе фракции 200-280°C ТНК, в количестве 0,05, 0,1 и 0,15%.

Наименование образца	Концентрация растворителя, %	Электропроводность, Псм/м				
		Через 1 день	Через 10 дней	Через 20 дней	Через 30 дней	Через 40 дней
Образец-1	0,05	242	360	395	420	425
	0,1	1022	1045	1070	1102	1114
	0,15	1065	1082	1115	1155	1170
Образец-2	0,05	670	720	830	900	901
	0,1	1180	1287	1300	1305	1340
	0,15	1495	1595	1605	1602	1615
Образец-3	0,05	145	152	155	155	155
	0,1	152	165	167	167	167
	0,15	270	370	420	476	602
Образец-4	0,05	915	920	965	990	1005
	0,1	1060	1105	1135	1145	1162
	0,15	1148	1152	1160	1187	1235
Образец-5	0,05	1390	1410	1405	1407	1407
	0,1	1410	1450	1420	1432	1432
	0,15	1500	1620	1660	1670	1675

Примечание:

Образец-6 Ni соль фракции ТНК с интервалом кипения 200-280°C

Образец-7 Со соль фракции ТНК с интервалом кипения 200-280°C

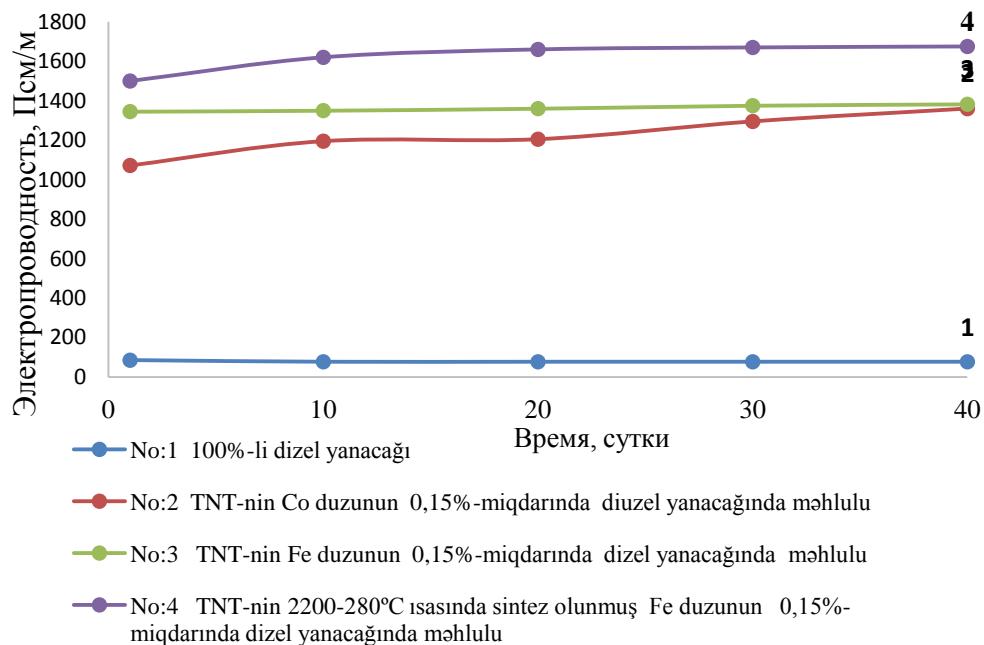
Образец-8 Zn соль фракции ТНК с интервалом кипения 200-280°C

Образец-9 Mn соль фракции ТНК с интервалом кипения 200-280⁰С

Образец-10 Fe соль фракции ТНК с интервалом кипения 200-280⁰С

Если обратиться к таблицам 1 и 2, то можно увидеть, что соли Со и Mn ТНК оказывают более эффективное действие, чем соли других металлов в качестве антистатических присадок..

Кроме того, видно, что при добавлении в дизельное топливо солей металлов, синтезированных на основе фракции ТНК с интервалом кипения 200-280⁰С, в качестве антистатических присадок электропроводность дизельного топлива дополнительно увеличилась. Так, при добавлении к дизельному топливу 0,15% соли Fe, синтезированной на основе фракции 200-280⁰С ТНК, его электропроводность (таблица 2, образец-10) через 1, 10, 20, 30 и 30 суток составила соответственно 1500, 1620, 1660, 1675 Псм/м.



Кривая 1 – 100 %-ное дизельное топливо

Кривая 2 – раствор 0,15 % Со соли ТНК в дизельном топливе

Кривая 3 – раствор 0,15 % Fe соли ТНК в дизельном топливе

Кривая 4 – раствор 0,15 % Fe соли фракции ТНК интервалом кипения 200-280⁰С в дизельном топливе

Как видно из рисунка, при добавлении в ДТ соли железа общей фракции ТНК в количестве 0,5 % электропроводность дизельного увеличивается с 77 Псм/м до 1675 Псм/м в течение 40 суток (образец № 4).

На основании проведённых исследований можно сказать, что в качестве антистатической присадки целесообразнее использовать соли металлов (Со и Fe), синтезированные на основе фракции 200-280°C ТНК.

Таким образом, результаты проведенных исследований лают нам основания утверждать о возможности применения солей металлов общей фракции ТНК в качестве антистатических присадок к ДТ на практике.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Путко А. Э., Кицис С. И. Физические основы явления электризации нефти в нефтепромысловых трубах // Материалы международной научно-технической конференции, посвященной 40-летию Тюменского нефтегазового университета : в 2 т. – Тюмень : ТюМГНГУ, 2003. – Т. 2. – С. 91-92.
2. Абдуллаева Н. Р., Исмаилов Т. А., Мамедова Т. А., Магеррамов Р. С., Велиев Х. Р., Аббасов В. М. Синтез и исследование антистатических присадок к дизельным топливам на основе нефтяных кислот // Процессы нефтехимии и нефтепереработки. – 2011. – Т. 12, № 3 (47). – С. 168-177.
3. Аббасов В. М., Нуриев Л. Г., Мамедханова С. А., Абдуллаева Н. Р. Влияние оксиэфиров синтетических нефтяных кислот на электропроводность углеводородных жидкостей // Мир нефтепродуктов. – 2013. – № 10. – С. 20-22.
4. Abbasov V. M., Vəliyev X. R., Kəsəmənli X. H. Neft turşularının imidazolinlərinin dizel yanacağına aşqar kimi tətbiqi // Gənc alımların əsərləri. – 2015. – № 11. – S. 17-24.
5. Спиркин В. Г. Химмотология топлив : учебное пособие / под ред. И. Г. Фукса. – Москва : Нефть и газ РГУ нефти и газа им. И. М. Губкина, 2002. – 181 с.
6. Аббасов В. М., Мамедова Т. А., Аскерова Э. Н., Алиева З. М., Намазов А. А., Ханбулаева З. С., Исаева Х. А. Получение метиловых эфиров хлопкового, подсолнечного растительных масел и использование их в качестве ресурсосберегающей добавки к дизельным топливам // Химические реактивы, реагенты, процессы малотоннажной химии : тезисы докладов XXIX Научно-технической конференции, Новосибирск, 28 сентября – 1 октября 2015 г. – Новосибирск, 2015. – С. 56.
7. Abbasov V. M., Kərimov V. A., Həsənov E. K. Dizel yanacağıının elektrik keçiriciliyini artırın texniki neft turşularının Cr, Pb, Cu və Co duzlarının sintezi // Akad. B. Q. Zeynalovun 100 illik yubileyinə həsr olunmuş “Neft-kimya sintezi və mürəkkəb kondensləşmiş sistemlərdə kataliz” mövzusunda Beynəlxalq elmi-texniki konfransın məruzələrinin tezisləri, Bakı, 29-30 iyun 2017. – Bakı, 2017. – S. 48.

8. Емельянов В. Е. Антидетонационные свойства ферроцена в бензинах различного компонентного состава // Нефтепереработка и нефтехимия. – 2001. – № 12. – С. 8-12.
9. Abbasov V. M., Rzayeva N. Ş., Talibov A. H., Əhmədova S. Z., Suleymanova S. A., Babanlı N. N., Məhizadə A. A. Bitki mənşəli turşular əsasında aminospirtlərin sintezi və dizel yanacaqlarına aşqar kimi tətbiqi // Prof. S. Ə. Sultanovun 90 illik yubileyinə həsr olunmuş “Yanacaqlar, yanacaq komponentləri, xüsusi təyinatlı mayelər, yağlar və aşqarlar” adlı Respublika elmi-texniki konfransın materialları, Bakı, 3 oktyabr 2017. – Bakı, 2017. – S. 34.
10. Abbasov V. M., Məmmədova T. A., Kəsəmənli X. H. Bitki yağları turşularının aminoetilimidazolinlərinin dizel yanacaqlarının antistatik xassəsini artırın aşqar kimi tətbiqi // Материалы IX Бакинской Международной Мамедалиевской конференции по нефтехимии, Баку, 4-5 октября 2016 г. – Баку, 2016. – S. 215.
11. Абдуллаева Н. Р., Аббасов В. М., Исмаилов Т. А. Синтез оксиэфиров, полученных взаимодействием природных нефтяных кислот с оксидом пропилена и исследование их антистатических свойств в композиции с дизельным топливом // Химические проблемы. – 2009. – № 3. – С. 551-553.
12. Патент Азербайджанской Республики № I 2013 0056, 2013. Məmmədyarov M. A., Əliyeva F. X. Heksenilkəhrəba turşusunun monodietilamidinin efirlərinin sintezi və korroziya inhibitoru kimi tədqiqi.
13. Abbasov V. M., Əliyeva F. X., Məmmədova G. F., Ağamaliyeva D. B., Cabbarlı S. F., Hüseynov L. N. Monoамиды малоновой кислоты как эффективные бактерицид-ингибиторы // Практика противокоррозионной защиты. – 2023. – Т. 28, № 2. – С. 22-27.
14. Abbasov V. M., Məmmədova T. A., Kəsəmənli X. N., Vəliyev X. R. Yağ turşularının imidazolinlərinin sintezi və dizel yanacağına aşqar kimi tətbiqi // Azərbaycan kimya jurnalı. – 2014. – № 2. – S. 21-25.
15. Abbasov V. M., Vəliyev X. R., Kəsəmənli X. H. Neft turşularının imidazolinlərinin dizel yanacağına aşqar kimi tətbiqi // Gənc alımların əsərləri. – 2015. – № 11. – S. 17-24.
16. Məmmədova T. A., Əskərova E. N., Kəsəmənli X. N., Abbasov V. M. Bitki yağları turşularının alkil efirləri dizel yanacaqları üçün çoxfunksiyalı əlavələr kimi // AMEA Gəncə regional elmi mərkəzinin xəbərləri. – 2019. – № 1 (78). – S. 52-57.

REFERENCES

1. Putko A. Je., Kitsis S. I. Fizicheskie osnovy javlenija jelektrifikacii nefti v neftepromyslovyh trubah // Materialy mezdunarodnoj nauchno-tehnicheskoy konferencii, posvjashchennoj 40-letiju Tjumenskogo

neftegazovogo universiteta : v 2 t. – Tjumen': TjumGNGU, 2003. – T. 2. – S. 91-92.

2. Abdullaeva N. R., Ismailov T. A., Mamedova T. A., Magerramov R. S., Veliev H. R., Abbasov V. M. Sintez i issledovanie antistaticheskih prisadok k dizel'nym toplivam na osnove neftjanyh kislot // Processy neftehimii i neftepererabotki. – 2011. – T. 12, № 3 (47). – S. 168-177.

3. Abbasov V. M., Nuriev L. G., Mamedhanova S. A., Abdullaeva N. R. Vlijanie oksijefirov sinteticheskikh neftjanyh kislot na jelektroprovodnost' uglevodorodnyh zhidkostej // Mir nefteproduktov. – 2013. – № 10. – S. 20-22.

4. Abbasov V. M., Veliyev H. R., Kəsəmənli H. H. Neft turşularının imidazolinlərinin dizel yanacağına aşqar kimi tətbiqi // Gənc alimlərin əsərləri. – 2015. – № 11. – S. 17-24.

5. Spirkin V. G. Himmotologija topliv : uchebnoe posobie / pod red. I. G. Fuksa. – Moskva : Neft' i gaz RGU nefti i gaza im. I. M. Gubkina, 2002. – 181 s.

6. Abbasov V. M., Mamedova T. A., Askerova Je. N., Alieva Z. M., Namazov A. A., Hanbutaeva Z. S., Isaeva H. A. Poluchenie metilovyh jefirov hlopkovogo, podsolnechnogo rastitel'nyh masel i ispol'zovanie ih v kachestve resursosberegajushhej dobavki k dizel'nym toplivam // Himicheskie reagenty, reagenty, processy malotonnazhnoj himii : tezisy dokladov XXIX Nauchno-tehnicheskoy konferencii, Novosibirsk, 28 sentyabrja – 1 oktyabrja 2015 g. – Novosibirsk, 2015. – S. 56.

7. Abbasov V. M., Kərimov V. A., Həsənov Je. K. Dizel yanacağının elektrik keçiriciliyini artırıran texniki neft turşularının Cr, Pb, Cu və Co duzlarının sintezi // Akad. B. Q. Zeynalovun 100 illik yubileyinə həsr olunmuş “Neft-kimya sintezi və mürəkkəb kondensləşmiş sistemlərdə kataliz” mövzusunda Beynəlxalq elmi-texniki konfransın məruzələrinin tezisləri, Bakı, 29-30 iyun 2017. – Bakı, 2017. – S. 48.

8. Emel'janov V. E. Antidetonacionnye svojstva ferrocena v benzinah razlichnogo komponentnogo sostava // Neftepererabotka i neftehimija. – 2001. – № 12. – S. 8-12.

9. Abbasov V. M., Rzajeva N. Ş., Talibov A. H., Əhmədova S. Z., Sulejmanova S. A., Babanlı N. N., Məhizadə A. A. Bitki mənşəli turşular əsasında aminospirtlərin sintezi və dizel yanacaqlarına aşqar kimi tətbiqi // Prof. S. Ə. Sultanovun 90 illik yubileyinə həsr olunmuş “Yanacaqlar, yanacaq komponentləri, xüsusi təyinatlı mayelər, yağlar və aşqarlar” adlı Respublika elmi-texniki konfransın materialları, Bakı, 3 oktyabr 2017. – Bakı, 2017. – S. 34.

10. Abbasov V. M., Məmmədova T. A., Kəsəmənli H. H. Bitki yağları turşularının aminoetilimidazolinlərinin dizel yanacaqlarının antistatik xassəsini artırıran aşqar kimi tətbiqi // Materialy IX Bakinskoy

Mezhdunarodnoj Mamedalievskoj konferencii po neftehimii, Baku, 4-5 oktjabrja 2016 g. – Baku, 2016. – S. 215.

11. Abdullaeva N. R., Abbasov V. M., Ismailov T. A. Sintez oksijefirov, poluchennyh vzaimodejstviem prirodnyh neftjanyh kislot s oksidom propilena i issledovanie ih antistaticheskikh svojstv v kompozicii s dizel'nym toplivom // Himicheskie problemy. – 2009. – № 3. – S. 551-553.
12. Patent Azerbajdzhanskoj Respublikи № I 2013 0056, 2013. Məmmədyarov M. A., Əlijeva F. H. Heksenilkəhrəba turşusunun monodietilamidinin jefirlərinin sintezi və korrozija inhibitoru kimi tədqiqi.
13. Abbasov V. M., Əlijeva F. H., Məmmədova G. F., Ağamalijeva D. B., Cabbarlı S. F., Hüsejnov L. N. Monoamidy malonovoj kisloty kak jeffektivnye baktericid-ingibitory // Praktika protivokorrozionnoj zashhity. – 2023. – T. 28, № 2. – S. 22-27.
14. Abbasov V. M., Məmmədova T. A., Kəsəmənli H. N., Vəliyev H. R. Jağ turşularının imidazolinlərinin sintezi və dizel yanacağına aşqar kimi tətbiqi // Azerbajdzhan himija zhurnali. – 2014. – № 2. – S. 21-25.
15. Abbasov V. M., Vəliyev H. R., Kəsəmənli H. H. Neft turşularının imidazolinlərinin dizel yanacağına aşqar kimi tətbiqi // Gənc alimlərin əsərləri. – 2015. – № 11. – S. 17-24.
16. Məmmədova T. A., Əskərova Je. N., Kəsəmənli H. N., Abbasov V. M. Bitki yağları turşularının alkil jefirləri dizel yanacaqları üçün chohfunksijalı əlavələr kimi // AMEA Gəncə regional elmi mərkəzinin khəbərləri. – 2019. – № 1 (78). – S. 52-57.

Информация об авторах

В.М. Аббасов – академик, директор ИНХП МНО Азербайджана;
Э.К. Гасанов – доктор технических наук, главный инженер ИНХП МНО Азербайджана;
Т.Т. Тамразлы – докторант ИНХП МНО Азербайджана.

Information about the authors

V.M. Abbasov – academician, director of IPCP MES of Azerbaijan;
E.K. Hasanov – doctor of technical sciences, main technologist of IPCP MES of Azerbaijan;
T.T. Tamrazly – doctoral student, researcher of IPCP MES of Azerbaijan.

Статья поступила в редакцию 16.11.2025; принята к публикации 08.12.2025.

The article was submitted 16.11.2025; accepted for publication 08.12.2025.

ХИМИЧЕСКИЕ НАУКИ

Научная статья

УДК 547.541.3

DOI 10.21510/3034-266X-2025-4-68-91

ФЕНОЛСОДЕРЖАЩИЕ РЕГУЛЯТОРЫ РОСТА РАСТЕНИЙ И ИХ ПРИМЕНЕНИЕ В СЕЛЬСКОМ ХОЗЯЙСТВЕ

**Ульвия Ровшан гызы Гурбанова¹, Чингиз Князь оглу Расулов²,
Фатима Иса гызы Гасымова³, Гюнай Заман гызы Гейдарли⁴,
Парвана Вагиф гызы Сулейманова⁵**

^{1,2,3,4}Институт нефтехимических процессов Министерства
науки и образования Азербайджана, Баку, Азербайджан

⁵Сумгайтский Государственный Университет, г. Сумгайт,
Азербайджан

gulwen.hesenova@inbox.ru

Аннотация. Фенольные соединения производятся растениями главным образом для обеспечения их роста, развития и защиты. Эти ароматические соединения с бензольным кольцом играют важнейшую роль в биотических и абиотических стрессовых взаимодействиях растений. Они составляют существенную часть вторичных метаболитов растений и играют важную роль в различных физиологических и механических процессах. Эти разнообразные растительные фенольные соединения действуют как аттрактанты, так и репелленты по отношению к различным организмам окружающей среды. Они могут действовать как аттрактанты для полезных организмов, так и как токсины против вторгающихся вредителей и патогенов.

Ключевые слова: фиторегуляторы, фенольные соединения, регуляторы роста растений, стимуляторы роста и развития растений.

Для цитирования: Гурбанова У.Р., Расулов Ч.К., Гасымова Ф.И., Гейдарли Г.З., Сулейманова П.В. Фенолсодержащие регуляторы роста растений и их применение в сельском хозяйстве // Вестник Башкирского государственного педагогического университета им. М.Акмуллы. Серия: Естественные науки. 2025. № 4. С. 68-91.

CHEMICAL SCIENCES

Original article

PHENOL-CONTAINING PLANT GROWTH REGULATORS AND THEIR APPLICATION IN AGRICULTURE

Ulviyya R. Qurbanova¹, Rasulov Ch. Qnyaz², Fatima I. Gasymova³, Gunay Z. Heydarli⁴, Parvana V. Suleymanova⁵

^{1,2,3,4,5}Institute of Petrochemical Processes of the Ministry of Science and Education of Azerbaijan, Baku

gulwen.hesenova@inbox.ru

Abstract. Phenolic compounds are produced by plants primarily to support their growth, development, and defense. These aromatic compounds with a benzene ring play a critical role in biotic and abiotic stress interactions in plants. They constitute a significant portion of plant secondary metabolites and play a significant role in various physiological and mechanical processes. These diverse plant phenolic compounds act as both attractants and repellents for various organisms in the environment. They can act both as attractants for beneficial organisms and as toxins against invading pests and pathogens.

Keywords: phytoregulators, phenolic compounds, plant growth regulators, plant growth and development stimulants

For citing: Qurbanova U.R., Rasulov Ch.Q., Qasymova F.I., Heydarli G.Z., Suleymanova P.V. Phenol containing plant growth regulators and their application in agriculture // Bulletin of Bashkir State Pedagogical University named after M. Akmully. Series: Natural Sciences. 2025. №4. pp. 68-91.

По влиянию на ростовые процессы растительные фенолы можно разделить на три группы: промоторные, ингибирующие и неактивные. Стимуляция роста растений фенолами может осуществляться либо через модуляцию биосинтеза ИУК, либо через её деструкцию. Ингибиование роста растений фенолами может осуществляться одним из следующих способов [1,2]:

1. Подавление биосинтеза ИУК и/или активация деградации ИУК
2. Снижение ростстимулирующей активности ИУК, гиббереллинов или цитокининов
3. Разобщение дыхания и окислительного фосфорилирования
4. Взаимодействие хинонных форм фенолов с белками и, следовательно, ингибиование метаболических путей.

Фенольные вещества не обладают антигормональной специфичностью, а, скорее, изменяют активность любого из известных фитогормонов.

Фенольные соединения производятся растениями главным образом для обеспечения их роста, развития и защиты [3]. Эти ароматические соединения с бензольным кольцом играют важнейшую роль в биотических и абиотических стрессовых взаимодействиях растений. Они составляют существенную часть вторичных метаболитов растений и играют важную роль в различных физиологических и механических процессах. Эти разнообразные растительные фенольные соединения действуют как аттрактанты, так и репелленты по отношению к различным организмам окружающей среды. Они могут действовать как аттрактанты для полезных организмов, так и как токсины против вторгающихся вредителей и патогенов. Содержание этих метаболитов часто увеличивается в условиях стресса и служит первой линией защиты растений от болезней. Известно также, что они влияют на другие метаболические пути растений, а именно на биосинтез фитоалексина и образование активных форм кислорода. Эти фенольные соединения участвуют как в надземных, так и в подземных защитных системах растений. Они вырабатываются в виде корневых выделений и влияют на разнообразие почвы и соседних растений.

Целью исследования [4] было определить влияние антиоксидантных обработок, регуляторов роста растений (PGR) и ранения эксплантов в культуре тканей с участием *Strelitzia reginae* на общую фенольную экссудацию. Результаты показали, что различные концентрации 1-нафтилуксусной кислоты (НУК) и 6-бензиламинопурина (БАП) значительно влияли на фенольную экссудацию. Среда, содержащая самую высокую концентрацию регуляторов роста растений (то есть 0,5 мг/Л НУК и 6 мг/Л БАП), привела к самому высокому содержанию фенола. Тогда как контроль (обработка без регуляторов роста растений) содержал самое низкое содержание фенола. Было обнаружено, что активированный уголь (АУ) значительно снижал общее содержание фенола в среде на 53% по сравнению с аскорбиновой кислотой (АК). Кроме того, ранения эксплантов значительно увеличивали фенольную экссудацию. Взаимодействие более высоких концентраций 1-нафтилуксусной кислоты и 6-бензиламинопурина с аскорбиновой кислотой значительно увеличивало общее содержание фенолов в среде. Аналогичный результат был получен при взаимодействии более высоких концентраций регуляторов роста растений с повреждённостью эксплантов. Взаимодействие антиоксидантов, обработки ран и концентраций регуляторов роста растений привело к значительному снижению общего содержания фенолов при всех концентрациях

регуляторов роста растений как в повреждённых, так и в неповреждённых эксплантатах.

Фенольные соединения (ФС) являются ключевыми вторичными метаболитами в садовых растениях, которые структурно подразделяются на флавоноиды, простые фенолы, стильбены и танины [5]. Метаболизм ФС, синтезируемых через шикиматный и фенилпропаноидный пути, регулируется факторами транскрипции (например, MYB и bZIP) и зависит от генетического фона и экологических стрессов (например, температуры и УФ-излучения), что приводит к видо- или тканеспецифичным паттернам распределения. Передовые методы экстракции/разделения (например, с использованием ультразвука и ВЭЖХ) позволили систематически характеризовать ФС. Функционально ФС повышают устойчивость растений к стрессу (абиотическому/биотическому) за счет антиоксидантной активности, укрепления клеточной стенки и защитной сигнализации. Их двойная роль как поглотителей активных форм кислорода и сигнальных молекул является неотъемлемой. В этом обзоре обобщены классификация, метаболическая регуляция и биологические функции ФС, что обеспечивает научную основу для повышения содержания ФС в садовых растениях с целью повышения устойчивости к стрессам, качества после сбора урожая и хранения, а также питательной ценности для устойчивого сельского хозяйства.

Влияние регуляторов роста растений (PGR), таких как гибберелловая кислота (GA3), индол-3-уксусная кислота (IAA), кинетин, прогексадион-кальций (Prohex-Ca) и Topflor на растения чечевицы было исследовано с использованием физиологических и биохимических методов [6]. GA3 увеличил рост растений чечевицы на 43%, в то время как ретарданты роста (Prohex-Ca и Topflor) ингибировали его на 34%, как и ожидалось. Вес 1000 семян чечевицы снизился на 26% на участках, где был добавлен GA3. В отличие от этого, Prohex-Ca и Topflor увеличили вес 1000 семян чечевицы на 16% и 30% соответственно. В семенах общее содержание фенолов (TPC) значительно коррелировало ($r^2 = 0,99$) с их общей антиоксидантной емкостью (TAC). ВЭЖХ-МС-детектирование показало, что специфические фенольные соединения (катехин, эпикатехин, рутин, п-кумаровая кислота, кверцетин, кемпферол, галловая кислота и ресвератрол) оказывают наибольшее влияние на значения общей углеводной массы (TAC). Катехин является наиболее распространенным фенольным соединением в семенах чечевицы (до 74 мкг/г сырой массы). Кинетин значительно увеличивал содержание рутина, эпикатехина и галловой кислоты в семенах чечевицы по сравнению с контрольным образцом (93%, 79% и 49% соответственно). Различия в содержании фенольных соединений при различных обработках ингибиторами роста (PGR) могут быть использованы в

качестве ориентира для отбора специфических PGR с целью получения семян чечевицы с высоким содержанием фенольных соединений и высокими антиоксидантными свойствами в качестве пищевых ингредиентов.

Фенольные соединения (ФС) известны как химически разнообразная категория вторичных и реактивных метаболитов, которые образуются в растениях посредством шикимат-фенилпропаноидных путей [7]. Эти соединения, повсеместно встречающиеся в растениях, являются неотъемлемой частью рациона человека и представляют значительный интерес благодаря своим антиоксидантным свойствам. Фенольные соединения необходимы для функционирования растений, поскольку они участвуют в реакциях на окислительный стресс, защитных системах, росте и развитии. Многочисленные исследования на клетках и животных, проведенные в последние десятилетия, подтвердили противораковую роль ФС. Фитогормоны, особенно ауксины и цитокинины, играют ключевую роль в неконтролируемом росте и образовании опухолей. Фенольные соединения могут предотвращать рост растений посредством эндогенной регуляции транспорта ауксина и активности ферментов, что приводит к предотвращению опухолеобразования. Таким образом, полифенолы могут снижать скорость чрезмерного роста растений и развитие опухолей в растительных клетках, регулируя уровень фитогормонов. Необходимы дальнейшие механистические исследования для выявления внутриклеточных транскрипционных и трансдукционных агентов, связанных с профилактической ролью фенолов в каскадах патологических опухолей растений.

Пять фенольных соединений, метиловый эфир 4-гидроксибензойной кислоты (1), метиловый эфир ванилиновой кислоты (2), 4-гидроксибензальдегид (3), 4-гидроксибензойная кислота (4) и феруловая кислота (5), а также четыре флавоноида, 5,5-дигидрокси-4,6,7-триметоксифлаванон (6), лютеолин (7), витексикарпин (8) и артеметин (9), были выделены из плодов и листьев *Vitex rotundifolia L.* Биологическая активность этих девяти соединений была исследована с помощью биопробы на рассаде салата [8].

Фенольные соединения – это класс химических соединений в органической химии, которые состоят из гидроксильной группы, непосредственно связанной с ароматической углеводородной группой [9]. Фенольные соединения присутствуют в клеточных стенках и играют важную роль в регуляции роста растений в качестве внутренних физиологических регуляторов или химических посредников. Они используются в плодоводстве. Они связаны с защитной системой от патогенов и стресса. Они повышают эффективность культивирования тканей; могут быть полезны для идентификации сортов плодовых культур, определения совместимости

прививок и определения жизнеспособности деревьев. Они также важны, поскольку влияют на сенсорные качества плодов в процессе технологической обработки. В данном обзоре дана простая классификация этих соединений и описано их применение в сельском хозяйстве.

Различные регуляторы роста применялись к некоторым видам лекарственных растений для повышения продукции вторичных метаболитов [10]. Целью настоящего исследования является анализ влияния применения регуляторов роста в различных концентрациях на производство сухой массы мелиссы лекарственной, содержание общего фенола и растворимого белка, а также содержание и химический состав эфирного масла. Исследование проводилось по полностью рандомизированному плану с факторным распределением $3 \times 3 + 1$ и включало три регулятора роста [нафтилуксусную кислоту (НАК), бензиламинопурин (БАП) и гибберелловую кислоту (ГК)] в трех различных концентрациях (25, 50 и 100 мг/л), а также дополнительную обработку (контроль) с 4 повторениями. Регуляторы роста, применяемые в различных концентрациях, оказали значительное влияние на рост мелиссы лекарственной. Применение регуляторов GA3 и НУК в концентрации 100 мг/л способствовало увеличению длины побегов и общей площади листьев исследуемых видов. Применение БАП на листьях в максимальной концентрации привело к потере апикального доминирования; однако, минимальная его концентрация способствовала повышению концентрации растворимого белка в листьях. Применение БАП в концентрации 25 мг/л способствовало повышению концентрации белка в листьях. Наибольшее содержание общего фенола наблюдалось у растений, опрысканных возрастающими дозами GA3 и БАП; оно не отличалось только от контрольной обработки. Содержание эфирных масел варьировалось в зависимости от типа и концентрации выбранного регулятора роста. Применение GA3 в минимальной дозе (25 мг/л) привело к увеличению содержания цитрала на 18% и приросту содержания цитронеллаля от 8% до 10%.

В исследовании [11] оценивалось накопление биомассы и продукция фенольных соединений у семи видов зверобоя (*H. androsaetum*, *H. calycinum*, *H. hirsutum*, *H. kalmianum*, *H. olympicum*, *H. perforatum* и *H. triquetrifolium*), культивируемых *in vitro* с различными обработками регуляторами роста и в течение разных периодов культивирования [12]. Побеги выращивали на среде Мурасиге и Скуга (МС) с добавлением бензиладенина (БА) или метатополина (МТ) и анализировали через 40 и 60 дней. Среда МС с добавлением 0,2 мг/л БА оказалась наиболее эффективным условием для стимуляции биомассы у всех видов, при этом сырая масса побегов значительно увеличилась через 60 дней, особенно у *H. olympicum*, *H. perforatum* и *H.*

triquetrum. Методом высокоэффективной жидкостной хроматографии в сочетании с диодной матрицей и масс-спектрометрией с электрораспылительной ионизацией (ВЭЖХ-ДДМ-ЭСИ-МС) идентифицировано 13 фенольных соединений, включая флавонолы, гидроксикоричные кислоты, антоцианы, флороглоцины и нафтодиантроны. Фенольные профиля были видоспецифичны и зависели от периода культивирования. *H. kalmianum* накопил наибольшее общее содержание фенольных соединений (37,6 мг/г сухой массы), в то время как *H. olympicum* был основным продуцентом гиперицина и псевдогиперицина. Эти результаты подчеркивают решающую роль условий культивирования в регуляции как биомассы, так и продукции фитохимических соединений и открывают перспективный подход к получению биоактивных метаболитов у видов зверобоя в системах *in vitro*.

В патенте [12] предложен регулятор роста растений, который состоит из нитрофенольной калиевой соли (0,01–4%), гиббереллина (0,1–1,5%), эмульгатора (0,1–5%) и добавки (0,1–5%), отличной от воды. Предложенный регулятор отличается высокой эффективностью, низкой токсичностью и мощным системным действием; может стимулировать рост растений и применяется для китайской капусты, арбузов, бананов, дынь и других овощей и фруктов.

Inula britannica L. имеет большое значение в традиционной китайской и кампо-медицинской практике [13]. Были созданы культуры побегов болгарских образцов растения и проведен эксперимент по выяснению комбинированного влияния витамина, ауксина и цитокинина на формирование их биомассы, физиологическое состояние и продуктивность вторичных метаболитов. В то время как витамины Гамборга стимулировали высоту растений, формула Мурасиге и Скуга увеличивала площадь листьев и длину корней. Добавление бензиладенина сильно стимулировало образование пазушных розеток, однако оно подавляло длину надземной части и корней и вызывало каллусогенез у основания экспланта, этот эффект несколько смягчался добавлением 1-нафтилуксусной кислоты. Витамины Мурасиге и Скуга стимулировали фенольные кислоты в контрольной обработке и обработке бензиладенином, в то время как Гамборг — в комбинированной обработке бензиладенином и 1-нафтилуксусной кислотой. Способность производить британин через гайлардин стимулировалась витаминами Гамборга в растениях, не содержащих регуляторы роста растений, но добавление ауксина и цитокинина обратило этот эффект. Обработки регуляторами роста растений в целом снижали перекисное окисление липидов по сравнению с контрольными образцами при добавлении обоих витаминов. Повышение уровня перекиси водорода было связано с сохранением более низких уровней малондиальдегида, что указывало

на роль перекиси водорода как медиатора для смягчения долгосрочного перекисного окисления липидов *in vitro*. Во всех образцах соотношение хлорофилла a/b оставалось на сопоставимых уровнях, что указывает на физиологическую гибкость растения независимо от различных манипуляций с тканями растения. Результаты свидетельствуют о связи между ростом, развитием и продуктивностью вторичных метаболитов в культурах побегов *I. britannica L.*. Вид продемонстрировал потенциал для таргетирования желаемых фитофармацевтических препаратов путем модификации роста и развития *in vitro*.

Целью исследования [14] была оценка влияния регуляторов роста растений (PGR) на минеральный состав листьев и фенольные соединения розовой герани при стимулированном градобитии. Этот эксперимент был проведен по схеме 3×4 факторной обработки, построенной по рандомизированному полному блочному плану. Взаимодействие между смоделированным градобитием и PGR значительно повлияло на содержание C, N, P и Ca, а также на соотношение C:N. Для повышения интерпретируемости данных о минеральном составе листьев был проведен главный компонентный анализ. На ПК1 и ПК2 приходилось 73,01% общей дисперсии, что подтверждает, что поврежденные градом растения розовой герани накапливают N, P, K, Mg, Ca, Mn и Na при обработке высокими концентрациями ингибиторов роста растений (гипберелловой кислоты – 2,55 мг/кг, брассиностероидов – 1,02 мг/кг и цитокининов – 0,05 мг/кг, а также гипберелловой кислоты – 3,83 мг/кг, брассиностероидов – 1,53 мг/кг и цитокининов – 0,075 мг/кг). Лимонная кислота, кумароилтиозин, 5-гептадецилрезорцин и кемпферол-О-гексозид-О-дезоксигексоза были среди фенольных соединений, пострадавших от имитированного града. На ПК1 и ПК2 приходится наибольшая изменчивость (41,30%) фенольных соединений, что подтверждает, что растения, сильно поврежденные градом (100%), накапливают большую часть фенолов. Стратегии восстановления после града с использованием ингибиторов роста растений могут быть альтернативной стратегией для улучшения минерального состояния листьев, помогая растениям восстановить потерянный травостой.

Фенольные соединения представляют собой большое количество вторичных метаболитов, обладающих полезными и желательными эффектами в области сельского хозяйства, медицины и пищевой промышленности [15]. Целью данного исследования была разработка методов размножения виноградной лозы *in vitro* с целью применения биотехнологий для коррекции, роста и оптимизации продуктов и соединений возделываемого растения в зависимости от соотношения фенолов. В данном интервенционном исследовании оценивалось влияние сорта и размера экспланта соцветия, а также

гормона гиббереллина (в двух вариантах), бензиламинопурина и ауксина (в трёх вариантах с тремя повторностями на обработку) в зависимости от соотношения фенолов с целью оценки влияния регуляторов роста растений, типа и размера экспланта соцветия винограда на продукцию фенолов. Тип регуляторов роста растений влиял на продукцию фенольных веществ. Образование фенольных веществ снижалось на среде с максимальной концентрацией регуляторов роста: бензиламинопурина (4 и 2,5 мкМ) и ауксина (4,9 мкМ). Образование фенольных веществ увеличивалось на среде без фитогормонов. В образцах меньшего размера тенденция к побурению была сильнее связана с высоким содержанием сахара. Образец растения и сорт, как важные факторы, влияющие на образование фенолов, индуцируются такими факторами окружающей среды, как сахар, свет, температура, стресс, озон и ранение, и могут быть использованы для увеличения образования фенолов.

Вторичные метаболиты, в частности фенольные соединения, необходимы для здоровья человека и профилактики заболеваний. Фенольные кислоты представляют собой большую группу вторичных метаболитов, содержащихся в растениях, которые могут использоваться в качестве пищевых добавок, нутрицевтиков и лекарственных средств. Получение фенольных соединений из клеток растений *in vitro* является перспективным направлением для производства высококачественных продуктов растительного происхождения [16]. Культуры растений *in vitro* могут быть использованы в качестве альтернативного источника ценных соединений. Поэтому предлагаемая исследовательская работа сосредоточена на изучении физиолого-биохимических процессов, влияющих на интенсивность роста культур растений *in vitro*, на экспрессию и синтез фенольных соединений и, следовательно, на разработке технологий извлечения метаболитов и компонентов функционального питания. Основной целью данного исследования было создание культур растений *in vitro*, богатых фенольными соединениями, и разработка стратегий для повышения продукции и накопления метаболитов. *Lycium schweinfurthii* (*Solanaceae*) и *Orthosiphon aristatus* (*Lamiaceae*) были выбраны в связи с высоким содержанием фенольных соединений, в первую очередь фенольных кислот, и флавоноидов, а также лупеола – растительного тритерпеноида. Были проведены исследования физиологического состояния культур *in vitro*, динамики их роста и синтеза фенольных соединений, в частности флавоноидов и фенольных кислот. Важной задачей этих исследований было не только создание мелкомасштабной технологии *in vitro*, но и крупномасштабное производство, что могло бы обеспечить дальнейшую возможность применения этой технологии в промышленном масштабе. Были изучены факторы, влияющие на

синтез фенольных соединений в культурах *in vitro*, такие как регуляторы роста, состав среды культивирования и элиситоры. Для улучшения роста культур *in vitro* были применены регуляторы роста растений. Для контроля эффективности микроразмножения растений *L. schweinfurthii* *in vitro* были подобраны оптимальные концентрации цитокининов, в частности бензиладенина и кинетина. На среде MS (Мурасиге и Скуга) половинной концентрации, обогащенной регулятором роста индолил-3-масляной кислотой, развитие корней побегов *L. schweinfurthii* может быть значительно усилено. Сравнение влияния различных комбинаций и концентраций 1-нафтилуксусной кислоты и 2,4-дихлорфеноксиуксусной кислоты на индукцию каллусных культур из листьев *L. schweinfurthii* показало, что процесс индукции каллуса ингибируется в присутствии небольших количеств цитокинина. Применение 2 мг/л 1-нафтилуксусной кислоты способствовало оптимальной инициализации каллуса *L. schweinfurthii*, а также росту суспензионных культур клеток и оказалось положительное влияние на синтез фенолов, в частности, флавоноидов, в 2 раза сильнее, чем другие обработки.

Биотехнология растений является привлекательным средством для улучшения хлопка, ее использование требует эффективной системы регенерации из соматических тканей хлопчатника [17]. Хлопок является важной экономической и волокнистой культурой, выращиваемой в 70 странах мира. Соматический эмбриогенез и регенерация растений имеют основополагающее значение для генетического улучшения хлопчатника с использованием биотехнологии и генетической трансформации. Побурение и последующая гибель культивируемых эксплантов являются основными проблемами для многих систем культивирования тканей. В этом исследовании были протестированы различные экспланты и различные концентрации PGR, чтобы минимизировать выделение фенольных соединений и их ингибирующее действие в системе культивирования тканей хлопчатника. Семядоли и меристематические кончики побегов имели минимальное выделение фенольных соединений, также в среде с 27,12 мкМ 2,4-Д и 8,87 мкМ БА фенольное соединение было наименьшим. Меристематические кончики побегов в среде с 0,492 мкМ ИБА и 0,929 мкМ КИН регенерировали целые растения без выделения фенольных соединений. Таким образом, в данном исследовании ингибирующие эффекты, обусловленные выделением фенольного соединения в среды для культивирования тканей, были минимальными.

Было изучено участие фенольных кислот в регуляции чередования плодоношения оливковых деревьев [18]. В условиях культуры тканей хлорогеновая кислота могла заменить потребность в ИУК для роста тканей. Коричная и феруловая кислоты также обладали

некоторой частичной активностью, подобной ИУК, в то время как фенилаланин, шикимовая и кофейная кислоты не проявляли активности. Сочетание кофейной и хинной кислот в среде индуцировало рост, аналогичный росту хлорогеновой кислоты. Было обнаружено, что хлорогеновая кислота накапливается в листьях плодоносящих оливковых деревьев, начиная с периода завязывания плодов и до затвердения косточек. После этого её уровень оставался высоким до следующего периода завязывания плодов в следующем году. Количественное исследование хлорогеновой кислоты проводилось в течение трёх последовательных сезонов. Причинно-следственная связь между развитием плодов и содержанием хлорогеновой кислоты была продемонстрирована путём удаления плодов в период завязывания косточек, что привело к мгновенному снижению уровня хлорогеновой кислоты в листьях. Основной переход количества хлорогеновой кислоты между годами «урожайности» и «отсутствия» плодоношения произошёл в мае, в период завязывания плодов. Плодоносящие побеги вступают в индукционный период при высоком уровне хлорогеновой кислоты, а неплодоносящие – при низком. Эксперименты с подкормкой хлорогеновой кислотой и родственными ей соединениями в полевых условиях методом впрыскивания под давлением могли снизить закладку цветочных почек до 50% при применении до середины января. После этого хлорогеновая кислота не оказывала влияния на дифференциацию. Процент завязывания плодов не изменялся. Другие фенольные кислоты лигнового пути, подкармливаемые оливковым деревом, оказывали более слабое влияние на дифференциацию, чем хлорогеновая кислота. Коричная кислота при позднезимнем внесении снижала завязывание плодов.

Биофортификация растений с использованием бактерий, стимулирующих рост растений (PGPB), представляет собой перспективную стратегию в устойчивом сельском хозяйстве [19]. В данной статье обсуждается действие PGPB в контексте их влияния на биосинтез фенольных соединений и перспективы их применения в сельском хозяйстве. До сих пор ни в одной обзорной статье не было обобщено значение PGPB в увеличении содержания фенольных соединений в растениях. PGPB, такие как *Pseudomonas*, *Bacillus* и *Azospirillum*, способствуют росту растений, продуцируя фитогормоны, улучшая доступность питательных веществ и стимулируя биосинтез вторичных метаболитов посредством активации индуцированной системной устойчивости (ISR). Активация ISR (индуцированной системной устойчивости) PGPB стимулирует фенилпропаноидный путь, который является основным путем биосинтеза полифенольных соединений, включая фенольные кислоты и флавоноиды, в растениях. Исследования показывают, что PGPB может увеличивать содержание

фенольных соединений с 9% до более чем 200%, одновременно улучшая антиоксидантную активность. Благодаря секреции фенольных соединений PGPB также может смягчать абиотические стрессы, такие как засуха, засоление и загрязнение тяжелыми металлами. Среди фенольных соединений, выработкой которых в различных частях растений может быть стимулирована PGPB, – флавоноиды, такие как кверцетин, процианидин B1, EGCG и катехин, а также фенольные кислоты, включая кофейную, феруловую и хлорогеновую кислоты. Достижения в области омикс-исследований позволят более точно изучить влияние PGPB, в том числе эндофитных бактерий, на пути биосинтеза фенольных соединений. В будущем это приведет к повышению эффективности стимуляции выработки этих соединений. Тем не менее, уже сейчас использование PGPB представляет собой устойчивую альтернативу генной инженерии, снижая зависимость от химических веществ в сельском хозяйстве.

Основываясь на концепции «Полученные из агролесоводства, принадлежат (обслуживающему) агролесоводству», авторы работы [20] осуществили tandemное каталитическое превращение лигнина в фенольные арилакриловые эфиры, которые могут действовать как регуляторы роста растений. Преобразование включает в себя первое каталитическое окислительное фракционирование (КОФ) лигнина в ароматические альдегиды, которые затем могут подвергаться конденсации Кнёвенагеля с кислотами/эфирами с активным Са–Н для получения фенольных арилакриловых эфиров. Для первого превращения лигнина соль Cu (CuSO_4) в 7,5% масс. водном растворе NaOH могла обеспечить селективное расщепление связей С–С лигнина, обеспечивая выход ароматических альдегидов 25,0% масс. Впоследствии уникальные основные центры самоорганизующейся гибридной системы CeO_2 и 2-цианопиридина смогли преодолеть ограничения традиционных гомогенных/гетерогенных оснований и облегчить конденсацию фенолсодержащих ароматических альдегидов и малонового эфира с образованием арилакриловых эфиров. Более того, фенолакриловые эфиры на основе лигнина продемонстрировали различную активность в регуляции роста растений, основанную на различных структурных группах, при выращивании семян мяты перечной. Вышеуказанные результаты могут расширить возможности высокоэффективного использования лигнина в агролесоводстве.

Исследование [21] было проведено с целью изучения влияния различных регуляторов роста растений (PGR) на индукцию каллуса у эксплантов *Salvia tebesana*, выращенных *in vitro*, а также для оценки содержания вторичных фенольных соединений и их антиоксидантного потенциала. Экспланты (апикальная меристема побега, лист и черешок) были отделены от 8-недельного растения *S. tebesana*, растущего *in vitro*, и культивированы на среде MS, содержащей

различные концентрации 2,4-Д (0, 0,5, 1, 1,5 и 2 мг/л), НУК (0, 0,5 и 1 мг/л) и БАП (0, 0,5 и 1 мг/л), как по отдельности, так и в смеси друг с другом. Морфологические характеристики каллуса (консистенция и цвет), прирост биомассы в пересчете на сырую и сухую массу, а также процент индукции регистрировали через 56 дней. Содержание общих фенолов, орто-дифенолов, фенольных кислот, флавоноидов, проантоцианидинов и флавонолов в каллусе, а также антиоксидантную активность оценивали *in vitro*. Максимальное каллусное образование (100%) было получено из апикальной меристемы побега на среде MS, дополненной 0,5 и 1,5 мг/л 2,4-Д + 1 мг/л БАП и 1 и 1,5 мг/л 2,4-Д + 0,5 мг/л БАП, тогда как наибольшая масса каллуса в сыром ($15,06 \pm 0,88$ г) и сухом ($0,33 \pm 0,02$ г) состоянии наблюдалась на среде, содержащей 1,5 мг/л 2,4-Д + 0,5 мг/л НУК. Было отмечено, что среда MS, дополненная комбинированными PGR, продемонстрировала наибольшую аккумуляцию полифенолов, фенольных кислот и флавоноидных соединений, при этом уровни их содержания варьировались в следующем порядке: 2,4-D + BAP > NAA + BAP > 2,4-D + NAA. Были установлены сильные линейные корреляции между общим содержанием фенолов в экстрактах каллуса и результатами анализов DPPH и FRAP ($r_2 = 0,896$ и $r_2 = 0,946$, $p < 0,01$ соответственно). Полученные результаты позволяют предположить, что описанный метод может быть использован в качестве инструмента для крупномасштабного производства лекарственных метаболитов *S. tebesana* путем культивирования тканей.

В работе [22] эксперимент проводился в пластиковом теплице и доме из планок /Колледж сельского хозяйства/Университет Диялы, в то время как эксперимент с тканями проводился в лаборатории культуры тканей растений/Кафедра садоводства/Колледж сельского хозяйства/Университет Диялы. Целью данного исследования является изучение влияния регуляторов роста растений на заложение каллуса и фенольных соединений в каллусе и сравнение их с растениями в полевых условиях. Влияние взаимодействия 2,4-Д с Кином или БА. Результат показал, что при добавлении в среду 1 мг/л Кином + 1 или 2 мг/л 2,4-Д сырая и сухая масса каллуса увеличилась до 2,560 и 0,146 г соответственно. Результаты влияния взаимодействия НАА с БА или Кин. Результат показал, что при добавлении в среду 1,5 мг/л Кином. + 1 мг л⁻¹ НАА увеличивает сырую и сухую массу каллуса до 2,107 г и 0,127 г соответственно. В ходе эксперимента по оценке фенолов из каллуса и посаженных тканей в полевых условиях результаты показали, что отдельные ткани дали высокие уровни фенольных соединений по сравнению с тканями каллуса. Лист *Fragaria vesca* дал большое количество соединений меричитина, а также каффиновой и галловой кислот. Цветы того же типа дали количество соединений альфа-пенина, комарина и кверцетина. Корни того же типа дали

большое количество Р-гидроксибензойной кислоты и феруловой кислоты. Каллус того же типа дал большое количество соединения камфена и эллаговой кислоты, в то время как тип *Salwan* дал большое количество соединения катехина.

Фенольные соединения представляют собой ароматические соединения, содержащие бензольное кольцо с гидроксильными группами, которые играют основную роль в обеспечении защиты растений от окислительного стресса. Также известно, что фенольные соединения играют важную роль в физиологии растений, обеспечивая поддержку структурной целостности растения. Фенольные соединения, выделяемые поврежденными растениями, обладают антимикробными свойствами. Некоторые из растительных фенольных соединений действуют как химические агенты для отпугивания травоядных животных и патогенов, а также при аллелопатии. Растительные фенольные соединения синтезируются в основном по шикиматному и фенилпропаноидному пути. На рисунке 1 представлены категории фенолов растительного происхождения. Синтезированные полифенолы, накапливающиеся в субэпидермальных слоях, подвергаются воздействию патогенов и механическому воздействию. Полифенольные вещества и пигменты, выделяемые растениями, привлекают опылителей, симбиотических микробов и животных, разносящих плоды, что способствует распространению семян. Потребление полифенолов человеком из орехов, фруктов, семян и овощей крайне полезно для смягчения окислительного стресса и связанных с ним заболеваний, включая старение и возрастные расстройства. Основные категории фенольных соединений в растениях включают лигнаны, флавоноиды, изофлавоноиды, флавоны, стильбены, кумарины и фенольные кислоты. Помимо обычной антиоксидантной функции, растительные полифенолы и их химически синтезированные производные обладают рядом других полезных для здоровья свойств, включая противовоспалительные, антимикробные, противораковые, антинейродегенеративные, кардиопротекторные и иммуностимулирующие. Таким образом, растительные полифенолы отвечают насущной потребности в разработке природных химических веществ в качестве экологичных терапевтических средств с потенциальным воздействием на здоровье [23].

В статье [24] представлены результаты исследования влияния регуляторов роста, полученных из различных видов растений, на рост пшеницы и ячменя с использованием инфракрасной (ИК) спектроскопии. В лабораторных условиях оценивалась ростостимулирующая и фунгицидная активность препаратов в разведениях 1:10, 1:25, 1:50 и 1:100. Стандартами служили экстракты из пророщенных образцов без добавления 6-бензиламинопурина (6-БАП). Семена пшеницы и ячменя обрабатывались этими различными

разведениями. В ходе исследования в экстрактах регуляторов роста были идентифицированы функциональные группы, такие как фенольные соединения, карбоксильные и аминогруппы, соответствующие ключевым фитогормонам, таким как цитокинины, гиббереллины и ауксины. Было показано, что эти регуляторы роста эффективны в концентрациях, в тысячи раз более низких, чем известные биостимуляторы. Обработка семян 2%-ным раствором 6-БАП показала повышение урожайности и устойчивости к корневым гнилям у зерновых культур. Кроме того, были выявлены эффективные методы обработки семян для полевых условий. Исследование пришло к выводу, что регуляторы роста природного происхождения в сочетании с небольшими дозами 6-БАП вызывают значительные изменения в росте и развитии сельскохозяйственных культур.

Культивирование ткани *Nigella arvensis L.* проводили на среде MS, дополненной различными концентрациями ауксинов и цитокининов. Среды, обогащенные различными концентрациями (0,0, 0,5, 1,0 и 1,5 мг/л) 2, 4-Д, НУК или ИМК в сочетании с кинетином или БАП (1,5 мг/л и 2 мг/л), использовали для индукции и роста каллуса в присутствии и в отсутствие света. Экспериментальный дизайн был выполнен как рандомизированный блочно-факториальный план с тремя повторениями. После культивирования каллуса оценивали активность антиоксидантных ферментов и общее содержание фенолов. Максимальная индукция каллуса (80,9%) была получена при 1,0 мг/л 2, 4-Д и 1,5 мг/л/кинетина в присутствии света. Комбинация и концентрация регуляторов роста растений, а также фотопериод влияли на активность антиоксидантных ферментов. Наибольшая активность каталазы и пероксидазы, а также общее содержание фенолов наблюдалась на средах с комбинациями БАП. Напротив, активность супероксиддисмутазы была наименьшей во всех комбинациях БАП. В целом, свет усиливал активность ферментов, но отрицательно влиял на общее содержание фенолов.

Гуминовые вещества (ГВ) всё чаще применяются в качестве биостимуляторов сельскохозяйственных культур, поскольку доказано их повышение продуктивности растений, особенно в условиях экологического стресса [26]. Выявляется повышенный интерес к выяснению молекулярных структур ГВ, ответственных за реакцию растений на биостимуляторы (РБР). Полярные и слабокислотные карбоксильные (COOH) и фенольные гидроксильные (ArOH) функциональные группы играют важную роль в кислотных свойствах, растворимости, зависящей от pH, конформации и способности ГВ связывать металлы и соли. В отчётах о роли этих групп в РБР ГВ было обнаружено, что параметры роста как положительно, так и отрицательно коррелируют с функциональностью COOH и ArOH. Для исследования роли COOH и ArOH в биостимулирующей активности

HS авторы работы использовали гуминовую кислоту (НА), очищенную из окисленного полубитуминозного угля для приготовления НА с метилированными группами COOH (АНА), ацетилированными группами ArOH (ОНА) и с метилированными как группами COOH, так и ArOH (FHA). Исходная НА была обозначена (NHA). Четыре НА были подвергнуты элементному, ^{13}C -ЯМР, FTIR и ЭПР-анализу, а их антиоксидантные свойства были оценены с помощью анализа антиоксидантной емкости эквивалентов тролокса (TEAC). Анализы ^{13}C -ЯМР и FTIR выявили значительное алкилирование/ацетилирование. Для определения влияния алкилирования/ацетилирования этих функциональных групп на вызванную НА РВР, НА были оценены в биоанализе растений на проростках кукурузы (*Zea mays L.*) в условиях питательного и непитательного стресса. Обработка включала в себя внесение четырёх ГК на поверхность почвы в концентрации 80 мг С/л в 50 мл деионизированной воды, при этом контрольные растения получали 50 мл деионизированной воды. Растения, обработанные ГК, при обеих нормах удобрения почти всегда были значительно крупнее контрольных. Однако различия, возникающие в условиях дефицита питательных веществ, всегда были значительно значительнее, чем при их достаточном количестве, что подтверждает предыдущие сообщения о том, что ГК может снижать влияние стресса на рост растений. Кроме того, в большинстве случаев ГК с алкилированными/ацетилированными группами давали растения, равные или более крупные, чем растения, обработанные НГК. Эти результаты свидетельствуют о том, что группы COOH и ArOH играют ограниченную или не играют никакой роли в индуцируемом ГК РВР. В качестве альтернативы, соотношение прооксидантных и антиоксидантных компонентов ГК может играть роль в величине биостимулирующего ответа.

Исследование [27] было проведено с целью оценки влияния экзогенной абсцизовой кислоты (АБК) и солевого стресса на фенольные соединения, рост и урожайность двух сортов короткодневной клубники «Королева Элиза» и «Курдистан». Растения подвергались контролльному воздействию, постепенному солевому стрессу (до 20 ммоль/л в течение 5 недель) и солевому шоку (20 ммоль/л). Обработки АБК включали: 0 (контроль), 5, 10, 20 и 40 мкмоль/л. Эксперимент проводился на основе полностью рандомизированного факторного эксперимента. Наибольший уровень феруловой кислоты наблюдался при внесении 40 мкмоль/л АБК в «Королеву Элизу» в условиях солевого шока, но эффективное увеличение содержания кофейной кислоты и п-кумаровой кислоты было показано при постепенном солевом стрессе для обоих сортов при одинаковом уровне АБК. Максимальный уровень АБК привел к

наивысшему содержанию гентизиновой и галловой кислот при постепенном солевом стрессе в сорте «Курдистан». Содержание метилгаллата и флавоноидов резко возросло при таких же условиях в сорте «Королева Элиза». Взаимодействие режимов солевого стресса и АБК привело к увеличению содержания эллаговой кислоты у обоих сортов. Взаимодействие АБК и солевого шока привело к более значительному снижению массы корней и побегов в сыром виде и снижению урожайности плодов в сорте «Курдистан». Результаты этого эксперимента объясняют важную роль экзогенной АБК в активации антиоксидантного механизма защиты, росте и поддержании урожайности в условиях постепенного солевого стресса у клубники.

Целью исследования [28] было определение общей антиоксидантной активности, а также содержания фенольных соединений и флавоноидов в каллусных экстрактах лаванды лекарственной (*Lavandula officinalis*), ароматического растения. В питательной среде использовались комбинации регуляторов роста растений: нафтилуксусной кислоты (НАК), бензиламинопурина (БАП), кинетина (КИН) и 2,4-дихлорфеноксиуксусной кислоты (2,4-Д) в различных концентрациях. Указанные анализы были проведены для экстрактов, полученных из каллуса растений, выращенных на различных средах. Каллус экстрагировали водой и этанолом. Анализ общего содержания фенольных соединений проводили методом Фолина-Чокальтеу. Спектрофотометрический метод AlCl_3 использовался для анализа общего количества флавоноидов, а антиоксидантная емкость экстрактов каллусов лаванды измерялась с учетом способности 2,2'-азино-бис-3-этилбензтиазолин-6-сульфокислоты (ABTS) захватывать катион-радикалы. Наибольшая антиоксидантная емкость ($9,24 \pm 0,14$ ммоль ТЕАС/г сухого веса каллуса) была получена из каллуса растений, выращенных на среде, содержащей 0,5 мг/л БАП + 0,5 мг/л комбинации 2,4-Д; наибольшее количество фенольных веществ ($35,74 \pm 0,48$ мг ГАЭ/г сухого веса каллуса) было получено из каллуса растений, выращенных на среде, содержащей комбинацию 0,5 мг/л БАП + 0,5 мг/л НУК; Наибольшее количество флавоноидных веществ ($32,42 \pm 0,46$ мг КЭ/г сухой массы каллуса) было получено из каллуса растений, выращенных на среде, содержащей комбинацию 0,5 мг/л БАП + 1 мг/л 2,4-Д. Сравниваются результаты для комбинации регуляторов роста растений и определяется влияние различных ингредиентов питательной среды.

Фенолы – основные соединения, вырабатываемые растениями в качестве периферического стимула или регуляторного защитного механизма при различных биотических стрессах окружающей среды [29]. Эти вторичные метаболиты образуются в метаболических путях шикимовой и уксусной кислоты. Ароматическое бензольное кольцо играет важную роль в развитии растений, особенно в защитных

функциях. Они обеспечивают структурную целостность и поддержку растений. Фенольные фитоалексины, выделяемые растениями, подвергшимися атаке патогенов/членистоногих или поврежденными, нейтрализуют или отпугивают организмы, что благоприятно для хозяина. Аллелопатический потенциал фенольных соединений наблюдается как в естественных, так и в искусственных экосистемах. Глобальное воздействие климатических изменений, таких как засуха, повышенное содержание углекислого газа или выбросы парниковых газов, изменяет количественную реакцию растительных фенолов. В данном обзоре в первую очередь рассматриваются различные аспекты взаимодействия фенолов, связанные со здоровьем, антиоксидантными свойствами и взаимодействием насекомых и растений, как связующего звена взаимоотношений почвы и растений в ответ на изменчивые климатические условия.

Медвяная роса *Muzus persicae*, питающейся проростками редиса, содержит глюкозу, фруктозу, трегалозу, мелезитозу и сахарозу, из которых глюкоза и фруктоза присутствуют в проростках редиса [30]. Кроме того, в медвяной росе содержится восемь органических кислот, семь из которых присутствуют в незаражённых проростках, а шесть – в заражённых: из восемнадцати фенольных кислот, содержащихся в медвяной росе, пять присутствуют в незаражённых проростках редиса. В медвяной росе присутствуют ауксины, гиббереллины, ингибиторы роста и цитокинины. Присутствие карбоната и бикарбоната, ранее зарегистрированное в медвяной росе *M. persicae*, не удалось подтвердить, но в свежей медвяной росе присутствует аммиак, что объясняет её высокий pH.

Таким образом, представленный анализ литературных исследований показывает, что фенольные соединения являются весьма важными фиторегуляторами, т.е. они способны участвовать в процессах роста и развития растений и могут выполнять целый ряд биологически важных функций в растительных организмах.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Kefeli V. I., Kutacek M. Phenolic substances and their possible role in plant growth regulation // Chapter in book Plant growth regulation. 1976. pp. 181-188.
2. Wain R. L., Taylor H. F. Phenols as plant growth regulators // Nature. 1965. Vol. 207. pp. 167-168.
3. Pratyusha S. Phenolic compounds in the plant development and defense: An overview // Chapter in book Plant stress physiology – perspectives in agriculture. 2021. 232 p.
4. North J. J., Ndakidemi P., Laubscher Ch. P. Effects of antioxidants, plant growth regulators and wounding on phenolic compound

excretion during micropropagation of *Strelitzia reginae* // International journal of the physical sciences. 2012. Vol. 7. N 4. pp. 311-319.

5. Lili X., Wang X. A comprehensive review of phenolic compounds in horticultural plants // International journal of molecular sciences. 2025. Vol. 26. N 12. pp. 5767-5772.

6. Giannakoula A. E., Ilias I. F., Dragisic-Maksimovic J., Zivanovic B. D. The effects of plant growth regulators on growth, yield, and phenolic profile of lentil plants // Journal of food composition and analysis. 2012. Vol. 28. N 1. pp. 46-53.

7. Rasouli H., Farzaei M. H., Mansouri K., Mohammadzadeh S. Plant cell cancer: may natural phenolic compounds prevent onset and development of plant cell malignancy? A literature review // Molecules. 2016. Vol. 21. N 9. pp. 1104-1111.

8. Yoshioka T., Inokuchi T., Fujioka Sh., Kimura Y. Phenolic compounds and flavonoids as plant growth regulators from fruit and leaf of *Vitex rotundifolia* // De Gruyter Brill. 2014. N 6. pp. 247-253.

9. Sulusoglu M. Phenolic compounds and uses in fruit growing // Turkish journal of agricultural and natural sciences. 2014. N 12. pp. 947-956.

10. Medeiros A. P., Ferreira Leite J., de Assis R. A., Rocha J. P. Exogenously applied growth regulators affect the growth, phenols, protein and essential oil composition of *Melissa officinalis* // Revista ciencia agronomica. 2025. Vol. 56. pp. 743-755.

11. Clapa D., Harta M., Radomir A. M., Peticila A. C. Effects of culture period and plant growth regulators on in vitro biomass production and phenolic compounds in seven species of *Hypericum* // Plants. 2025. Vol. 14. N 15. pp. 2437-2443.

12. Pat. 1327666A. China. 2001. Compound nitro-phenolic potassium salt-gibberellin plant growth regulator.

13. Danova K., Trendafilova A., Todorova M., Rangelov M. Differential effect of vitamins and plant growth regulators on sesquiterpene lactones and phenolic acids accumulation of *Inula britannica* L. shoot cultures // Plant cells, tissue and organ culture. 2021. Vol. 147. pp. 21-35.

14. Khetsha Z. P., Sedibe M., Pretorius R., Watt V. D. Plant growth regulators and simulated hail damage improve rose-geranium (*Pelargonium graveolens* L.) leaf mineral status and phenolic composition // Applied ecology and environmental research. 2021. Vol. 19. N 4. pp. 3083-3095.

15. Sedighi A., Dehkardi F., Gholami M., Rafieian-Kopaei M. Study of the effect of plant growth regulators, size, and cultivar of the grape inflorescence explant on production of phenolic compounds in an in vitro condition // J. Herbmed. Pharmacol. 2014. Vol. 3. N 1. pp. 35-40.

-
16. Diaa Mamdouh M. A. Mass production of phenolic compounds through plant in vitro cultures // Doctoral thesis. 2024. Berlin Technical University. 218 p.
 17. Chamandoost F. The relationship between plant growth regulators for organogenesis and phenolic compound in cotton (*Gossypium hirsutum* L.) // Asian journal of developmental biology. 2010. Vol. 2. N 1. pp. 16-22.
 18. Lavee S., Harshemesh H., Avidan N. Phenolic acids – possible involvement in regulating growth and alternate fruiting in olive trees // Acta horticultural. 1986. Vol. 179. pp. 317-328.
 19. Jakubowska Z., Gradowski M., Dobrzynski J. Role of plant growth-promoting bacteria (PGPB) in enhancing phenolic compounds biosynthesis and its relevance to abiotic stress tolerance in plants: a review // Antonie Van Leeuwenhoek. 2025. Vol. 118. N 9. pp. 123-137.
 20. Luo B., Zhang Ch., Huijun Zh., Jiang B. Lignin tandem catalytic transformation to phenolic aryl acrylic esters as plant growth regulators // ChemSusChem. 2025. Vol. 18. N 9. pp. 2540-2547.
 21. Hemmati N., Cheniany M., Ganjeali A. Effect of plant growth regulators and explants on callus induction and study of antioxidant potentials and phenolic metabolites in *Salvia tebesana* Bunge // Botanica serbica. 2020. Vol. 44. N 2. pp. 163-173.
 22. Obayd A., dawood W. A., Al-Azawy E. Effect of plant growth regulators and type of explant on phenolic production from strawberry plant in vivo and in vitro // Diyala agricultural sciences journal. 2018. Vol. 10. N 2. pp. 356-362.
 23. Prasher P., Sharma M. Plant phenolics and oxidative stress // Chapter in book Plant growth regulators to manage biotic and abiotic stress in agroecosystems. 2024. pp. 1-20.
 24. Kaya A., Mutushev A., Lesova Zh., Akhmetova A. Extraction of plant growth regulators and their impact on the growth processes of cereal crops // ES Food and Agroforestry. 2025. Vol. 19. pp. 31-39.
 25. Dekami A., Sanjarian F., Chaichi M., Hosseini B. Effect of plant growth regulators and light on callus induction, antioxidant enzyme response and total phenol in *Nigella arvensis* L. // Journal of medicinal plants and by-products. 2023. Vol. 12. N 1. pp. 47-56.
 26. Lamar R. T., Gralian J., Hockaday W. C., Jerzykiewicz M. Investigation into the role of carboxylic acid and phenolic hydroxyl groups in the plant biostimulant activity of a humic acid purified from an oxidized sub-bituminous coal // Front. Plant Sci. 2024. Vol. 19. pp. 421-426.
 27. Jamalian S., Gholami M., Esna-Ashari M. Abscisic acid-mediated leaf phenolic compounds, plant growth and yield in strawberry under different salt stress regimes // Plant physiology. 2013. Vol. 25. N 4. pp. 291-299.

28. Buran A., Topdemir A. Phenolic and flavonoid amounts and antioxidant capacity of *Lavandula officinalis* (lavender) callus grown in different growth regulator combinations // Anatolian journal of botany. 2022. Vol. 6. N 2. pp. 115-121.
29. Misra N. D., Dutta W., Jha G., Ray R. Interactions and regulatory functions of phenolics in soil-plant-climate nexus // Agronomy. 2023. Vol. 13. pp. 280-289.
30. Hussain A., Forrest J. M., Dixon A. F. Sugar, organic acid, phenolic acid and plant growth regulator content of extracts of honeydew of the aphid *Myzus persicae* and of its host plant, *Raphanus sativus* // Annals of applied biology. 1974. Vol. 78. N 1. pp. 65-73.

REFERENCES

31. Kefeli V. I., Kutacek M. Phenolic substances and their possible role in plant growth regulation // Chapter in book Plant growth regulation. 1976. pp. 181-188.
32. Wain R. L., Taylor H. F. Phenols as plant growth regulators // Nature. 1965. Vol. 207. pp. 167-168.
33. Pratyusha S. Phenolic compounds in the plant development and defense: An overview // Chapter in book Plant stress physiology – perspectives in agriculture. 2021. 232 p.
34. North J. J., Ndakidemi P., Laubscher Ch. P. Effects of antioxidants, plant growth regulators and wounding on phenolic compound excretion during micropropagation of *Strelitzia reginae* // International journal of the physical sciences. 2012. Vol. 7. N 4. pp. 311-319.
35. Lili X., Wang X. A comprehensive review of phenolic compounds in horticultural plants // International journal of molecular sciences. 2025. Vol. 26. N 12. pp. 5767-5772.
36. Giannakoula A. E., Ilias I. F., Dragisic-Maksimovic J., Zivanovic B. D. The effects of plant growth regulators on growth, yield, and phenolic profile of lentil plants // Journal of food composition and analysis. 2012. Vol. 28. N 1. pp. 46-53.
37. Rasouli H., Farzaei M. H., Mansouri K., Mohammadzadeh S. Plant cell cancer: may natural phenolic compounds prevent onset and development of plant cell malignancy? A literature review // Molecules. 2016. Vol. 21. N 9. pp. 1104-1111.
38. Yoshioka T., Inokuchi T., Fujioka Sh., Kimura Y. Phenolic compounds and flavonoids as plant growth regulators from fruit and leaf of *Vitex rotundifolia* // De Gruyter Brill. 2014. N 6. pp. 247-253.
39. Sulusoglu M. Phenolic compounds and uses in fruit growing // Turkish journal of agricultural and natural sciences. 2014. N 12. pp. 947-956.
40. Medeiros A. P., Ferreira Leite J., de Assis R. A., Rocha J. P. Exogenously applied growth regulators affect the growth, phenols, protein

and essential oil composition of *Melissa officinalis* // Revista ciencia agronomica. 2025. Vol. 56. pp. 743-755.

41. Clapa D., Harta M., Radomir A. M., Peticila A. C. Effects of culture period and plant growth regulators on in vitro biomass production and phenolic compounds in seven species of *Hypericum* // Plants. 2025. Vol. 14. N 15. pp. 2437-2443.

42. Pat. 1327666A. China. 2001. Compound nitro-phenolic potassium salt-gibberellin plant growth regulator.

43. Danova K., Trendafilova A., Todorova M., Rangelov M. Differential effect of vitamins and plant growth regulators on sesquiterpene lactones and phenolic acids accumulation of *Inula britannica* L. shoot cultures // Plant cells, tissue and organ culture. 2021. Vol. 147. pp. 21-35.

44. Khetsha Z. P., Sedibe M., Pretorius R., Watt V. D. Plant growth regulators and simulated hail damage improve rose-geranium (*Pelargonium graveolens* L.) leaf mineral status and phenolic composition // Applied ecology and environmental research. 2021. Vol. 19. N 4. pp. 3083-3095.

45. Sedighi A., Dehkardi F., Gholami M., Rafieian-Kopaei M. Study of the effect of plant growth regulators, size, and cultivar of the grape inflorescence explant on production of phenolic compounds in an in vitro condition // J. Herbmed. Pharmacol. 2014. Vol. 3. N 1. pp. 35-40.

46. Diaa Mamdouh M. A. Mass production of phenolic compounds through plant in vitro cultures // Doctoral thesis. 2024. Berlin Technical University. 218 p.

47. Chamandoost F. The relationship between plant growth regulators for organogenesis and phenolic compound in cotton (*Gossypium hirsutum* L.) // Asian journal of developmental biology. 2010. Vol. 2. N 1. pp. 16-22.

48. Lavee S., Harshemesh H., Avidan N. Phenolic acids – possible involvement in regulating growth and alternate fruiting in olive trees // Acta horticultural. 1986. Vol. 179. pp. 317-328.

49. Jakubowska Z., Gradowski M., Dobrzynski J. Role of plant growth-promoting bacteria (PGPB) in enhancing phenolic compounds biosynthesis and its relevance to abiotic stress tolerance in plants: a review // Antonie Van Leeuwenhoek. 2025. Vol. 118. N 9. pp. 123-137.

50. Luo B., Zhang Ch., Huijun Zh., Jiang B. Lignin tandem catalytic transformation to phenolic aryl acrylic esters as plant growth regulators // ChemSusChem. 2025. Vol. 18. N 9. pp. 2540-2547.

51. Hemmati N., Cheniany M., Ganjeali A. Effect of plant growth regulators and explants on callus induction and study of antioxidant potentials and phenolic metabolites in *Salvia tebesana* Bunge // Botanica serbica. 2020. Vol. 44. N 2. pp. 163-173.

52. Obayd A., dawood W. A., Al-Azawy E. Effect of plant growth regulators and type of explant on phenolic production from

strawberry plant in vivo and in vitro // Diyala agricultural sciences journal. 2018. Vol. 10. N 2. pp. 356-362.

53. Prasher P., Sharma M. Plant phenolics and oxidative stress // Chapter in book Plant growth regulators to manage biotic and abiotic stress in agroecosystems. 2024. pp. 1-20.

54. Kaya A., Mutushev A., Lesova Zh., Akhmetova A. Extraction of plant growth regulators and their impact on the growth processes of cereal crops // ES Food and Agroforestry. 2025. Vol. 19. pp. 31-39.

55. Dekami A., Sanjarian F., Chaichi M., Hosseini B. Effect of plant growth regulators and light on callus induction, antioxidant enzyme response and total phenol in *Nigella arvensis* L. // Journal of medicinal plants and by-products. 2023. Vol. 12. N 1. pp. 47-56.

56. Lamar R. T., Gralian J., Hockaday W. C., Jerzykiewicz M. Investigation into the role of carboxylic acid and phenolic hydroxyl groups in the plant biostimulant activity of a humic acid purified from an oxidized sub-bituminous coal // Front. Plant Sci. 2024. Vol. 19. pp. 421-426.

57. Jamalian S., Gholami M., Esna-Ashari M. Abscisic acid-mediated leaf phenolic compounds, plant growth and yield in strawberry under different salt stress regimes // Plant physiology. 2013. Vol. 25. N 4. pp. 291-299.

58. Buran A., Topdemir A. Phenolic and flavonoid amounts and antioxidant capacity of *Lavandula officinalis* (lavender) callus grown in different growth regulator combinations // Anatolian journal of botany. 2022. Vol. 6. N 2. pp. 115-121.

59. Misra N. D., Dutta W., Jha G., Ray R. Interactions and regulatory functions of phenolics in soil-plant-climate nexus // Agronomy. 2023. Vol. 13. pp. 280-289.

60. Hussain A., Forrest J. M., Dixon A. F. Sugar, organic acid, phenolic acid and plant growth regulator content of extracts of honeydew of the aphid *Myzus persicae* and of its host plant, *Raphanus sativus* // Annals of applied biology. 1974. Vol. 78. N 1. pp. 65-73.

Информация об авторах

У.Р. Гурбанова – докторант, мл. н. с. лаборатории «Химия и технология циклоалкилфенолов» ИНХП МНО Азербайджана;

Ч.К. Расулов – доктор химических наук, профессор, заведующий лаборатории «Химия и технология циклоалкилфенолов» ИНХП МНО Азербайджана;

Ф.И. Гасымова – докторант лаборатории «Химия и технология циклоалкилфенолов» ИНХП МНО Азербайджана;

Г.З. Гейдарли – докторант, стар. н. с. лаборатории «Химия и технология циклоалкилфенолов» ИНХП МНО Азербайджана;

П.В. Сулейманова – кандидат химических наук, преподаватель Сумгайтского Государственного Университета, г. Сумгайт, Азербайджан.

Information about the author

U.R. Qurbanova – doctoral student, researcher of laboratory "Chemistry and technology of cycloalkylphenols" IPCP MES of Azerbaijan;

Ch.Q. Rasulov - doctor of chemical sciences, professor, head of laboratory "Chemistry and technology of cycloalkylphenols" IPCP MES of Azerbaijan;

F.I. Qasymova – doctorant of laboratory "Chemistry and technology of cycloalkylphenols" IPCP MES of Azerbaijan;

G.Z.Heydarli – doctoral student, leading researcher of laboratory "Chemistry and technology of cycloalkylphenols" IPCP MES of Azerbaijan;

P.V. Suleymanova – candidate of chemical sciences, teacher of Sumqayit State University, Sumqayit, Azerbaijan.

*Статья поступила в редакцию 16.11.2025; принята к публикации 09.12.2025.
The article was submitted 16.11.2025; accepted for publication 09.12.2025.*

ХИМИЧЕСКИЕ НАУКИ

Научная статья

УДК 547.541.3

DOI 10.21510/3034-266X-2025-4-92-104

ПРИМЕНЕНИЕ МИКРООРГАНИЗМОВ В ПРОЦЕССЕ БИОРЕМЕДИАЦИИ ПОЧВ, ЗАГРЯЗНЕННЫХ ТЯЖЕЛЫМИ МЕТАЛЛАМИ

*Парвин Шамхал гызы Мамедова¹, Эльбей Расим оглу Бабаев²,
Кенуль Рамиз гызы Каҳраманова³, Айгюн Эришад гызы
Алмамедова⁴, Тарапана Мурадага гызы Ибрагимова⁵, Фидан
Галиб гызы Муштагова⁶*

*^{1,2,3,4,5,6}Институт Химии Присадок Министерства Науки и
Образования Азербайджана, Баку*

*^{2,6}Государственная Нефтяная Компания Азербайджанской
Республики*

elbeibabaev@yahoo.de

Аннотация. Биоремедиация считается одной из самых безопасных, чистых, экономически эффективных и экологически чистых технологий для очистки территорий, загрязненных широким спектром загрязняющих веществ. Термин «биоремедиация» был введен для описания процесса использования биологического агента для удаления токсичных отходов из окружающей среды. Биоремедиация является наиболее эффективным инструментом управления для управления загрязненной окружающей средой и восстановления загрязненной почвы. Процесс биоремедиации использует различные агенты, такие как бактерии, грибы, водоросли и высшие растения, в качестве основных инструментов для очистки от тяжелых металлов, присутствующих в окружающей среде. Биоремедиация, как *in situ*, так и *ex situ*, также получила сильное научное развитие, отчасти из-за более широкого использования естественного ослабления, поскольку большая часть естественного ослабления обусловлена биодеградацией. Биоремедиация и естественное очищение также рассматриваются как решение для возникающих проблем с загрязнителями. Микробы очень полезны для очистки загрязненной среды.

Ключевые слова: биоремедиация, микроорганизмы, очистка почвы от тяжелых металлов, загрязнение почв.

Для цитирования: Мамедова П.Ш., Бабаев Э.Р., Каҳраманова К.Р., Алмамедова А.Э., Ибрагимова Т.М.. Муштагова Ф.Г. Применение микроорганизмов в процессе биоремедиации почв,

загрязненных тяжелыми металлами // Вестник Башкирского государственного педагогического университета им. М.Акмуллы. Серия: Естественные науки. 2025. № 4. С. 92-104.

CHEMICAL SCIENCES

Original article

APPLICATION OF MICROORGANISMS IN THE PROCESS OF BIOREMEDIATION OF SOILS CONTAMINATED WITH HEAVY METALS

Parvin Sh. Mammadova¹, Elbey R. Babayev², Kenul R. Kahramanova³, Aygun E. Almammadova⁴, Tarana M. Ibrahimova⁵, Fidan Q. Mushtagova⁶

^{1,2,3,4,5,6}Institute of Chemistry of Additives of the Ministry of Science and Education of Azerbaijan, Baku

*^{2,6}State Oil Company of Azerbaijan Republic
elbeibabaev@yahoo.de*

Abstract. Bioremediation is considered one of the safest, cleanest, most cost-effective, and environmentally friendly technologies for remediating areas contaminated with a wide range of pollutants. The term "bioremediation" was coined to describe the process of using biological agents to remove toxic waste from the environment. Bioremediation is the most effective management tool for managing polluted environments and restoring contaminated soil. The bioremediation process utilizes various agents, such as bacteria, fungi, algae, and higher plants, as primary tools for removing heavy metals from the environment. Bioremediation, both in situ and ex situ, has also received significant scientific attention, partly due to the increased use of natural attenuation, as much of natural attenuation is due to biodegradation. Bioremediation and natural remediation are also seen as solutions to emerging contaminant problems. Microbes are very useful for cleaning up contaminated environments.

Keywords: bioremediation, microorganisms, soil purification from heavy metals, soil pollution

For citing: Mammadova P.Sh., Babayev E.R., Kahramanova K.R., Almammadova A.E., Ibrahimova T.M., Mushtagova F.Q. Application of microorganisms in the process of bioremediation of soils contaminated with heavy metals // Bulletin of Bashkir State Pedagogical University named after M. Akmulla. Series: Natural Sciences. 2025. No. 4. pp. 92-104.

Объем антропогенной деятельности в окружающей среде значительно возрос в связи с урбанизацией и индустриализацией. В результате этого концентрация токсичных металлов и других

загрязняющих веществ увеличилась, появляясь в сточных водах, сбрасываемых многими отраслями. Водные животные страдают от попадания загрязненных сточных вод в водоемы [1]. В результате этого также наносится ущерб сельскохозяйственным культурам, загрязняя агроэкологию. Хотя для детоксикации загрязняющих веществ в сточных водах использовались различные методы, текущая ситуация диктует необходимость экологически приемлемых и экономически жизнеспособных методов очистки сточных вод. Для достижения этой цели этот обзор направлен на изучение основных источников металлов в сточных водах. Традиционные методы очистки сточных вод занимают много времени и не являются экологически и финансово устойчивыми. Использование микроорганизмов, растений и остатков биомассы для разложения металлических ядов является проверенной и экологически безопасной стратегией биотехнологии. Таким образом, в обзоре подчеркиваются недостатки традиционных методов и важность биоремедиации для устойчивости экосистемы. Также рассматривается фиторемедиация – процесс удаления металлов из окружающей среды с помощью растений – как успешная стратегия. Растения считаются наиболее эффективным вариантом для очистки сточных вод, поскольку содержат разнообразные микроорганизмы и ферменты, способствующие детоксикации металлов из сточных вод. В целом, для лучшего понимания экологически безопасных и устойчивых методов, особое внимание уделяется накоплению и детоксикации металлов с помощью растений, микроорганизмов и остатков биомассы в процессе очистки окружающей среды.

Загрязнение почвы тяжелыми металлами, вызванное орошением сточными водами, промышленным загрязнением, пестицидами и удобрениями, а также атмосферными осаждениями, оказывает вредное воздействие на окружающую среду, которое трудно полностью устранить, и которое будет угрожать экологической среде, безопасности пищевых продуктов и здоровью человека [2]. Очистка почвы от тяжелых металлов и безопасное использование почвы стали главным приоритетом очистки промышленных земель и почв сельскохозяйственных угодий. Существующие основные методы рекультивации почвы от тяжелых металлов включают физическую рекультивацию, химическую рекультивацию и биологическую рекультивацию. С изменением сценариев управления и технологическими инновациями совместное применение междисциплинарных технологий стало важным направлением развития рекультивации почвы тяжелыми металлами. Особенно при очистке сельскохозяйственных угодий, загрязненных тяжелыми металлами, комбинированное использование нескольких технологий может еще больше улучшить безопасное использование сельскохозяйственных угодий. В данной статье основные методы

биоремедиации тяжелых металлов были обобщены на основе отечественной и зарубежной литературы, чтобы обеспечить справочную информацию для дальнейших исследований в этой области.

Большинство стран Африки к югу от Сахары сталкиваются с проблемой растущего накопления загрязняющих веществ в сочетании с сохранением в почве токсичных соединений. Эти стойкие токсичные материалы представляют значительную опасность для окружающей среды [3]. Тяжёлые металлы являются основными загрязнителями, постоянно присутствующими в отложениях, воздухе, воде и почве, и обладают потенциалом биоаккумуляции в пищевой цепи. Они часто попадают в окружающую среду в результате промышленных процессов, таких как гальванопокрытие, добыча и переработка руд и т. д. Тяжёлые металлы накапливаются в некоторых растениях, что приводит к биомагнификации в организме человека при их употреблении в пищу, создавая серьёзную угрозу безопасности пищевых продуктов и здоровью населения. В незначительных концентрациях некоторые тяжёлые металлы являются сопутствующими факторами, участвующими в выработке ферментов в организме. Появление этих металлов выше пороговых значений может быть причиной их вредного поведения, при котором они вытесняют другие ионы металлов, блокируют определенные функциональные группы или изменяют активную конфигурацию некоторых молекул, необходимых для биологических функций. Использование таких технологий, как выемка грунта, промывка почвы, сжигание, захоронение и промывка почвы при обработке почв, загрязненных тяжелыми металлами, не является экономически эффективным и экологически безопасным. Биоремедиация, которая представляет собой использование микроорганизмов, способствует расщеплению загрязнителей окружающей среды, таких как органические отходы и тяжелые металлы, до безвредного состояния в контролируемых условиях. Различные микроорганизмы использовались для смягчения вредного воздействия тяжелых металлов на окружающую среду, и было замечено, что этот процесс является экологически чистой и экономически эффективной заменой традиционных подходов к обработке и улучшает как качество почвы, так и ее использование, особенно в странах Африки к югу от Сахары.

Органические загрязнители создают множество экологических проблем для нашей окружающей среды из-за своей токсичности, неразлагаемости и способности к переносу на большие расстояния. Наиболее распространённые органические загрязнители известны как стойкие органические загрязнители (СОЗ) и известны как углеводороды. Эффективные методы удаления углеводородов и тяжёлых металлов из почвы привлекают большое внимание [4,5].

Методы рекультивации представляют собой один из важнейших методов благодаря их щадящему воздействию на окружающую среду. В исследовании рассматриваются многочисленные методы физической и химической рекультивации, а также объясняется способность некоторых растений и сельскохозяйственных отходов к рекультивации.

Нанобиоремедиация – это новая экологичная стратегия, объединяющая нанотехнологии и биологические процессы для снижения загрязнения окружающей среды тяжелыми металлами. Для изучения синергических взаимодействий между растениями и микроорганизмами, особое внимание уделяется их потенциальной роли в усилении нанобиоремедиации [6]. В этом исследовании рассматриваются несколько ключевых механизмов, включая биосорбцию, биоаккумуляцию, биоминерализацию и ферментативное восстановление, а также координация микроорганизмов и растений в переносимости и преобразовании токсичных тяжелых металлов в менее токсичные формы. Обновлена информация о потенциальной роли наноматериалов, созданных с помощью микроорганизмов, включая нанобиосорбенты и нанокатализаторы в фито- и экосредах. В обзоре также освещаются недавние исследования, посвященные значению растительно-микробных систем и наноматериалов в ремедиации тяжелых металлов. Рассматриваются такие проблемы, как выживаемость микроорганизмов, масштабируемость и воздействие на окружающую среду, а также потенциальные решения. Наконец, этот критический обзор дает новое представление об использовании взаимодействий растений и микроорганизмов для нанобиоремедиации, представляет экологически безопасный подход к решению проблемы глобального загрязнения тяжелыми металлами и демонстрирует устойчивый способ создания чистой окружающей среды.

Сельскохозяйственные почвы являются невозобновляемым природным ресурсом, требующим тщательного управления для достижения Целей устойчивого развития Организации Объединенных Наций. Однако промышленная и сельскохозяйственная деятельность часто пагубно влияет на здоровье почвы и может способствовать распространению тяжелых металлов (лоидов) в почвенной среде, оказывая вредное воздействие на здоровье человека и экосистем [7,8]. В данном обзоре авторы рассматривают процессы, которые могут привести к загрязнению сельскохозяйственных угодий тяжелыми металлами (лоидами), начиная от стока хвостов шахт, попадающих в местные ирригационные каналы, до атмосферного осаждения выбросов мусоросжигательных заводов и угольных электростанций. Авторы обсуждают взаимосвязь между биогеохимическими превращениями тяжелых металлов (лоидов) в почве и их биодоступностью. Затем авторы рассматривают два биологических

решения для рекультивации загрязненных сельскохозяйственных угодий: ремедиация на основе растений и микробная биоремедиация, которые предлагают экономически эффективные и устойчивые альтернативы традиционным технологиям физической или химической рекультивации. Наконец, авторы обсуждают, как интеграция этих инновационных технологий с прибыльным и устойчивым землепользованием может привести к созданию экологичных и устойчивых стратегий рекультивации, а в заключение определяем исследовательские проблемы и будущие направления биологической рекультивации сельскохозяйственных почв.

Почва – это живая и динамичная экосистема, постоянно подверженная антропогенному загрязнению [9]. Загрязнение тяжелыми металлами – один из основных факторов дисбаланса микробиоты и, следовательно, серьезной деградации почвы. Микробиота представлена широким спектром видов микроорганизмов, которые поддерживают и улучшают плодородие почвы, участвуя в биогеохимических циклах в природе. Тяжелые металлы естественным образом присутствуют в почве и играют ключевую роль в поддержании микробных процессов, но избыток отходов, хранящихся и нейтрализуемых ненадлежащим образом, может быть вреден из-за биоаккумуляции по трофической цепи. Среди тяжелых металлов, часто встречающихся в почве, – свинец (Pb), хром (Cr), цинк (Zn), кадмий (Cd), медь (Cu), ртуть (Hg) и никель (Ni). Подвижность тяжелых металлов в окружающей среде в целом и в почве в частности снижена, поэтому их контакт с микроорганизмами длительный и влияет на структуру микробного сообщества. Существующие исследования подчёркивают высокую способность кадмия к биоаккумуляции, а также его повышенную подвижность, влияющую на всю трофическую цепь. Свинец оказывает ингибирующее действие на теллурические микроорганизмы даже при очень низких концентрациях. Общая активность почвы, денитрификаторов и ферментов сильно зависит от присутствия тяжёлых металлов. Их влияние зависит от концентрации и pH почвы. Почвенно-климатические факторы также могут способствовать этим изменениям. Даже в этой ситуации микроорганизмы могут способствовать биоремедиации и восстановлению почвы в сельскохозяйственном цикле. Среди родов бактерий, развивших механизмы устойчивости к определённым тяжёлым металлам, – *Bacillus*, *Arthrobacter*, *Corynebacterium*, *Pseudomonas*, *Alcaligenes*.

Рост загрязнения почв тяжелыми металлами в результате различных видов деятельности человека и природы привел к растущей необходимости решения проблемы загрязнения окружающей среды [10]. Разработан ряд технологий ремедиации для обработки загрязненных почв, но появляется новая, основанная на биологических

принципах технология – фиторемедиация. Фиторемедиация включает в себя фитоволатилизацию, фитостабилизацию и фитоэкстракцию с использованием видов-гипераккумуляторов или стратегии хелатирования. Для повышения эффективности фиторемедиации микробиота из ризосфера может играть важную роль, но использование генной инженерии также может повысить эффективность этого метода. В этой работе авторы рассмотрели ключевую информацию о фиторемедиации, рассматривая как потенциальные возможности, так и ограничения, полученные в результате исследований по этой теме.

Проблема загрязнения почв нефтяными углеводородами и тяжёлыми металлами становится особенно острой для крупных нефтедобывающих стран, таких как Российская Федерация [11]. Как углеводородные, так и металлические загрязнители негативно влияют на почвенную биоту и здоровье человека, что требует эффективных методов их детоксикации и устранения. Биоремедиация почв, одновременно загрязнённых углеводородными и металлическими загрязнителями, осложняется тем, что, хотя эти два компонента требуют разной обработки, они взаимно влияют на общую эффективность удаления. Сообщается, что тяжёлые металлы ингибируют биодеградацию углеводородов, воздействуя на микробные ферменты, непосредственно участвующие в биодеградации, или взаимодействуя с ферментами, участвующими в общем метаболизме. В данной статье авторы обсуждаем недавние достижения и проблемы в области биоремедиации почв, одновременно загрязнённых углеводородами и тяжёлыми металлами, уделяя особое внимание выбору металлоустойчивых биодеградирующих штаммов и добавок на основе биосурфактантов.

Ускоренный рост населения, быстрая индустриализация, урбанизация и опасные промышленные практики привели к развитию загрязнения окружающей среды за последние несколько десятилетий [12]. Тяжёлые металлы являются одними из тех загрязнителей, которые связаны с проблемами окружающей среды и общественного здравоохранения из-за своей токсичности. Эффективная биоремедиация может быть достигнута с помощью процессов «*ex situ*» и «*in situ*», в зависимости от типа и концентрации загрязняющих веществ, характеристик участка, но не ограничивается стоимостью. Последние разработки в области искусственных нейронных сетей и редактирования генов микроорганизмов помогают улучшить биоремедиацию тяжёлых металлов «*in situ*» с загрязнённых участков. Мультиомные подходы приняты для эффективного удаления тяжёлых металлов различными местными микробами. В этом обзоре анализируются два основных метода биоремедиации, их принципы, ограничения и преимущества, а также новые аспекты

нанобиотехнологии, вычислительной биологии и ДНК-технологии для улучшения сценария.

Растущие проблемы загрязнения почв вызывают обеспокоенность во всем мире. Большое количество загрязняющих веществ, таких как полициклические ароматические углеводороды (ПАУ), нефтепродукты и связанные с ними продукты, пестициды, хлорфенолы и тяжелые металлы, попадают в почву, представляя огромную угрозу здоровью человека и природным экосистемам [13]. Химические и физические технологии рекультивации почв либо неэффективны, либо слишком дороги. Компостирование или внесение компоста может одновременно увеличивать содержание органического вещества в почве и плодородие почвы, помимо биоремедиации, и поэтому считается одним из наиболее экономически эффективных методов рекультивации почв. В данной статье рассматривается применение компостирования/компостирования для биоремедиации почв, а также дается критический взгляд на влияние этой технологии на микробные аспекты загрязненных почв. В обзоре также обсуждаются будущие потребности в исследованиях загрязненных почв.

Ухудшение состояния окружающей среды вызывается различными загрязнителями, однако тяжёлые металлы часто представляют собой серьёзную проблему. Развитие и глобализация в настоящее время также привели к такому загрязнению в развивающихся странах, включая Африку и Азию [14]. В данном обзоре рассматриваются географические перспективы загрязнения почв тяжёлыми металлами. Различные подходы, используемые для очистки почв от металлического загрязнения, включают физические, химические и биологические системы, но многие из этих методов экономически невыгодны и не гарантируют восстановления без остаточных эффектов. В данном обзоре оценивается разнообразное использование растений и микробов в биотрансформации и удалении тяжёлых металлов из загрязнённой почвы. Представлены механизмы того, как естественные процессы с использованием растений (фиторемедиация) и микроорганизмов (биоремедиация) удаляют или снижают содержание тяжёлых металлов в почве на различных уровнях. В данном обзоре сделан вывод о том, что технологии ремедиации необходимы для восстановления загрязнённых металлами сред и предотвращения постоянного токсического воздействия на окружающую среду живых организмов.

Таким образом, загрязнение, вызванное тяжелыми металлами, является серьезной проблемой для нашей окружающей среды, поскольку высокие уровни воздействия этих металлов имеют вредные последствия для дикой природы, растительности и здоровья человека [15]. Даже в следовых количествах несколько тяжелых металлов,

включая свинец, ртуть, кадмий, цинк, мышьяк и никель, не только обладают канцерогенными свойствами, но и способны вызывать генетические мутации. В этом исследовании было выделено в общей сложности 150 бактерий, из которых 25 были отобраны для вторичного скрининга. После вторичного скрининга пять штаммов были дополнительно обработаны на основе их максимального уровня толерантности. Требуемые местные металлотолерантные бактериальные штаммы были выделены и идентифицированы на основе фенотипической и генотипической характеристики. Фенотипические характеристики и топология филограммы подтверждают, что бактериальный изолят 1LB относится к *Kingella* sp., 2LB – к *Listeria* sp., 3LB – к *Bacillus* sp., 4LB – к *Pseudomonas putida*, а 5LB – к *Cupriavidus necator*. Согласно результатам, полученным при использовании среды LB, все бактериальные изоляты проявили наивысшую устойчивость к различным концентрациям тяжелых металлов: изоляты 1LB и 4LB – к меди (Cu), 2LB и 5LB – к хрому (Cr), а изоляты 3LB – к свинцу (Pb). Таким образом, среда LB была использована для оптимизации процесса биоремедиации. При биоремедиации почв, загрязнённых тяжёлыми металлами, максимальная эффективность удаления составила 83,80% для штамма бактерий 4LB для Pb, 90,49% для штамма бактерий 5LB для Cu и 81,87% для штаммов бактерий 1LB и 2LB для Cr на среде YPG.

Таким образом, полученные результаты свидетельствуют о возможности использования местных штаммов бактерий, устойчивых к тяжёлым металлам, для биологической ремедиации почв, загрязнённых тяжёлыми металлами, что является наиболее эффективным, экономичным и экологически безопасным подходом в качестве альтернативы традиционным методам.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Yadav N., Dabas V., Sharma J. Microbial and phytoremediation of heavy metals from aquatic ecosystem: an initiative for sustainable environment // Journal of Pure and Applied Microbiology. – 2024. – Vol. 18. – N 2. – pp. 31-39.
2. Jin T., Chenning Sh., Wang P., Jinpeng L. A review of bioremediation techniques for heavy metals pollution in soil // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. – 2021. – Vol. 687. – N 1. – p. 012012.
3. Anuoluwa I. A., Boluwatife A., Ololade Z., Ajingunna A. Bioremediation of heavy metal contaminated soils in Sub-Saharan Africa: implications for food safety and public health nutrition // World Nutrition. – 2025. – Vol. 16. – N 1. – pp. 49-76.

-
4. Diels L., De Smet M., Hooyberghs L., Kinnear L. Bioremediation of soils contaminated by heavy metals with a biometal sludge reactor (BMSR) // *Contaminated Soil*. – 2000. – pp. 182-187.
 5. Abdelhafeez I. A., El-Tohamy S. A., Mokhtar A. M., Abdel-Raheem A. S. A review on green remediation techniques for hydrocarbons and heavy metals contaminated soil // *Current Chemistry Letters*. – 2022. – Vol. 11. – N 1. – pp. 43-62.
 6. Das K., Sarker A., Al-Masud A. M., Ding Sh. Harnessing plant-microorganism interactions for nano-bioremediation of heavy metals: cutting-edge advances and mechanisms // *Plant Trends*. – 2025. – Vol. 3. – N 1. – pp. 1-12.
 7. Hou D., O'Connor D., Igalavithana A. D., Alessi D. S. Metal contamination and bioremediation of agricultural soils for food safety and sustainability // *Nature Reviews Earth & Environment*. – 2020. – Vol. 1. – N 7. – pp. 366-381.
 8. Kulshreshtha A., Agrawal R., Barar M., Saxena Sh. A review on bioremediation of heavy metals in contaminated water // *IOSR Journal of Environmental Science, Toxicology and Food Technology*. – 2014. – Vol. 8. – N 7. – pp. 44-50.
 9. Borozan A. B., Bordean D.-M., Pojana M.-A., Alexa E., Caba I. L. Soil pollution with heavy metals and bioremediation methods // *Agrolife Scientific Journal*. – 2021. – Vol. 10. – N 1. – pp. 52-57.
 10. Marques A. P. G. C., Rangel A. O. S. S., Castro P. M. L. Remediation of heavy metal contaminated soils: phytoremediation as a potentially promising clean-up technology // *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*. – 2009. – Vol. 39. – N 8. – pp. 622-654.
 11. Kuvukina M., Krivoruchko A. V., Ivshina I. B. Hydrocarbon- and metal-polluted soil bioremediation: progress and challenges // *Microbiology Australia*. – 2018. – Vol. 39. – N 3. – pp. 141-147.
 12. Paul Q., Jasu A., Lahiri D., Nag M. In situ and ex situ bioremediation of heavy metals: the present scenario // *Journal of Environmental Engineering and Landscape Management*. – 2021. – Vol. 29. – N 4. – pp. 454-469.
 13. Chen M., Piao X., Zeng G., Yang Ch. Bioremediation of soils contaminated with polycyclic aromatic hydrocarbons, petroleum, pesticides, chlorophenols and heavy metals by composting: applications, microbes and future research needs // *Biotechnology Advances*. – 2015. – Vol. 33. – N 6. – pp. 745-755.
 14. Emenike C. U., Jayanthi B., Agamuthu P., Fauziah S. H. Biotransformation and removal of heavy metals: a review of phytoremediation and microbial remediation assessment on contaminated soil // *Canadian Science of Environmental Reviews*. – 2018. – Vol. 26. – N 2. – pp. 121-127.

15. Tawafali A., Mujaddad R., Aziz T. Bioremediation of heavy metals contaminated soil by using indigenous metallotolerant bacterial isolates // Applied Ecology and Environmental Research. – 2024. – Vol. 22. – N 2. – pp. 1648-1665.

REFERENCES

1. Yadav N., Dabas V., Sharma J. Microbial and phytoremediation of heavy metals from aquatic ecosystem: an initiative for sustainable environment // Journal of Pure and Applied Microbiology. – 2024. – Vol. 18. – N 2. – pp. 31-39.
2. Jin T., Chennig Sh., Wang P., Jinpeng L. A review of bioremediation techniques for heavy metals pollution in soil // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. – 2021. – Vol. 687. – N 1. – p. 012012.
3. Anuoluwa I. A., Boluwative A., Ololade Z., Ajingunna A. Bioremediation of heavy metal contaminated soils in Sub-Saharan Africa: implications for food safety and public health nutrition // World Nutrition. – 2025. – Vol. 16. – N 1. – pp. 49-76.
4. Diels L., De Smet M., Hooyberghs L., Kinnear L. Bioremediation of soils contaminated by heavy metals with a biometal sludge reactor (BMSR) // Contaminated Soil. – 2000. – pp. 182-187.
5. Abdelhafeez I. A., El-Tohamy S. A., Mokhtar A. M., Abdel-Raheem A. S. A review on green remediation techniques for hydrocarbons and heavy metals contaminated soil // Current Chemistry Letters. – 2022. – Vol. 11. – N 1. – pp. 43-62.
6. Das K., Sarker A., Al-Masud A. M., Ding Sh. Harnessing plant-microorganism interactions for nano-bioremediation of heavy metals: cutting-edge advances and mechanisms // Plant Trends. – 2025. – Vol. 3. – N 1. – pp. 1-12.
7. Hou D., O'Connor D., Igalavithana A. D., Alessi D. S. Metal contamination and bioremediation of agricultural soils for food safety and sustainability // Nature Reviews Earth & Environment. – 2020. – Vol. 1. – N 7. – pp. 366-381.
8. Kulshreshtha A., Agrawal R., Barar M., Saxena Sh. A review on bioremediation of heavy metals in contaminated water // IOSR Journal of Environmental Science, Toxicology and Food Technology. – 2014. – Vol. 8. – N 7. – pp. 44-50.
9. Borozan A. B., Bordean D.-M., Pojana M.-A., Alexa E., Caba I. L. Soil pollution with heavy metals and bioremediation methods // Agrolife Scientific Journal. – 2021. – Vol. 10. – N 1. – pp. 52-57.
10. Marques A. P. G. C., Rangel A. O. S. S., Castro P. M. L. Remediation of heavy metal contaminated soils: phytoremediation as a potentially promising clean-up technology // Critical Reviews in

Environmental Science and Technology. – 2009. – Vol. 39. – N 8. – pp. 622-654.

11. Kuvukina M., Krivoruchko A. V., Ivshina I. B. Hydrocarbon- and metal-polluted soil bioremediation: progress and challenges // Microbiology Australia. – 2018. – Vol. 39. – N 3. – pp. 141-147.

12. Paul Q., Jasu A., Lahiri D., Nag M. In situ and ex situ bioremediation of heavy metals: the present scenario // Journal of Environmental Engineering and Landscape Management. – 2021. – Vol. 29. – N 4. – pp. 454-469.

13. Chen M., Piao X., Zeng G., Yang Ch. Bioremediation of soils contaminated with polycyclic aromatic hydrocarbons, petroleum, pesticides, chlorophenols and heavy metals by composting: applications, microbes and future research needs // Biotechnology Advances. – 2015. – Vol. 33. – N 6. – pp. 745-755.

14. Emenike C. U., Jayanthi B., Agamuthu P., Fauziah S. H. Biotransformation and removal of heavy metals: a review of phytoremediation and microbial remediation assessment on contaminated soil // Canadian Science of Environmental Reviews. – 2018. – Vol. 26. – N 2. – pp. 121-127.

15. Tawafali A., Mujaddad R., Aziz T. Bioremediation of heavy metals contaminated soil by using indigenous metallotolerant bacterial isolates // Applied Ecology and Environmental Research. – 2024. – Vol. 22. – N 2. – pp. 1648-1665.

Информация об авторах

П.Ш. Мамедова – доктор химических наук, зав. лаборатории «Смазочно-охлаждающие жидкости» ИХП МНО Азербайджана;
Э.Р. Бабаев – кандидат химических наук, в.н.с. лаборатории «Защитные органические соединения» ИХП МНО Азербайджана;

К.Р. Каҳраманова – докторант лаборатории «Смазочно-охлаждающие жидкости» ИХП МНО Азербайджана;

А.Э. Алмамедова – н.с. лаборатории «Смазочно-охлаждающие жидкости» ИХП МНО Азербайджана;

Т.М. Ибрагимова – н.с. лаборатории «Смазочно-охлаждающие жидкости» ИХП Азербайджана;

Ф.Г. Мушигагова – докторант, Государственная нефтяная компания Азербайджанской Республики.

Information about the author

P.Sh. Mammadova – doctor of Chemical Sciences, head of the "Cutting Fluids" Laboratory, Institute of Chemistry of Additives, Ministry of Education of Azerbaijan;

E.R. Babayev – candidate of Chemical Sciences, leading Researcher, "Protective Organic Compounds" Laboratory, Institute of Chemical Compounds, Ministry of Education of Azerbaijan;

K.R. Kahramanova – doctorant, "Cutting Fluids" Laboratory, Institute of Chemistry of Additives, Ministry of Education of Azerbaijan;

A.E. Almammadova – researcher, "Cutting Fluids" Laboratory, Institute of Chemistry of Additives, Ministry of Education of Azerbaijan;

T.M. Ibrahimova – researcher, "Cutting Fluids" Laboratory, Institute of Chemistry of Additives, Ministry of Education of Azerbaijan

F.Q. Mushtagova – doctorant, State Oil Company of the Republic of Azerbaijan.

*Статья поступила в редакцию 16.11.2025; принята к публикации 10.12.2025.
The article was submitted 16.11.2025; accepted for publication 10.12.2025.*

ХИМИЧЕСКИЕ НАУКИ

Научная статья

УДК 547.541.3

DOI 10.21510/3034-266X-2025-4-105-117

ПРИМЕНЕНИЕ ФЕНОЛЬНЫХ СОЕДИНЕНИЙ В КАЧЕСТВЕ РЕГУЛЯТОРОВ РОСТА РАСТЕНИЙ

*Мехрибан Видади гызы Нагиева¹, Чингиз Князь оглу Расулов²,
Кенуль Ширзад гызы Алиева³, Гюнай Заман гызы Гейдарли⁴
^{1,2,3,4}Институт нефтехимических процессов Министерства
науки и образования Азербайджана, Баку
mehri.nagieva@mail.ru*

Аннотация. В представленной работе показана роль фенольных соединений в процессах жизнедеятельности растительных организмов. Они способны оказывать содействие растениям в преодолении различных стрессовых явлений, а также могут выполнять целый ряд других биологически важных функций. Нами рассмотрены наиболее основные области применения фенольных соединений в качестве фитогормонов

Ключевые слова: фитогормоны, фенольные соединения, флаваноиды, регуляторы роста растений, фитостимуляторы

Для цитирования: Нагиева М.В., Расулов Ч.К., Алиева К.Ш., Гейдарли Г.З. Применение фенольных соединений в качестве регуляторов роста растений // Вестник Башкирского государственного педагогического университета им. М.Акмуллы. Серия: Естественные науки. 2025. № 4. С. 105-117.

CHEMICAL SCIENCES

Original article

APPLICATION OF PHENOLIC COMPOUNDS AS PLANT GROWTH REGULATORS

*Mehriban Vidadi Naghiyeva¹, Rasulov Chingiz Qnyaz², Kenul Shirzad Aliyeva³, Gunay Zaman Heydarli⁴
^{1,2,3,4}Institute of Petrochemical Processes of the Ministry of Science
and Education of Azerbaijan, Baku
mehri.nagieva@mail.ru*

Abstract. This paper demonstrates the role of phenolic compounds in plant life processes. They can assist plants in overcoming various stressful

conditions and can also perform a number of other biologically important functions. We review the most important applications of phenolic compounds as phytohormones.

Keywords: phytohormones, phenolic compounds, flavonoids, plant growth regulators, phytostimulants

For citing: Naghiyeva M.V., Rasulov Ch.Q., Aliyeva K.Sh., Heydarli G.Z. Application of phenolic compounds as plant growth regulators // Bulletin of Bashkir State Pedagogical University named after M. Akmully. Series: Natural Sciences. 2025. №4. pp. 105-117.

Фенольные соединения играют важную роль в развитии растений, особенно в биосинтезе лигнина и пигментов. Они также обеспечивают структурную целостность и поддержку каркаса растений. Растительные фенольные соединения могут действовать как антиоксиданты, структурные полимеры лигнин, атTRACTАНты флавоноиды и каротиноиды, УФ-экраны флавоноиды и сигнальные соединения салициловая кислота и флавоноиды и защитные вещества танины и фитоалексины. Какао, картофель, ямс, томаты, капуста кале, брюссельская капуста, брокколи и другие темно-зеленые листовые и ярко окрашенные овощи, а также бобовые и злаки, в дополнение к специям и фруктам, таким как вишня и цитрусовые, особенно богаты фенольными соединениями. Некоторые фенольные соединения, такие как лигнин, обеспечивают структурную поддержку растительных тканей. Экстракция белков фенолом является альтернативой классической экстракции ТХУ-ацетоном. Это позволяет эффективно извлекать белки и удалять небелковые компоненты из растительных тканей, богатых полисахаридами, липидами и фенольными соединениями [1].

Танины – это группа полифенольных соединений, обычно встречающихся в плодах, семенах, коре и листьях. Они подразделяются на гидролизуемые и конденсированные танины. Гидролизуемые танины, такие как галлотанины и эллагитанины, образуются путем этерификации галловой или эллаговой кислоты несколькими молекулами сахара. Конденсированные танины, также известные как проантокинидины, представляют собой полимеры флаван-3-олов. Лигнин – это сложный фенольный полимер, который укрепляет клеточные стенки, позволяя растениям расти вертикально и обеспечивая механическую поддержку. Фенольные соединения служат естественными защитными агентами от патогенов, включая бактерии, грибки и вирусы. Они могут подавлять рост и распространение патогенов, действуя как антимикробные агенты. Фенолы также способствуют формированию физических барьеров и каллусных тканей в месте заражения, ограничивая распространение патогенов.

Растения подвергаются воздействию вредного ультрафиолетового (УФ) излучения солнечного света. Фенольные соединения, такие как флавоноиды, действуют как естественные солнцезащитные экраны, поглощая УФ-излучение и защищая генетический материал растения и фотосинтетический аппарат от повреждений. Фенольные соединения обладают сильными антиоксидантными свойствами, помогая растениям бороться с окислительным стрессом. Они нейтрализуют активные формы кислорода (АФК), образующиеся в ходе различных клеточных процессов, и предотвращают окислительное повреждение клеточных мембран, белков и ДНК. Фенольные соединения могут влиять на рост и развитие соседних растений, оказывая аллелопатическое действие. Некоторые фенолы, выделяемые одним растением, могут подавлять рост соседних растений, снижая конкуренцию за такие ресурсы, как вода, питательные вещества и свет. Некоторые фенольные соединения, особенно флавоноиды, участвуют в пигментации цветков и образовании аромата. Эти соединения привлекают опылителей, таких как пчелы и бабочки, предоставляя визуальные и обонятельные сигналы, тем самым усиливая опыление и обеспечивая репродуктивный успех. Фенольные соединения синтезируются в ответ на различные стрессовые воздействия окружающей среды, включая засуху, засоление, экстремальные температуры и токсичность тяжелых металлов. Они помогают растениям справляться с этими стрессами, регулируя физиологические процессы, нейтрализуя свободные радикалы и стабилизируя клеточные мембранны. Некоторые фенольные соединения, такие как ауксины, играют роль в регуляции роста и развития растений. Ауксины контролируют удлинение клеток, образование корней и апикальное доминирование, влияя на различные аспекты архитектуры растений. Химический состав и содержание растительных фенолов могут значительно различаться в зависимости от вида растения, части растения, условий выращивания и стадии зрелости. Различные растения могут содержать комбинацию этих подклассов, и конкретные присутствующие фенольные соединения могут существенно различаться.

Столовый виноград – один из самых потребляемых фруктов в мире, а также один из основных источников фенольных соединений и антиоксидантов [2]. Регуляторы роста растений (РРР) используются для винограда, чтобы увеличить его размер, улучшить качество и ускорить срок сбора урожая. Целью данной работы было определить влияние применения регуляторов роста растений на общее содержание фенолов (ОСФ) и антиоксидантную активность (АС) винограда сорта «Ред Глоб». Для данного эксперимента был использован полностью случайный блочный дизайн с 3 вариантами обработки (Ethrel®, Maxi-grow®, Ethrel® + Maxi-Grow®) и контрольный вариант с 5 блоками;

таким образом, каждый образец представлял собой 1/60 экспериментальной единицы. Значимые различия ($p\leq 0,05$) наблюдались в содержании растворимых сухих веществ, титруемой кислотности, общем содержании фенолов и антиоксидантной активности при использовании методов с 2,2-дифенил-1-пикрилгидразилом (DPPH) и 2,2-азино-бис-3-этилбензотиазолин-6-сульфоновой кислотой (ABTS⁺) в зависимости от

регуляторов роста. Значимые различия ($p\leq 0,05$) также были обнаружены между блоками для той же обработки по анализируемым параметрам, за исключением содержания воды. Наибольшее среднее значение общего содержания фенолов было обнаружено при использовании Ethrel® (124,5 мг эквивалентов галловой кислоты на 100 g^{-1}), тогда как контроль показал наибольшую антиоксидантную активность (63,8 и 22,2 ммоль эквивалента антиоксидантной активности Trolox на 100 g^{-1} при использовании методов ABTS⁺ и DPPH соответственно).

Целью исследования [3] было определить влияние антиоксидантной обработки, регуляторов роста растений (PPP) и ранения эксплантов в культуре тканей с участием *Strelitzia reginae* на общее выделение фенолов. Результаты показали, что различные концентрации 1-нафтилуксусной кислоты (НУК) и 6-бензиламинопурина (БАП) значительно влияли на выделение фенолов. Среда, содержащая самую высокую концентрацию регуляторов роста растений (то есть 0,5 мг/л НУК и 6 мг/л БАП), обеспечивала наибольшее содержание фенолов. В то время как контрольная среда (обработка без регуляторов роста растений) содержала наименьшее содержание фенолов. Было обнаружено, что активированный уголь (АУ) значительно снижал общее содержание фенолов в среде на 53% по сравнению с аскорбиновой кислотой (АК). Кроме того, ранение эксплантов значительно увеличивало выделение фенолов. Взаимодействие более высоких концентраций 1-нафтилуксусной кислоты и 6-бензиламинопурина с аскорбиновой кислотой значительно увеличивало общее содержание фенолов в среде. Аналогичный результат был достигнут при взаимодействии более высоких концентраций регуляторов роста растений и поранения эксплантов. Взаимодействие антиоксидантов, обработки ран и концентраций регуляторов роста растений привело к тому, что активированный уголь значительно снижал общее содержание фенолов во всех концентрациях регуляторов роста растений как в пораненных, так и в непораненных эксплантах.

Исследование [4] было проведено с целью изучения влияния фитогормонов (ИУК и БАП) и элиситора метилжасмоната на каллогенезный потенциал эксплантов листьев *Teucrium polium*, а также на содержание некоторых фенольных соединений (суммарных

фенолов, о-дифенолов, фенольных кислот, флавоноидов и флавонов) и их антиоксидантную активность. Листовые экспланты были получены из гидропонных растений, культивируемых на среде MS с раздельными и комбинированными концентрациями ИУК (0,1, 0,5 и 1 мг/л) и БАП (0,5, 1 и 1,5 мг/л). Обработки с наибольшим процентом каллогенеза, а также сырой и сухой массой были выбраны в качестве наилучших гормональных условий для оценки влияния метилжасмоната (50, 100 и 200 мкМ) на фенольные производные. Через восемь недель после формирования каллуса измеряли содержание различных фенольных соединений и антиоксидантную активность экстрактов (на основе анализов DPPH и FRAP). Хотя при всех гормональных обработках наблюдался более высокий процент каллогенеза по сравнению с контрольной группой, условия «IAA0,1 + BAP1» и «IAA1 + BAP1,5» мг/л обеспечивали 100% индукцию каллуса. Наибольшая сырая и сухая масса каллусов наблюдалась при комбинированной обработке «IAA0,1 + BAP0,5», «IAA0,1 + BAP1», «IAA1 + BAP0,5» и «IAA1 + BAP1,5» мг/л. Результаты второй части эксперимента показали, что наибольшее количество фенольных соединений и всех их производных, за исключением о-дифенола, наблюдалось при обработке 50 мкМ метилжасмоната во всех гормональных обработках. Также наблюдалась сильная корреляция между антиоксидантным потенциалом DPPH ($r_2 = -0,735$) и FRAP ($r_2 = 0,876$) и содержанием фенольных соединений. Следовательно, метилжасмонат, как мощный элиситор, может усиливать синтез фенольных производных и антиоксидантную активность в каллюсах дубровника. Таким образом, данный метод может быть эффективным для получения лекарственных фенольных соединений.

Галловая кислота содержится в тканях растений в свободном виде, а также в составе сложных эфиров и гидролизуемых танинов [5]. Эти фенольные соединения обладают значительной антиоксидантной активностью и защищают растительные клетки от повреждения свободными радикалами. В условиях стресса, возникающего при введении растений в культуру *in vitro*, подавляющее большинство эксплантов характеризуется интенсивным синтезом фенолов, которые быстро окисляются, полимеризуются, блокируют пути питания эксплантов и вызывают некроз тканей. Добавление галловой кислоты в миллимолярных концентрациях в питательную среду снижает риск аутоокисления тканей вторичными продуктами метаболизма. Целью данного исследования было изучение влияния экзогенной галловой кислоты на органогенез и синтез фенолов растений *Salix alba* и *Corylus avellana* *in vitro*. Для этого были использованы методы культивирования тканей и органов *in vitro*, спектрофотометрическое определение суммы фенолов и флавоноидов в листьях, методы дисперсионного и непараметрического анализа.

Установлено, что галловая кислота в концентрации 1 ммоль/л в составе питательной среды DKW вызывала пробуждение спящих почек, стимулировала рост побегов, а также способствовала ветвлению стеблей, развитию и росту боковых корней *Salix alba* *in vitro*. Она также ингибировала синтез фенолов у растений *Corylus avellana* сортов ‘*Tonda Romana*’, ‘*Tonda Gentile Dele Lange*’, ‘*Barcelona*’, способствуя при этом повышению содержания фенольных соединений в листьях сортов ‘*Tonda Di Giffoni*’, ‘*Mortarella*’ и ‘*Epsilon*’. Установлено, что сорта, рекомендуемые для плодоношения, имеют более высокое содержание фенольных соединений (‘*Tonda Gentile Dele Lange*’ и ‘*Tonda Di Giffoni*’) по сравнению с сортами-опылителями (‘*Mortarella*’). Следовательно, экзогенная галловая кислота в концентрации 1 ммоль/л обладает свойствами неспецифического регулятора синтеза фенолов у регенерирующих растений лещины (*Corylus avellana*), что актуально для растений с высоким содержанием фенолов, особенно на этапе введения их в культуру *in vitro*.

Пять фенольных соединений, метиловый эфир 4-гидроксибензойной кислоты (1), метиловый эфир ванилиновой кислоты (2), 4-гидроксибензальдегид (3), 4-гидроксибензойная кислота (4) и феруловая кислота (5), а также четыре флавоноида, 5,5'-дигидрокси-4',6,7- trimetoksi flavanon (6), лютеолин (7), витексикарпин (8) и артеметин (9), были выделены из плодов и листьев *Vitex rotundifolia* L. Биологическая активность этих девяти соединений была исследована с помощью биопробы с рассадой салата [6].

Растения *Humulus lupulus* L. являются богатым источником биологически активных соединений [7]. Синтез биологически активных соединений в растениях часто запускается активацией вторичного метаболизма, который может быть вызван биотическими или абиотическими элиситорами. *In vitro* действие элиситоров можно изучать в контролируемой среде и в небольшом пространстве, независимо от сезонных колебаний. Цитокинины часто используются в культуре растительных тканей для регенерации почек, ветвления и удлинения побегов благодаря их роли в стимуляции деления клеток. Целью данного исследования было изучение влияния различных цитокининов на параметры роста, общее содержание (поли)фенолов и антиоксидантную активность растений хмеля, выращенных *in vitro*, для оценки биомассы хмеля, полученной *in vitro*, как потенциального источника биологически активных соединений. Экспланты унимодального хмеля (сорта *Cascade* и *Columbus*) культивировали на средах, обогащённых четырьмя цитокининами (кинетином, 6-бензиламинопурином, метатополином и 6-(γ , γ -диметилаллиламино)-пурином) в четырёх концентрациях. Обнаружена генотип-зависимая реакция на различные цитокинины. Экспланты сорта *Columbus* могли укореняться на питательных средах без ауксина, что открывает ценные

возможности для коммерческого питомниководства. Более того, было подтверждено, что цитокинины являются ценными элиситёрами, стимулирующими биосинтез биологически активных соединений в микроразмноженных растениях хмеля, что делает их ценным источником для различных отраслей промышленности.

Культивирование растения *Nigella arvensis L.* проводили на среде MS, дополненной различными концентрациями ауксинов и цитокининов [8]. Среды, обогащенные различными концентрациями (0,0, 0,5, 1,0 и 1,5 мг/л) 2, 4-Д, НУК или ИМК в сочетании с кинетином или БАП (1,5 мг/л и 2 мг/л), использовали для индукции и роста каллуса в присутствии и в отсутствие света. Экспериментальный дизайн был выполнен как рандомизированный блочно-факториальный план с тремя повторениями. После культивирования каллуса оценивали активность антиоксидантных ферментов и общее содержание фенолов. Максимальная индукция каллуса (80,9%) была получена при 1,0 мг/л 2, 4-Д и 1,5 мг/л/кинетина в присутствии света. Комбинация и концентрация регуляторов роста растений, а также фотопериод влияли на активность антиоксидантных ферментов. Наибольшая активность каталазы и пероксидазы, а также общее содержание фенолов наблюдалась на средах с комбинациями БАП. Напротив, активность супероксиддисмутазы была наименьшей во всех комбинациях БАП. В целом свет усиливал активность ферментов, но отрицательно влиял на общее содержание фенолов.

В обзоре [9] рассматривается роль эндогенных фенольных соединений в воздействии на различные аспекты роста и развития растений. Большинство таких соединений, как было установлено, обладают ингибирующим действием, но реакция может варьироваться в зависимости как от типа ткани, так и от концентрации соединения. Например, салициловая кислота может ингибировать рост побегов, одновременно стимулируя корнеобразование и, у некоторых видов, цветение. Предполагается, что эти эффекты обусловлены влиянием фенольных соединений на уровень индолил-3-этановой кислоты в тканях, однако механизм этого влияния неясен.

Опубликовано множество сообщений о наличии, выделении и характеристике фенольных соединений в системах «растение–почва» [10]. Низкомолекулярные фенолы представляют большой интерес благодаря своим аллелопатически активным свойствам и регуляторам роста растений, и традиционно рассматриваются как защитные молекулы при взаимодействии растений с патогенами. В последнее время стала очевидной их роль как сигнальных молекул в системах «растение–микроб». Специфические молекулы могут действовать либо как индукторы вирулентных генов в системах «растение–патоген», таких как *Agrobacterium*, либо как индукторы и «репрессоры» в симбиозе *Rhizobium–legume* и, вероятно, в других симбиозах. В

данном обзоре обсуждается общая регуляторная роль этих соединений в совместимых и несовместимых взаимодействиях хозяин–микроб.

Существует острая необходимость в новом устойчивом способе удовлетворения растущего спроса на продовольствие во всем мире [11]. Одной из основных задач является замена химических удобрений биоудобрениями, в состав которых входят полезные микроорганизмы, ассоциированные с корнями растений. В настоящем исследовании впервые сообщается о влиянии бактериального штамма *SCCPVE07* на улучшение не только развития растений, но и содержания питательных веществ и биологически активных соединений в *Coriandrum sativum L.*, одной из наиболее экономически важных сельскохозяйственных культур, даже при выращивании растений в условиях засоления. У инокулированных растений кoriандра (*C. sativum L.*) наблюдалось увеличение содержания калия, углерода, кальция и железа. Также наблюдалось значительное улучшение содержания фенольных соединений. Содержание 5-О-кофеилхинной кислоты, коричной кислоты, гексозида 4-метоксикоричной кислоты, рутинозида К-3-О, рутинозида Q-3-О, глюкозида Q-3-О и глюкуронида Q-3-О было значительно повышенено. Кроме того, была продемонстрирована эффективная бактериальная колонизация корней и выраженная стимуляция роста. Бактериальный геном был секвенирован и проанализирован. Были идентифицированы гены, кодирующие механизмы стимуляции роста растений (PGP), и белки, участвующие в защите растений от засоления или в метаболизме фенольных соединений, таких как кверцетин-2,3-диоксигеназа и декарбоксилаза фенольной кислоты. Результаты, полученные в настоящем исследовании, впервые демонстрируют благоприятное влияние инокуляции бактериальным биоудобрением *Bacillus halotolerans* на посевы кoriандра в отношении повышения содержания биологически активных соединений и развития растений.

Активность нитратредуктазы *in vivo* в корневых клубеньках *V. radiata* сорта SML-32 увеличивалась под действием ГКЗ, ИУК, БК, салициловой и хлорогеновой кислот; в отсутствие экзогенного нитрата (0,5 М) это увеличение было менее значимым [12]. В присутствии экзогенного нитрата 5 и 10 мМ альфа-кетоглутарата, сукцината и малата увеличивали активность нитратредуктазы. В отсутствие нитрата активность фермента увеличивал только малат. ИУК, ГКЗ и БК в сочетании с глюкозой оказывали антагонистическое действие на активность нитратредуктазы как в присутствии, так и в отсутствие экзогенного нитрата.

Влияние метилжасмоната (MeJA), спермина (Spm), эпибрассинолида (EBL) и L-фенилаланина на базилик душистый (*Ocimum basilicum L.*) изучалось для определения количества фенольных соединений и ферментативной активности

фенилаланиновой аммиачнолиазы (PAL) [13]. Общее содержание фенольных соединений и флавоноидов в базилике душистом определялось спектрофотометром, а отдельные фенольные соединения и активность PAL анализировались методом ВЭЖХ/УФ. Наибольшее общее содержание фенольных соединений (6,72 мг GAE/г) и флавоноидов (0,92 мг QE/г) было получено при обработке 1,0 мМ Spm + MeJA. Содержание розмариновой кислоты (RA) и кофейной кислоты значительно увеличилось после обработки, но таких различий не наблюдалось в содержании цикориевой кислоты или активности PAL. RA была основной фенольной кислотой во всех образцах, и ее концентрация варьировалась от 1,04 до 2,70 мг/г сырой массы. В результате комбинации Spm + MeJA и EBL + MeJA могут эффективно индуцировать вторичные метаболиты, и эти взаимодействия играют важную роль в производстве фитохимических веществ в растениях.

Исследования в области применения фенолсодержащих соединений в качестве фиторегуляторов также рассматривались в работах [14-18].

Таким образом, фенольные соединения являются перспективными фиторегуляторами для растительных организмов, осуществляя в них ряд важных биологических функций.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Wilton R. Role of phenols in the development and growth of plants // Journal of Plant Biochemistry and Physiology. – 2023. – Vol. 11. – N 2. – pp. 2191-2197.
2. Franco-Bañuelos A., Hernandez-Trujillo S., Contreras-Martinez C.S., Carranza-Tellez J. Use of growth regulators on the total phenolic content and the antioxidant capacity of Red Globe grape // Agrociencia. – 2019. – Vol. 53. – N 1. – pp. 881-894.
3. North J. J., Ndakidemi P. A., Laubscher C. P. Effects of antioxidants, plant growth regulators and wounding on phenolic compound excretion during micropropagation of *Strelitzia reginae* // International Journal of the Physical Sciences. – 2012. – Vol. 7. – N 4. – pp. 638-646.
4. Mohammadzadeh Z., Cheniany M., Samiei L. Effect of methyl jasmonate, IAA and BAP on calllogenesis potential, content of some phenolic compounds and antioxidant capacity of *Teucrium polium* L. // Plant Process and Function. – 2021. – Vol. 10. – N 45. – pp. 17-25.
5. Likhanov A., Klividadenko A., Subin O., Shevchuk M. Gallic acid as a non-specific regulator of phenol synthesis and growth of regenerate plants of *Corylus avellana* (L.) H. Karst. and *Salix alba* L. in vitro // Ukrainian Journal of Forest and Wood Science. – 2022. – Vol. 13. – N 4. – pp. 52-64.
6. Yoshioka T., Inokuchi T., Fujioka S., Kimura Y. Phenolic compounds and flavonoids as plant growth regulators from fruit and leaf of

Vitex rotundifolia // Zeitschrift für Naturforschung C. – 2004. – Vol. 59. – N 7-8. – pp. 509-514.

7. Leto L., Guerrasi V., Agosti A., Nironi M. Effects of cytokinins on morphogenesis, total (poly)phenolic content and antioxidant capacity of in vitro-cultured hop plantlets, cvs. Cascade and Columbus // Plants. – 2025. – Vol. 14. – N 3. – pp. 418-432.

8. Dekami A., Sanjarian F., Chaichi M., Hosseini B. Effect of plant growth regulators and light on callus induction, antioxidant enzyme response and total phenol in *Nigella arvensis* L. // Journal of Medicinal Plants and By-products. – 2023. – Vol. 12. – N 1. – pp. 47-56.

9. Doberski J. Simple phenolic compounds and the growth of plants: a short review // Journal of Biological Education. – 1986. – Vol. 20. – N 2. – pp. 96-98.

10. Siqueira J. O., Nair M. G., Hammerschmidt R., Safir G. R. Significance of phenolic compounds in plant-soil-microbial systems // Critical Reviews in Plant Sciences. – 1991. – Vol. 10. – N 1. – pp. 63-121.

11. Jimenez-Gomez A., Garcia-Estevez I., Garcia-Fraile P., Escribano-Bailon M. T. Increase in phenolic compounds of *Coriandrum sativum* L. after the application of a *Bacillus halotolerans* biofertilizer // Journal of the Science of Food and Agriculture. – 2020. – Vol. 100. – N 6. – pp. 2742-2749.

12. Sekhon B. S., Kumar S., Atwal S., Singh A. R. Effect of plant growth hormones and phenolic acids on nitrate reductase activity in moong (*Vigna radiata*) nodules // New trends in plant physiology: proceedings of national symposium on growth and differentiation in plants. – 1991. – pp. 223-226.

13. Koca N., Karaman S. The effects of plant growth regulators and L-phenylalanine on phenolic compounds of sweet basil // Food Chemistry. – 2015. – Vol. 166. – pp. 515-521.

14. Tukey L. D. Plant growth regulator absorption through roots // Acta Horticulturae. – 1986. – Vol. 179. – pp. 199-206.

15. Shen N., Chen Z., Wang S., Zhang M. *Chaetomium globosum* from *Alisma orientale* (Sam.) Juzep. enhances the antioxidative stress capacity of *Caenorhabditis elegans* // Biochemistry, Biophysics and Molecular Biology. – 2025. – N 8. – pp. 19827-19836.

16. Jafarpour E., Kheiry A., Sanikhani M., Razavi F. Enhancing morpho-phytochemical properties of *Catharanthus roseus* L. var. ‘Ocellatus’ via plant growth regulators // Horticultural Sciences. – 2025. – Vol. 12. – N 3. – pp. 693-706.

17. Collagi S. G., Lokesha R., Dharmapal R., Sathish B. R. Effects of growth regulators on growth, yield and quality of fruit crops: A review // Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry. – 2019. – Vol. 8. – N 4. – pp. 979-981.

REFERENCES

1. Wilton R. Role of phenols in the development and growth of plants // *Journal of Plant Biochemistry and Physiology*. – 2023. – Vol. 11. – N 2. – pp. 2191-2197.
2. Franco-Bañuelos A., Hernandez-Trujillo S., Contreras-Martinez C.S., Carranza-Tellez J. Use of growth regulators on the total phenolic content and the antioxidant capacity of Red Globe grape // *Agrociencia*. – 2019. – Vol. 53. – N 1. – pp. 881-894.
3. North J. J., Ndakidemi P. A., Laubscher C. P. Effects of antioxidants, plant growth regulators and wounding on phenolic compound excretion during micropropagation of *Strelitzia reginae* // *International Journal of the Physical Sciences*. – 2012. – Vol. 7. – N 4. – pp. 638-646.
4. Mohammadzadeh Z., Cheniany M., Samiei L. Effect of methyl jasmonate, IAA and BAP on callogenesis potential, content of some phenolic compounds and antioxidant capacity of *Teucrium polium* L. // *Plant Process and Function*. – 2021. – Vol. 10. – N 45. – pp. 17-25.
5. Likhmanov A., Kluivadenko A., Subin O., Shevchuk M. Gallic acid as a non-specific regulator of phenol synthesis and growth of regenerate plants of *Corylus avellana* (L.) H. Karst. and *Salix alba* L. in vitro // *Ukrainian Journal of Forest and Wood Science*. – 2022. – Vol. 13. – N 4. – pp. 52-64.
6. Yoshioka T., Inokuchi T., Fujioka S., Kimura Y. Phenolic compounds and flavonoids as plant growth regulators from fruit and leaf of *Vitex rotundifolia* // *Zeitschrift für Naturforschung C*. – 2004. – Vol. 59. – N 7-8. – pp. 509-514.
7. Leto L., Guerrasi V., Agosti A., Nironi M. Effects of cytokinins on morphogenesis, total (poly)phenolic content and antioxidant capacity of in vitro-cultured hop plantlets, cvs. Cascade and Columbus // *Plants*. – 2025. – Vol. 14. – N 3. – pp. 418-432.
8. Dekami A., Sanjarian F., Chaichi M., Hosseini B. Effect of plant growth regulators and light on callus induction, antioxidant enzyme response and total phenol in *Nigella arvensis* L. // *Journal of Medicinal Plants and By-products*. – 2023. – Vol. 12. – N 1. – pp. 47-56.
9. Doberski J. Simple phenolic compounds and the growth of plants: a short review // *Journal of Biological Education*. – 1986. – Vol. 20. – N 2. – pp. 96-98.
10. Siqueira J. O., Nair M. G., Hammerschmidt R., Safir G. R. Significance of phenolic compounds in plant-soil-microbial systems // *Critical Reviews in Plant Sciences*. – 1991. – Vol. 10. – N 1. – pp. 63-121.
11. Jimenez-Gomez A., Garcia-Estevez I., Garcia-Fraile P., Escribano-Bailon M. T. Increase in phenolic compounds of *Coriandrum sativum* L. after the application of a *Bacillus halotolerans* biofertilizer // *Journal of the Science of Food and Agriculture*. – 2020. – Vol. 100. – N 6. – pp. 2742-2749.

12. Sekhon B. S., Kumar S., Atwal S., Singh A. R. Effect of plant growth hormones and phenolic acids on nitrate reductase activity in moong (*Vigna radiata*) nodules // New trends in plant physiology: proceedings of national symposium on growth and differentiation in plants. – 1991. – pp. 223-226.
13. Koca N., Karaman S. The effects of plant growth regulators and L-phenylalanine on phenolic compounds of sweet basil // Food Chemistry. – 2015. – Vol. 166. – pp. 515-521.
14. Tukey L. D. Plant growth regulator absorption through roots // Acta Horticulturae. – 1986. – Vol. 179. – pp. 199-206.
15. Shen N., Chen Z., Wang S., Zhang M. *Chaetomium globosum* from *Alisma orientale* (Sam.) Juzep. enhances the antioxidative stress capacity of *Caenorhabditis elegans* // Biochemistry, Biophysics and Molecular Biology. – 2025. – N 8. – pp. 19827-19836.
16. Jafarpour E., Kheiry A., Sanikhani M., Razavi F. Enhancing morpho-phytochemical properties of *Catharanthus roseus* L. var. 'Ocellatus' via plant growth regulators // Horticultural Sciences. – 2025. – Vol. 12. – N 3. – pp. 693-706.
17. Collagi S. G., Lokesha R., Dharmapal R., Sathish B. R. Effects of growth regulators on growth, yield and quality of fruit crops: A review // Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry. – 2019. – Vol. 8. – N 4. – pp. 979-981.

Информация об авторах

- Г.З. Гейдарли** – докторант, стар. н. с. лаборатории «Химия и технология циклоалкилфенолов» ИНХП МНО Азербайджана;
- М.В. Нагиева** – кандидат химических наук, в.н.с. лаборатории «Химия и технология циклоалкилфенолов» ИНХП МНО Азербайджана;
- Ч.К. Расулов** – доктор химических наук, профессор, заведующий лаборатории «Химия и технология циклоалкилфенолов» ИНХП МНО Азербайджана;
- К.Ш. Алиева** – докторант, мл. н. с. лаборатории «Химия и технология циклоалкилфенолов» ИНХП МНО Азербайджана.

Information about the author

- G.Z. Heydarli** – doctoral student, leading researcher of laboratory "Chemistry and technology of cycloalkylphenols" IPCP MES of Azerbaijan;
- M.V. Naghiyeva** – candidate of chemical sciences, leading researcher of laboratory "Chemistry and technology of cycloalkylphenols" IPCP MES of Azerbaijan;

Ch.Q. Rasulov – doctor of chemical sciences, professor, head of laboratory "Chemistry and technology of cycloalkylphenols" IPCP MES of Azerbaijan;

K.Sh. Aliyeva – doctoral student, researcher of laboratory "Chemistry and technology of cycloalkylphenols" IPCP MES of Azerbaijan.

*Статья поступила в редакцию 16.11.2025; принята к публикации 11.12.2025.
The article was submitted 16.11.2025; accepted for publication 11.12.2025.*

ХИМИЧЕСКИЕ НАУКИ

Научная статья

УДК 547.541.3

DOI 10.21510/3034-266X-2025-4-118-132

СИНТЕЗ, СВОЙСТВА И ОБЛАСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ГЕМИТЕРПЕНОВ

Елена Александровна Удалова¹, Гюльсум Энвер гызы Гаджиева², Эльдар Гусейнгулу оглу Мамедбейли³

¹*Уфимский Государственный Нефтяной Технический Университет*

^{2,3}*Институт нефтехимических процессов Министерства науки и образования Азербайджана, Баку*

gulsum.mete@mail.ru

Аннотация. Гемитерпены – это подкласс терпенов, состоящих из пяти атомов углерода и обычно имеющих простую структуру, образованную из изопреновых фрагментов. Они служат базовыми строительными блоками для более сложных терпенов и терпеноидов, а их уникальные структурные характеристики способствуют различным биологическим свойствам и функциям в природе. Гемитерпены образуются из одной изопреновой единицы и имеют молекулярную формулу C_5H_8 . Распространенными примерами гемитерпенов являются сам изопрен и некоторые летучие соединения, которые обуславливают запах растений. Гемитерпены могут играть важную роль в метаболизме растений и выступать в качестве предшественников более сложных терпеноидов. Они выполняют различные экологические функции, например, привлекают опылителей или отпугивают травоядных животных благодаря своим ароматическим свойствам. Изучение гемитерпенов может дать представление о биосинтезе более крупных терпеноидов, которые находят широкое применение в фармацевтике и парфюмерии.

Ключевые слова: терпены, гемитерпены, изопрен, мевалонатный путь, биосинтез, биологическая активность.

Для цитирования: Удалова Е.А., Гаджиева Г.Э., Мамедбейли Э.Г. Синтез, свойства и области применения гемитерпенов // Вестник Башкирского государственного педагогического университета им. М.Акмуллы. Серия: Естественные науки. 2025. № 4. С. 118-132.

CHEMICAL SCIENCES

Original article

SYNTHESIS, PROPERTIES AND APPLICATION FIELDS OF HEMITERPENES

Yelena A.Udalova¹, Gulsum E. Hajiyeva², Eldar H.Mammadbayli¹

¹*Ufa State Oil Technical University*

^{2,3}*Institute of Petrochemical Processes of the Ministry of Science
and Education of Azerbaijan, Baku*

gulsum.mete@mail.ru

Abstract. Hemiterpenes are a subclass of terpenes composed of five carbon atoms and typically having a simple structure formed from isoprene units. They serve as basic building blocks for more complex terpenes and terpenoids, and their unique structural characteristics contribute to a variety of biological properties and functions in nature. Hemiterpenes are formed from a single isoprene unit and have the molecular formula C₅H₈. Common examples of hemiterpenes include isoprene itself and certain volatile compounds that contribute to plant odor. Hemiterpenes can play important roles in plant metabolism and act as precursors to more complex terpenoids. They perform various ecological functions, such as attracting pollinators or repelling herbivores through their aromatic properties. The study of hemiterpenes can provide insight into the biosynthesis of larger terpenoids, which are widely used in pharmaceuticals and perfumery.

Key words: terpenes, hemiterpenes, isoprene, mevalonate pathway, biosynthesis, biological activity

For citing: Udalova Y.A., Hajiyeva G.E., Mammadbayli E.H. Synthesis, properties and application fields of hemiterpenes // Bulletin of Bashkir State Pedagogical University named after M. Akmully. Series: Natural Sciences. 2025. №4. pp. 118-132.

Гемитерпены представляют собой простейшие терпены, являющиеся производными от одного изопренового фрагмента. Эти соединения синтезируются в растениях через мевалонатный (МВА) или метилэрритолфосфатный (МЭП) пути, а также могут быть получены синтетически такими методами, как кислотно-основная реакция с последующим нуклеофильным замещением пренилбромида. Они являются важнейшими строительными блоками для более крупных терпеноидов и применяются в промышленности для создания фармацевтических препаратов, синтетических ароматизаторов и, возможно, биотоплива и каучука, используя свою роль в защите растений, привлечении опылителей и в качестве предшественников сложных терпенов с разнообразной биологической активностью. В

растениях гемитерпены образуются из предшественников изопентенилдифосфата (ИПП) и диметилаллилдифосфата (ДМЭП), которые синтезируются либо через МВА-путь (в цитозоле и ЭР), либо через МЭП-путь (в пластидах). Эти C5-фрагменты затем служат базовыми блоками для всех более крупных терпеноидов.

Пренилбромид как ключевой промежуточный продукт: Пренилбромид (1-бром-3-метил-2-бутен) — распространённый синтетический реагент, используемый в качестве источника пренильной группы. Двухстадийный синтез гемитерпенов включает две стадии: начальную кислотно-основную реакцию карбоновой кислоты с бикарбонатом натрия, а затем нуклеофильную реакцию между образовавшимся карбоксилатом натрия и пренилбромидом с образованием прениловых эфиров, таких как пренилциннамат или пренилизобутират.

Гемитерпены находят весьма широкое применение. Изопрен, наиболее распространённый гемитерпен, является важнейшим промышленным исходным материалом для производства синтетического каучука и других полимеров. Гемитерпены и их производные используются в синтезе различных фармацевтических препаратов и ароматизаторов. Благодаря своему вкладу в формирование ароматов многих растений, производные гемитерпенов используются в качестве синтетических отдушек.

Гемитерпены служат основными предшественниками для биосинтеза более сложных терпеноидов, которые находят широкое применение в фармацевтике и других отраслях промышленности. Летучие гемитерпены играют важную экологическую роль в растениях, например, привлекая опылителей и защищая от травоядных.

Таким образом, гемитерпены — простейшие из терпенов. Наиболее известный гемитерпен, изопрен, извлекается из листьев хвойных деревьев, тополей, ив и дубов, а также из гамамелиса японского (травы) [1]. Одно из производных изопрена, бром-3-метил-2-бутен, обычно известное как пренилбромид, может использоваться вместо пренильной группы в синтезе различных неорганических и органических соединений. Производные гемитерпена, идентифицированные как гемитерпеновые гликозиды, были выделены из нескольких видов флоры, таких как *Spiraea prunifolia*, *Megoura crassicauda*, *Securidaca inappendiculata*, *Ilex rotunda*, *Ilex pubescens* и *Spiraea canescens*. Они в основном используются для лечения аутоиммунных заболеваний, таких как ревматоидный артрит и воспаление. Синтез гемитерпенов осуществлялся в два этапа. На основном этапе протекает кислотно-основная реакция между карбоновой кислотой (1) и бикарбонатом натрия (2) в ДМФ, приводящая к образованию побочных продуктов — RCO_2Na и H_2CO_2 .

На втором этапе протекает нуклеофильная реакция между пренилбромидом (4) и карбоксилатом натрия (3). Это было обнаружено в трёх гемитерпенах: пренилциннамате (5), пренилметилбутирате (6) и пренилизобутирате (7) (схема 1).

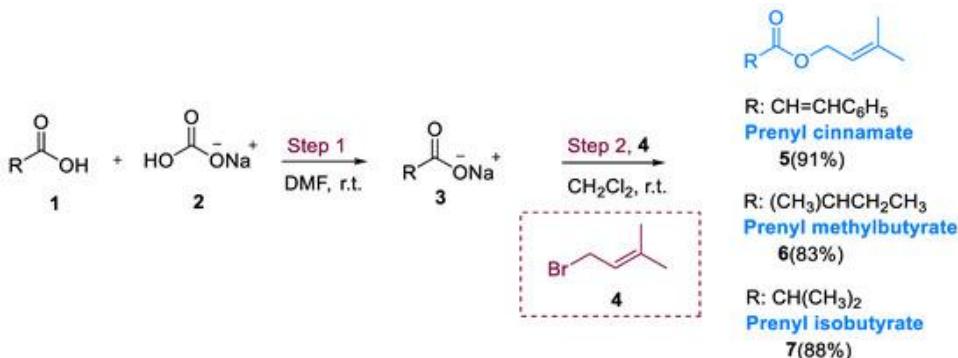


Схема 1. Двухстадийный синтез гемитерпенов

Растения выработали сложную терпеновую защиту. Терпеноиды накапливаются в растительных тканях или выделяются в виде летучих веществ в ответ на постоянно меняющуюся окружающую среду, играя важную роль в химико-экологических функциях, таких как защита от патогенов и насекомых, улучшение опыления и распространения семян, облегчение коммуникации между растениями [2]. Они также привлекают внимание в фармацевтике, нутрицевтиках, парфюмерии и биотопливе. В этой работе авторы подчеркивают недавний прогресс в фундаментальных путях биосинтеза терпеноидов, ключевых ферментах и соответствующих им генах, участвующих в синтезе терпеноидов. Авторы работы определили дальнейшее изучение биосинтетических сетей и разработку новых терпеноидных ресурсов, предложили необходимость дальнейшего изучения биосинтетических сетей и разработку новых терпеноидных ресурсов. Основываясь на этих знаниях, будущие исследования должны быть направлены на механизмы, управляющие биосинтезом терпеноидов, зависящим от изменений окружающей среды, и молекулярной селекции.

Основная часть летучих органических соединений (ЛОС) в атмосфере образуется из изопреноидов, выделяемых растениями, в частности деревьями [3]. Наибольшую долю терпеноидов, выделяемых растительностью, составляют гемитерпеновый изопрен, различные монотерпены и, что гораздо менее важно, некоторые сесквитерпены. В настоящее время большое значение придаётся эмиссии монотерпенов и изопренов в связи с их влиянием на химию атмосферы и образование озона. Для более точной оценки эмиссии биогенных терпенов необходимо понимать биохимические и физиологические процессы, связанные с биосинтезом терпенов и их эмиссией растениями.

Растущий уровень синтетических химикатов, выбрасываемых в окружающую среду в результате сельскохозяйственной деятельности, негативно влияет на биоразнообразие [4]. Это стало движущей силой перехода к устойчивому сельскому хозяйству. Вторичные метаболиты растений предлагают многообещающие альтернативы для защиты растений от микробов, питания травоядных животных и сорняков. Терпены являются крупнейшими среди ФСМ и широко изучаются на предмет их антимикробного, инсектицидного и сорнякорегулирующего потенциала. Они также привлекают естественных врагов вредителей и полезных насекомых, таких как опылители и распространители. Однако большинство этих результатов исследований заморожены и не выходят за рамки лабораторных и тепличных исследований. В данном обзоре представлен обзор терпенов, их типов, биосинтеза и их роли в защите растений от патогенных микроорганизмов, насекомых-вредителей и сорняков, что вновь разжигает дискуссию об использовании терпенов для разработки экологически безопасных биопестицидов и гербицидов.

Терпены — самая многочисленная группа вторичных метаболитов растений, обладающих множеством биологических свойств, таких как противораковая, противомикробная, противовоспалительная, противогрибковая и противовирусная активность [5]. Это натуральные растительные продукты, часто используемые во многих отраслях, таких как медицина, сельское хозяйство и парфюмерия. Разработаны различные биотехнологические стратегии для увеличения продукции терпенов и разнообразия растений. Среди этих подходов использование стимуляторов, таких как элиситоры, которые вызывают накопление вторичных метаболитов растений *in vitro*, является одной из лучших альтернатив. Сообщалось об успешном воздействии соли (NaCl), абиотического элиситора, на продукцию терпенов у различных видов растений. Этот метод остается актуальным как многообещающий подход к изучению пока еще неизвестной химии многих видов растений. Поэтому данный обзор направлен на оценку имеющейся литературы по использованию стресса NaCl в качестве элиситора в культурах *in vitro* для увеличения содержания терпеновых соединений в растениях.

Терпеноиды составляют самый большой класс природных соединений и чрезвычайно ценные с экономической точки зрения благодаря своим обширным физико-химическим свойствам и биологической активности [6]. В связи с недавними экологическими проблемами извлечение терпенов из природных источников больше не рассматривается как жизнеспособный вариант, равно как и химический синтез для получения таких химических веществ из-за их сложных структурных характеристик. Альтернативой получения терпеноидов является использование биотехнологических инструментов,

включающих, например, создание ферментативных каскадов (бесклеточный синтез) или микробное биопроизводство с помощью методов метаболической инженерии. Несмотря на выдающиеся успехи, эти подходы были затруднены длиной двух природных биосинтетических путей (мевалонатного и метилэритритолфосфатного), приводящих к диметилаллилдифосфату (DMAPP) и изопентенилдифосфату (IPP), двум общим универсальным предшественникам всех терпеноидов. Авторы этой работы, совместно с другими исследователями, разработали так называемый терпеновый мини-путь – надежный двухферментный доступ к DMAPP и IPP, основанный на двух соответствующих спиртах: диметилаллиловом спирте и изопентеноле. Цель данной работы – представить потенциал этого искусственного биодоступа к терпеноидам, как *in vitro*, так и *in vivo*.

Терпеноиды – преобладающий класс органических химических веществ, встречающихся во всех организмах. Ароматические соединения растительного происхождения включают в себя биоактивные компоненты, в частности терпены и терпеноиды, которые могут проявлять разнообразный спектр биологических эффектов, таких как противовоспалительные, антиоксидантные, антибактериальные и противоаллергические свойства. Современное состояние исследований убедительно показывает, что эфирные масла (ЭМ) обладают как консервирующими, так и антимикробными свойствами, что делает их пригодным вариантом для использования в пищевой промышленности. Цель данного исследования – предоставить краткий обзор современных знаний об использовании ароматических соединений в фармацевтической и медицинской областях, а также их потенциального использования в качестве консервантов пищевых продуктов в пищевой промышленности. За последние несколько десятилетий во всем мире предпринимаются все более активные усилия по поощрению использования натуральных продуктов в повседневной жизни. Одним из примеров натурального продукта являются продукты, полученные из минеральных масел. Ароматические соединения эфирных масел представляют собой тип растительной жидкости, которая является высококонцентрированной, маслоустойчивой и классифицируется на основе своих физических и химических свойств. Фармакологические эффекты ароматических соединений, включая антимикробные, противогельминтные, противовирусные, антиоксидантные, противовоспалительные и инсектицидные свойства, были предметом тщательного изучения в ряде исследований [7].

Именно Отто Валлах впервые ввёл термин «терпен» и обнаружил, что многие эфирные масла растительного происхождения имеют химические структуры, основанные на кратных

пятиуглеродных фрагментах [8]. Его работа со скипидаром и полученными из него органическими продуктами согласовывалась с более ранними исследованиями натурального каучука, которые показали, что его термическое разложение выделяет «изопрен» (2-метил-1,3-бутадиен) в качестве основного продукта. Это в конечном итоге привело к формулировке так называемого биогенетического правила изопрена Леопольдом Ружицкой в 1953 году, которое гласило, что «углеродный скелет терпенов состоит из изопреновых фрагментов, соединённых в регулярном или нерегулярном порядке». Как оказалось, биосинтетические пути образования терпенов встречаются практически у всех организмов, что приводит к удивительному разнообразию различных структурных типов. Фактически, за прошедшие годы из растительного мира было выделено более 25 000 различных терпенов с широким спектром биологических функций. Интересно, что, хотя многие терпены являются простыми ахиральными соединениями, другие являются хиральными, как это можно увидеть в случае α -пинена. Но в отличие от встречающихся в природе L-аминокислот и D-углеводов, разные организмы могут производить один и тот же терпеновый продукт, но в разных энантиомерных формах. Например, лимонен образуется более чем в 300 растениях, причем (+)-(R)-энантиомер является наиболее распространенной формой в качестве основного компонента эфирных масел из кожуры цитрусовых (апельсиновое масло). Будучи самым распространенным из всех терпенов, его приятный цитрусовый аромат и вкус привели к его использованию во всем мире в пищевой и парфюмерной промышленности, а также в качестве ботанического инсектицида. Некоторые растения продуцируют оба энантиомера лимонена, в то время как другие производят только (−)-(S)-энантиомер, обладающий сильным сосновым запахом, напоминающим запах скипидара. Это, очевидно, говорит о хиральности и энантиоселективности наших обонятельных рецепторов, которые легко различают два энантиомера, тем самым сигнализируя о разной реакции на запах в каждом случае.

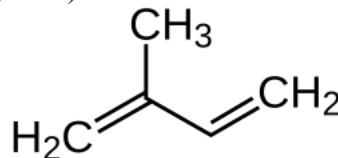
Гемитерпен 1-бром-2-метил-2-бутен (пренилбромид) широко используется в качестве источника пренила для различных органических синтезов [9]. Одним из них является разработка синтетических ароматизаторов для парфюмерной промышленности, которая быстро развивается для ежедневного потребления. Согласно исследованию литературы, большинство ароматизаторов содержат терпены. Существуют две распространённые группы терпенов, используемых в качестве ароматизаторов: кислородсодержащие монотерпены и сесквитерпены. Интересно, что гемитерпены являются потенциальными,

но их сложно выделить из натуральных растительных продуктов. Данное исследование направлено на синтез производных гемитерпенов очень простым методом. Синтез проводился в два этапа. На первом этапе производные были получены кислотно-основным методом, а затем следовало нуклеофильное замещение пренилбромида. Кроме того, структуры производных гемитерпенов были подтверждены методами ЯМР и масс-спектроскопии. В результате были успешно синтезированы и получены с хорошими выходами три производных гемитерпена, а именно: пренилциннамат, пренилметилбутират и пренилизобутират.

Терпеноиды – это ароматические метаболиты растений. Они могут повышать адаптируемость растений к окружающей среде. Некоторые специализированные терпеноиды имеют огромную ценность для человека благодаря применению в медицине, промышленности и сельском хозяйстве [10]. Однако производство терпеноидов в больших количествах невозможно из-за их сложной химической структуры и низкого содержания в растениях. Механизмы регуляции биосинтеза терпеноидов постепенно стали объектом исследований. В данной статье представлен обзор путей синтеза и метаболизма, путей регуляции и ключевых ферментов биосинтетических путей терпеноидов.

Исследования в области синтеза и изучения свойств терпенов и гемитерпенов также сообщались в работах [11-31].

Таким образом, основным представителем гемитерпенов является изопрен, или 2-метил-1,3-бутадиен (температура плавления минус 145,95⁰С, температура кипения 34⁰С, плотность 0,681 г/см³, показатель преломления 1,4219)..



Это ненасыщенный углеводород, летучая бесцветная жидкость с характерным запахом, которая широко распространена в природе, так как производится растениями, животными и бактериями, а также используется в промышленности для производства синтетического каучука и других соединений. Это ключевой строительный блок для многих природных биомолекул, таких как холестерин, каротиноиды и витамин А. Многие растения, особенно деревья, выделяют изопрен в атмосферу. Этот процесс помогает растениям справляться с тепловым стрессом и защищаться от окислительного повреждения.

Изопрен — это основной компонент полизопрена, который используется для производства синтетического каучука.

Высокочистый изопрен также применяется в производстве других химических соединений.

Основной источник изопрена в атмосфере — это природные выбросы от растений, животных и бактерий. Изопрен также выделяется в результате промышленных процессов, таких как крекинг нефти, производство этилена и целлюлозы, а также из выхлопных газов автомобилей. В разрешенных концентрациях изопрен считается безвредным. Длительное вдыхание высоких концентраций изопрена может оказывать неблагоприятное воздействие на дыхательную систему, центральную нервную систему, а также на вес тела и органов [32-36].

Некоторые, но не все, растения выделяют изопрен [37]. Выделение родственных монотерпенов более универсально для растений, но количество выделяемого растениями изопрена доминирует в углеводородном обмене между биосферой и атмосферой. Выделение изопрена растениями влияет на химию атмосферы. Изопрен очень быстро реагирует с гидроксильными радикалами в атмосфере, образуя гидропероксиды, которые могут усиливать образование озона. На образование аэрозолей в атмосфере также может влиять биогенный изопрен. Растения, выделяющие изопрен, лучше переносят быстрый нагрев листьев под действием солнечного света (тепловые пятна). Они также лучше переносят озон и другие активные формы кислорода, чем растения, не выделяющие изопрен. Экспрессия гена изопренсинтазы может контролировать способность выделять изопрен по мере распускания листьев. Способность выделять изопрен полностью распустившихся листьев меняется в течение сезона, но биохимический контроль способности выделять изопрен у зрелых листьев, по-видимому, осуществляется на нескольких разных этапах метаболизма изопрена. Способность к выделению изопрена многократно эволюционировала у растений, вероятно, как механизм, позволяющий им противостоять тепловым волнам. Она также обеспечивает устойчивость к активным формам кислорода. Это пример того, как изопреноиды усиливают функцию мембранны, хотя механизм, вероятно, отличается от механизма, действующего на стерины. Понимание регуляции выделения изопрена быстро развивается теперь, когда известен путь, обеспечивающий этот субстрат.

Таким образом, в растениях он играет ключевую роль в образовании изопреноидов, жирорастворимых витаминов, каротиноидов и родственных им пигментов. Изопрен способствует формированию ароматов и вкусов эфирных масел и других веществ растительного происхождения.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Kanwal A., Bilal M., Rasool N., Zubair M. Total synthesis of terpenes and their biological significance: a critical review // *Pharmaceuticals*. – 2022. – Vol. 15. – N 11. – pp. 1392.
2. Cheng R., Yang Sh., Wang D., Fanqcuo Q. Advances in the biosynthesis of plant terpenoids: models, mechanisms, and applications // *Plants*. – 2025. – Vol. 14. – N 10. – pp. 1428.
3. Lichtenhaller H., Zeidler J. G. Isoprene and terpene biosynthesis // *Trace gas exchange in forest ecosystems*. – Dordrecht : Springer, 2002. – pp. 79-99.
4. Ninkuu V., Zhang L., Yan J., Zhenchao F. Biochemistry of terpenes and recent advances in plant protection // *International Journal of Molecular Sciences*. – 2021. – Vol. 22. – N 11. – pp. 5710.
5. Tilkat E. A., Hoser A., Suzerer V., Engin T. Influence of salinity on in vitro production of terpene: a review // *Making plant life easier and productive under salinity – updates and prospects*. – IntechOpen, 2023. – pp. 118-135.
6. Couillaud J., Leydet L., Duquesne K., Jacazio G. The terpene mini-path, a new promising alternative for terpenoids bio-production // *Genes*. – 2021. – Vol. 12. – N 12. – pp. 1974.
7. Zoha F., Charles M. R., Jyoti M., Pratap P. A systematic review of terpenes and terpenoids and their roles in human health // *ERA's Journal of Medical Research*. – 2023. – Vol. 10. – N 2. – pp. 193-200.
8. Morrow G. W. The terpenoid pathway: products from mevalonic acid and deoxyxylulose phosphate // *Bioorganic synthesis: an introduction*. – 2016. – Ch. 4. – pp. 131-183.
9. Putri D. A., Santoso M. Synthesis of hemiterpene 1-bromo-3-methyl-2-butene derivatives // *AIP Conference Proceedings*. – 2021. – Vol. 2349. – N 1. – p. 020022.
10. Huang Y., Fang X., Cao X., Meng Y.-L. Research progress in biosynthesis and regulation of plant terpenoids // *Biotechnology & Biotechnological Equipment*. – 2021. – Vol. 35. – N 1. – pp. 1799-1808.
11. Hakeemullah A., Yousaf Kh., Sattar A., Nawaz M. Extraction, isolation and biosynthetic scheme of terpenoids and its pharmaceutical activities in drug designing and development // *Kashmir Journal of Sciences*. – 2023. – Vol. 2. – N 2. – pp. 7-23.
12. Khan Y., Hakimullah A., Sattar A., Mazhar D. Extraction, isolation and biosynthetic scheme of terpenoids and its pharmaceutical activities in drug designing and drug development // *Pakistan Science Bulletin*. – 2022. – Vol. 1. – N 2. – pp. 64-87.
13. Zwenger S., Basu Ch. Plant terpenoids: applications and future potentials // *Biotechnology and Molecular Biology Reviews*. – 2008. – Vol. 3. – N 1. – pp. 1-7.

14. Parekh S. S., Parmar Gh. R., Kanojiya D., Baile S. Bh. Unlocking the therapeutic potential of terpenoids: a roadmap for future medicine // *Pharmacognosy Research*. – 2024. – Vol. 16. – N 4. – pp. 698-705.
15. Drasar P. B., Khripach V. A. Terpenes and terpene derivatives // *Molecules*. – 2021. – Vol. 26. – N 5. – pp. 1420.
16. Zhang Y., Nielsen J., Zihe L. Engineering yeast metabolism for production of terpenoids for use as perfume ingredients, pharmaceuticals and biofuels // *FEMS Yeast Research*. – 2017. – Vol. 17. – N 8. – p. fox080.
17. Fordjour E., Osei Mensah E., Yunpeng H., Yang Y. Toward improved terpenoids biosynthesis: strategies to enhance the capabilities of cell factories // *Bioresources and Bioprocessing*. – 2022. – Vol. 9. – N 1. – pp. 6.
18. Shun-Cheng L., Longxing X., Sun Y., Yuan L. Progress in the metabolic engineering of *Yarrowia lipolytica* for the synthesis of terpenes // *BioDesign Research*. – 2024. – Vol. 6. – p. 0051.
19. Madou F. D., Belinda I., Yossa N. Terpenes: structural classification and biological activities // *Journal of Pharmacy and Biological Sciences*. – 2021. – Vol. 16. – N 3. – pp. 25-40.
20. Pazouki L., Ninemets U. Multi-substrate terpene synthases: their occurrence and physiological significance // *Frontiers in Plant Science*. – 2016. – Vol. 7. – pp. 1019.
21. Shivaji Patil H., Baviskar A. S., Dinore J. M., Yelwande A. Advances in terpenoid biosynthesis: chemical diversity and emerging industrial applications // *Sciences of Phytochemistry*. – 2025. – Vol. 4. – N 2. – pp. 62-75.
22. Huang Zh., Ruyi Y., Hui Y., Taoli A. Mining methods and typical structural mechanisms of terpene cyclases // *Bioresources and Bioprocessing*. – 2021. – Vol. 8. – N 1. – pp. 66.
23. Chen R., Zheng Ch., Zou Q., Feng X.-S. Terpenes in food and plant samples: updates on sampling, pretreatment and analysis techniques // *Arabian Journal of Chemistry*. – 2025. – Vol. 18. – N 2. – p. 105760.
24. Jahangeer M., Rameen F., Ashiq M., Basharat A. Therapeutic and biomedical potentialities of terpenoids – a review // *Journal of Pure and Applied Microbiology*. – 2021. – Vol. 15. – N 2. – pp. 471-483.
25. Xiao H., Zhong J. Production of useful terpenoids by higher-fungus cell factory and synthetic biology approaches // *Trends in Biotechnology*. – 2016. – Vol. 34. – N 3. – pp. 242-255.
26. Abdallah I., Quax W. J. A glimpse into the biosynthesis of terpenoids // *NRLS Conference Proceedings*. – 2017. – pp. 81-99.
27. Roba K. The role of terpene (secondary metabolite) // *Natural Product Chemistry & Research*. – 2021. – Vol. 9. – N 8. – pp. 1-11.

-
28. Zhang H., Minghua Q., Yegao Ch., Sun Y. Plant terpenes // *Phytochemistry and Pharmacognosy*. – 2025. – Vol. 1. – pp. 1-9.
 29. Perveen Sh. Introductory chapter: terpenes and terpenoids // *Terpenes and terpenoids – recent advances*. – IntechOpen, 2021. – pp. 1-16.
 30. Yongshuo M., Yuexuan Z., Huang S., Stephanopoulos G. Engineering a universal and efficient platform for terpenoid synthesis in yeast // *Proceedings of the National Academy of Sciences*. – 2023. – Vol. 120. – N 1. – p. e2207680120.
 31. Hillier S. G., Lathe R. Terpenes, hormones and life: isoprene rule revisited // *Journal of Endocrinology*. – 2019. – Vol. 242. – N 2. – pp. R9-R22.
 32. Lybarger H. M. Isoprene // *Kirk-Othmer encyclopedia of chemical technology*. – 5th ed. – Hoboken : Wiley, 2004. – Vol. 14. – pp. 141-148.
 33. Watson W. P., Cottrell L., Zhang D., Golding B. T. Metabolism and molecular toxicology of isoprene // *Chemico-Biological Interactions*. – 2001. – Vol. 135-136. – pp. 223-238.
 34. Wennberg P. O., Bates K. H., Crounse J. D., Dodson L. G. Gas-phase reactions of isoprene and its major oxidation products // *Chemical Reviews*. – 2018. – Vol. 118. – N 7. – pp. 3337-3390.
 35. McGinity T. J., Crombie A. T., Murrell J. C. Microbial cycling of isoprene, the most abundantly produced biological volatile organic compound on Earth // *The ISME Journal*. – 2018. – Vol. 12. – N 4. – pp. 931-941.
 36. Lutz M. D. R., Kracht F., Marumoto K., Nozaki K. Gram-scale selective telomerization of isoprene and CO₂ toward 100% renewable materials // *Nature Communications*. – 2025. – Vol. 16. – N 1. – p. 7326.
 37. Sharkey Th. D., Wiberley A. E., Donohue A. R. Isoprene emission from plants: why and how // *Annals of Botany*. – 2008. – Vol. 101. – N 1. – pp. 5-18.

REFERENCES

1. Kanwal A., Bilal M., Rasool N., Zubair M. Total synthesis of terpenes and their biological significance: a critical review // *Pharmaceuticals*. – 2022. – Vol. 15. – N 11. – pp. 1392.
2. Cheng R., Yang Sh., Wang D., Fanqiu Q. Advances in the biosynthesis of plant terpenoids: models, mechanisms, and applications // *Plants*. – 2025. – Vol. 14. – N 10. – pp. 1428.
3. Lichtenhaller H., Zeidler J. G. Isoprene and terpene biosynthesis // *Trace gas exchange in forest ecosystems*. – Dordrecht : Springer, 2002. – pp. 79-99.
4. Ninkuu V., Zhang L., Yan J., Zhenchao F. Biochemistry of terpenes and recent advances in plant protection // *International Journal of Molecular Sciences*. – 2021. – Vol. 22. – N 11. – pp. 5710.

5. Tilkat E. A., Hoser A., Suzerer V., Engin T. Influence of salinity on in vitro production of terpene: a review // Making plant life easier and productive under salinity – updates and prospects. – IntechOpen, 2023. – pp. 118-135.
6. Couillaud J., Leydet L., Duquesne K., Jacazio G. The terpene mini-path, a new promising alternative for terpenoids bio-production // Genes. – 2021. – Vol. 12. – N 12. – pp. 1974.
7. Zoha F., Charles M. R., Jyoti M., Pratap P. A systematic review of terpenes and terpenoids and their roles in human health // ERA's Journal of Medical Research. – 2023. – Vol. 10. – N 2. – pp. 193-200.
8. Morrow G. W. The terpenoid pathway: products from mevalonic acid and deoxyxylulose phosphate // Bioorganic synthesis: an introduction. – 2016. – Ch. 4. – pp. 131-183.
9. Putri D. A., Santoso M. Synthesis of hemiterpene 1-bromo-3-methyl-2-butene derivatives // AIP Conference Proceedings. – 2021. – Vol. 2349. – N 1. – p. 020022.
10. Huang Y., Fang X., Cao X., Meng Y.-L. Research progress in biosynthesis and regulation of plant terpenoids // Biotechnology & Biotechnological Equipment. – 2021. – Vol. 35. – N 1. – pp. 1799-1808.
11. Hakeemullah A., Yousaf Kh., Sattar A., Nawaz M. Extraction, isolation and biosynthetic scheme of terpenoids and its pharmaceutical activities in drug designing and development // Kashmir Journal of Sciences. – 2023. – Vol. 2. – N 2. – pp. 7-23.
12. Khan Y., Hakimullah A., Sattar A., Mazhar D. Extraction, isolation and biosynthetic scheme of terpenoids and its pharmaceutical activities in drug designing and drug development // Pakistan Science Bulletin. – 2022. – Vol. 1. – N 2. – pp. 64-87.
13. Zwenger S., Basu Ch. Plant terpenoids: applications and future potentials // Biotechnology and Molecular Biology Reviews. – 2008. – Vol. 3. – N 1. – pp. 1-7.
14. Parekh S. S., Parmar Gh. R., Kanojiya D., Baile S. Bh. Unlocking the therapeutic potential of terpenoids: a roadmap for future medicine // Pharmacognosy Research. – 2024. – Vol. 16. – N 4. – pp. 698-705.
15. Drasar P.B., Khripach V. A. Terpenes and terpene derivatives // Molecules. – 2021. – Vol. 26. – N 5. – pp. 1420.
16. Zhang Y., Nielsen J., Zihe L. Engineering yeast metabolism for production of terpenoids for use as perfume ingredients, pharmaceuticals and biofuels // FEMS Yeast Research. – 2017. – Vol. 17. – N 8. – p. fox080.
17. Fordjour E., Osei Mensah E., Yunpeng H., Yang Y. Toward improved terpenoids biosynthesis: strategies to enhance the capabilities of cell factories // Bioresources and Bioprocessing. – 2022. – Vol. 9. – N 1. – pp. 6.

-
18. Shun-Cheng L., Longxing X., Sun Y., Yuan L. Progress in the metabolic engineering of *Yarrowia lipolytica* for the synthesis of terpenes // *BioDesign Research*. – 2024. – Vol. 6. – p. 0051.
 19. Madou F. D., Belinda I., Yossa N. Terpenes: structural classification and biological activities // *Journal of Pharmacy and Biological Sciences*. – 2021. – Vol. 16. – N 3. – pp. 25-40.
 20. Pazouki L., Ninemets U. Multi-substrate terpene synthases: their occurrence and physiological significance // *Frontiers in Plant Science*. – 2016. – Vol. 7. – pp. 1019.
 21. Shivaji Patil H., Baviskar A. S., Dinore J. M., Yelwande A. Advances in terpenoid biosynthesis: chemical diversity and emerging industrial applications // *Sciences of Phytochemistry*. – 2025. – Vol. 4. – N 2. – pp. 62-75.
 22. Huang Zh., Ruyi Y., Hui Y., Taoli A. Mining methods and typical structural mechanisms of terpene cyclases // *Bioresources and Bioprocessing*. – 2021. – Vol. 8. – N 1. – pp. 66.
 23. Chen R., Zheng Ch., Zou Q., Feng X.-S. Terpenes in food and plant samples: updates on sampling, pretreatment and analysis techniques // *Arabian Journal of Chemistry*. – 2025. – Vol. 18. – N 2. – p. 105760.
 24. Jahangeer M., Rameen F., Ashiq M., Basharat A. Therapeutic and biomedical potentialities of terpenoids – a review // *Journal of Pure and Applied Microbiology*. – 2021. – Vol. 15. – N 2. – pp. 471-483.
 25. Xiao H., Zhong J. Production of useful terpenoids by higher-fungus cell factory and synthetic biology approaches // *Trends in Biotechnology*. – 2016. – Vol. 34. – N 3. – pp. 242-255.
 26. Abdallah I., Quax W. J. A glimpse into the biosynthesis of terpenoids // *NRLS Conference Proceedings*. – 2017. – pp. 81-99.
 27. Roba K. The role of terpene (secondary metabolite) // *Natural Product Chemistry & Research*. – 2021. – Vol. 9. – N 8. – pp. 1-11.
 28. Zhang H., Minghua Q., Yegao Ch., Sun Y. Plant terpenes // *Phytochemistry and Pharmacognosy*. – 2025. – Vol. 1. – pp. 1-9.
 29. Perveen Sh. Introductory chapter: terpenes and terpenoids // *Terpenes and terpenoids – recent advances*. – IntechOpen, 2021. – pp. 1-16.
 30. Yongshuo M., Yuexuan Z., Huang S., Stephanopoulos G. Engineering a universal and efficient platform for terpenoid synthesis in yeast // *Proceedings of the National Academy of Sciences*. – 2023. – Vol. 120. – N 1. – p. e2207680120.
 31. Hillier S. G., Lathe R. Terpenes, hormones and life: isoprene rule revisited // *Journal of Endocrinology*. – 2019. – Vol. 242. – N 2. – pp. R9-R22.
 32. Lybarger H. M. Isoprene // *Kirk-Othmer encyclopedia of chemical technology*. – 5th ed. – Hoboken : Wiley, 2004. – Vol. 14. – pp. 141-148.

-
33. Watson W. P., Cottrell L., Zhang D., Golding B. T. Metabolism and molecular toxicology of isoprene // *Chemico-Biological Interactions*. – 2001. – Vol. 135-136. – pp. 223-238.
34. Wennberg P. O., Bates K. H., Crounse J. D., Dodson L. G. Gas-phase reactions of isoprene and its major oxidation products // *Chemical Reviews*. – 2018. – Vol. 118. – N 7. – pp. 3337-3390.
35. McGenity T. J., Crombie A. T., Murrell J. C. Microbial cycling of isoprene, the most abundantly produced biological volatile organic compound on Earth // *The ISME Journal*. – 2018. – Vol. 12. – N 4. – pp. 931-941.
36. Lutz M. D. R., Kracht F., Marumoto K., Nozaki K. Gram-scale selective telomerization of isoprene and CO₂ toward 100% renewable materials // *Nature Communications*. – 2025. – Vol. 16. – N 1. – p. 7326.
37. Sharkey Th. D., Wiberley A. E., Donohue A. R. Isoprene emission from plants: why and how // *Annals of Botany*. – 2008. – Vol. 101. – N 1. – pp. 5-18.

Информация об авторах

- Е.А. Удалова** – доктор химических наук, глав. н.с. УГНТУ, Уфа, РФ;
- Г.Э. Гаджиева** – кандидат химических наук, глав. н.с. лаборатории «Изучение antimикробной активности и биоповреждений» ИНХП МНО Азербайджана, Баку;
- Э.Г. Мамедбейли** – доктор химических наук, профессор, зав. лаборатории «Изучение antimикробной активности и биоповреждений» ИНХП МНО Азербайджана, Баку.

Information about the author

- Y.A. Udalova** – doctor of chemical sciences, main scientific researcher USOTU, Ufa, RF;
- G.E. Hajiyeva** – candidate of chemical sciences, main scientific researcher of laboratory "Study of antimicrob activity and biodamage" IPCP MES of Azerbaijan;
- E.H. Mammadbayli** – doctor of chemical sciences, professor, head of laboratory "Study of antimicrob activity and biodamage" IPCP MES of Azerbaijan.

Статья поступила в редакцию 16.11.2025; принята к публикации 12.12.2025.
The article was submitted 16.11.2025; accepted for publication 12.12.2025.

ДОСТИЖЕНИЯ НАУКИ. ИЗВЕСТНЫЕ УЧЁНЫЕ. ХРОНИКА

DOI: 10.21510/3034-2678-2025-3-76-79

ЭЛЬДАР ГУСЕЙНГУЛУ ОГЛЫ МАМЕДБЕЙЛИ (К 85-ЛЕТИЮ СО ДНЯ РОЖДЕНИЯ)



Э.Г.Мамедбейли родился в 1941 году. В 1965 г. окончил фармацевтический факультет Аз.Гос.Мед.Института, а в 1967 г. поступил в аспирантуру Института нефтехимических процессов (ИНХП) АН Азербайджана. Будучи на последнем году обучения (1969-1970) был на стажировке в Институте химической физики АН СССР. В 1978 г. защитил кандидатскую диссертацию в ИНЭОС АН СССР. В 2004 г. защитил докторскую диссертацию. С 2007 г. – главный научный сотрудник, с 2008 г.

руководитель группы. В 2012 г. – заведующий лабораторией, а в 2013 г. получил ученую степень профессора.

Профессор Э.Г.Мамедбейли – один из известных ученых, долгое время работающих в области органической химии и асимметрического синтеза, один из основателей применения хиральных катализаторов в асимметрическом диеновом синтезе. Направления его научной деятельности - разработка новых научных основ процессов получения оптически активных функционально замещенных алициклических соединений методом асимметрического синтеза и нахождения областей применения различных производных циклогексена и норборисна, в том числе моно- и дикарбоновых кислот и их эфиров. Э.Г.Мамедбейли выдвинул целый ряд научных проблем, имеющих важное практическое значение в области органического асимметрического синтеза и осуществил их решение.

Впервые им были разработаны научные основы полного стереоспецифического процесса получения бицикло[2.2.1]-гепт-5-ен-2-карбоновых кислот и их галогенсодержащих производных в присутствии ахиральных катализаторов с высокой энантиоселективностью и химическим выходом на основе реакций циклических диенов с хиральными диенофилами. Под его руководством создан способ получения новой хиральной катализитической системы, используемой в асимметрическом синтезе, а также осуществлен синтез хиральных кислот Льюиса на основе

природных соединений (ментола, камфоры, борнеола и др.) Использование хиральных катализаторов позволило получать высокостереоселективные аддукты с оптическим выходом до 94%.

Впервые в чистом виде были получены энантиомерные формы полихлор- и полибромбицикло[2.2.1]-гепт-5-ен-2-карбоновых кислот методом спонтанного осаждения оптически активными аминами и установлена их относительная конфигурация. Осуществлен асимметрический синтез гексахлорбицикло[2.2.1]-гепт-5-ен-2-карбоновой кислоты и ее хлорангидрида в оптически активной форме. Данные соединения могут быть использованы как ценные реагенты для получения (+)-варфарина, широко используемого в медицинской практике. Под руководством Э.Г.Мамедбейли разработан удобный метод синтеза аминометоксипроизводных алкил(арил)сульфанилалканов с высокой регио- и стереоселективностью и препаративным выходом. Многие из синтезированных соединений были рекомендованы в качестве антимикробных присадок, препаратов в отношении различных бактерий и грибов; разработаны методы получения новых физиологически активных аминоспиртов экологически чистыми методами, реализованы новые эффективные присадки к моторным топливам, осуществлены синтезы целого ряда бактерицидов против сульфатвосстановливающих бактерий и проведены практически ценные работы для народного хозяйства страны.

В последние годы профессор Э.Г.Мамедбейли занимается исследованием оптической активности нефти новых сухопутных и морских месторождений Азербайджана, в том числе и лечебных нефти. Оптическая активность является важным показателем нефти и бесспорным фактом ее биогенного происхождения. Она имеет важное значение в процессе разведки нефтяных месторождений, а изучение оптической активности Нафталановой нефти, широко используемой при лечении кожных, нервных и других заболеваний, осуществляют под руководством и непосредственном участии Э. Г. Мамедбейли.

В лаборатории (в рамках Государственной программы Азербайджанской Республики по продуктам питания в 2013-2016 гг.) осуществлен синтез новых экологически чистых регуляторов роста растений и проведено их испытание: для этой цели были получены диэфиры C_4 -ненасыщенных аминодикарбоновых кислот с различными спиртами (метанол, ментол, изопропанол, бутанол, циклогексанол); разработан многостадийный процесс получения этих диэфиров в лабораторных условиях; найдены оптимальные условия получения представленных эфиров. Исследования проводились в испытательном центре Института биоресурсов Нахичеванского научного центра НАНА.

При тестировании синтезированного ростового регулятора установлено, что новое ростовое вещество оказывает положительное воздействие на вегетативные органы, семена кукурузы. Рекомендовано более широкое применение экологически безопасного ростового вещества в полевых условиях. В настоящее время научно-исследовательские работы по этим основным направлениям продолжаются.

Благодаря усилиям профессора, в тематический план соглашения, заключенного в 2005 г. между НАНА и РАН, была включена научная работа Э. Г. Мамедбейли. В рамках этого соглашения был заключен двусторонний научно-технический договор между ИНХП НАНА и ИНЭОС РАН, в котором Э. Г. Мамедбейли и проф. К. Кочетков являлись научными координаторами и ответственными исполнителями. Договор был заключен сроком на три года (2007-2010 гг.). В 2010 г. срок этого договора был продлен до 2015 г. на основе соглашения, заключенного дирекцией обоих институтов. На основе этих договоров проводились научные работы в области асимметрического синтеза, изучения оптической активности азербайджанских нефтей и приведения испытания разнообразных азот-, серу- и фосфорорганических соединений для технических растений с практическими полезными свойствами. Можно отметить, что академики Ирина Петровна Белецкая, Юрий Николаевич Бубнов и Рэмир Григорьевич Костяновский, хорошо знающие Э.Мамедбейли в течение многих лет, в свое время настоятельно рекомендовали его кандидатуру в член-корреспонденты НАНА. Это несомненное доказательство его крупных научных заслуг и высоких человеческих качеств.

Между ИНЭОС и ИНХП в 2018 г. заключен новый научно-технический договор сроком на 5 лет. Координаторами от МНОАР ИНХП утвержден д.х.н., профессор Эльдар Мамедбейли, а от ИНЭОС РАН утвержден д.х.н., профессор Константин Кочетков. Э.Г. Мамедбейли награжден почетной грамотой ИНЭОС РАН.

На основе Договора от 14.01.2010 г. между Институтом полимерных материалов НАНА и ИНХП НАНА о совместном двустороннем сотрудничестве проводятся научно-исследовательские работы в области синтеза новых оптически активных производных норборнена, получения рацемических сополимеров на основе карбонил-, карбоксил-содержащих органических метакрилатов и 1-(-)-метилакрилатов, и изучения их полезных свойств.

Специалист высокого уровня Э.Г.Мамедбейли смог создать своеобразное направление в области асимметрического и тонкого органического синтеза органической химии. Результаты этой деятельности нашли отражение в более 680 научных трудах, в том

числе в 12 авторских свидетельствах и 4 патентах, и пяти монографиях.

Существенная часть его исследований опубликована в таких журналах как «Журнал органической химии», «Известия АН СССР», «Журнал общей химии», «Журнал прикладной химии», «Журнал аналитической химии», «Нефтехимия», «Катализ в промышленности», «Tetrahedron», «Green and Sustainable Chemistry». Под руководством профессора Э.Г.Мамедбейли подготовлены 10 кандидатов и 3 доктора наук. С 1999 г. Э.Г.Мамедбейли член постоянной комиссии по контролю фармацевтических предприятий Министерства Здравоохранения Азербайджанской Республики. В настоящее время – заведующий лабораторией при ИНХП НАН Азербайджана, член Ученого совета и Диссертационного совета при данном Институте; член редколлегии таких журналов как «Азербайджанский фармацевтический и фармакотерапевтический журнал», «Процессы нефтехимии и нефтепереработки», «Химические проблемы», «Вестник Башкирского Государственного Педагогического Университета» (Уфа, Башкортостан, РФ) и «Вестник КНИИ РАН» (Грозный, Чеченская Республика, РФ).

Редакционная коллегия и редакция журнала «Вестник Башкирского государственного педагогического университета им. М.Акмуллы» поздравляет профессора Э.Г.Мамедбейли с юбилеем, желает ему крепкого здоровья и новых творческих успехов!

Редакционная коллегия и редакция журнала.

ПРАВИЛА ДЛЯ АВТОРОВ

Уважаемые коллеги!

**При подготовке статей в журнал
просим руководствоваться следующими правилами**

ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Научный журнал «Вестник БГПУ им. М. Акмуллы» публикует статьи по следующим сериям:

- Естественные науки
- Филологические науки
- Социально-гуманитарные науки

Основным требованием к публикуемому материалу является соответствие его высоким научным критериям (актуальность, научная новизна и другое).

Авторский материал может быть представлен как:

- обзор (до 16 стр.);
- оригинальная статья (до 8 стр.);
- краткое сообщение (до 3 стр.).

Работы сопровождаются *аннотацией и ключевыми словами*. К статье молодых исследователей (студентов, магистрантов, аспирантов) следует приложить заключение научного руководителя о возможности опубликования её в открытой печати.

Все принятые к работе материалы проходят проверку в системе «Антиплагиат».

Всем авторам необходимо предоставить в редакцию отдельным файлом:

а) персональные данные по предложенной форме:

Фамилия Имя Отчество	
Место учебы / работы	
Должность	
Учёная степень	
Почтовый адрес (домашний)	
Факультет, курс, специальность	
Тел.: рабочий / мобил., дом.	
E-mail	
Тема работы	

Рубрика для публикации

б) согласие на обработку персональных данных по форме (<https://bspu.ru/unit/251/docs>);

в) оформленная строго по требованиям научная статья;

г) заключение научного руководителя (студентам и аспирантам).

Название файла и письма должны соответствовать фамилии автора / авторов, например, **«Иванов.doc»**

Материалы отправляются по электронному адресу: vestnik.bspu@yandex.ru

РЕКОМЕНДУЕМАЯ СТРУКТУРА ПУБЛИКАЦИЙ

В начале статьи в левом верхнем углу на отдельной строке ставиться индекс УДК.

Далее данные идут в следующей последовательности:

1. Полное название статьи (прописными буквами по центру);
2. Фамилие, имя, отчество (полностью), наименование организации, где выполнена работа, город, страна, электронный адрес;
3. Аннотация (содержит основные цели предмета исследования, главные результаты и выводы объемом не менее 250 слов);
4. Ключевые слова (не более 15);
5. Данные для цитирования (фамилия, инициалы, название статьи, название журнала);
6. Пункты 1-5 на английском языке;
7. Текст публикации по структуре:

Введение:

- актуальность темы;
- проблема, которую предстоит исследовать;
- степень разработанности (обзор литературы);
- цель и задачи;

Основная часть:

- теоретико-методологические основы и методы исследования;
- результаты исследования;

Заключение:

- выводы;
- возможные направления дальнейших исследований;

8. Список источников (не менее 15), оформленный в соответствии с требованиями;

9. Транслитерация (Reference) с переводом названия источника;

10. Информация об авторе / авторах на русском и английском языках.

Основные сведения об авторе содержат:

- имя, отчество, фамилию автора (полностью);
- наименование организации (учреждения), её подразделения, где работает или учится автор (без обозначения организационно-правовой формы юридического лица: ФГБУН, ФГБОУ ВО и т. п.);
- адрес организации (учреждения), её подразделения, где работает или учится автор (город и страна);
- электронный адрес автора (e-mail);
- открытый идентификатор учёного (Open Researcher and Contributor ID –ORCID) (при наличии).

Адрес организации (учреждения), где работает или учится автор, может быть указан в полной форме.

Электронный адрес автора приводят без слова “e-mail”, после электронного адреса точку не ставят.

ORCID приводят в форме электронного адреса в сети «Интернет». В конце ORCID точку не ставят.

Наименование организации (учреждения), её адрес, электронный адрес и ORCID автора отделяют друг от друга запятыми.

Пример –

Сергей Юрьевич Глазьев

***Финансовый университет, Москва, Россия, serg1784@mail.ru,
<https://orcid.org/0000-0003-4616-0758>***

1. В случае, когда автор работает (учится) в нескольких организациях (учреждениях), сведения о каждом месте работы (учёбы), указывают после имени автора на разных строках и связывают с именем с помощью надстрочных цифровых обозначений.

Пример –

Арник Ашотовна Асратян^{1, 2}

¹Национальный исследовательский центр эпидемиологии и микробиологии имени почетного академика Н.Ф. Гамалеи, Москва, Россия, zasratyan@yahoo.com, <https://orcid.org/0000-0003-1288-7561>

²Первый Московский государственный медицинский университет имени И.М. Сеченова (Сеченовский Университет), Москва, Россия

2. Если у статьи несколько авторов, то сведения о них приводят с учётом нижеследующих правил.

Имена авторов приводят в принятой ими последовательности.

Сведения о месте работы (учёбы), электронные адреса, ORCID авторов указывают после имён авторов на разных строках и связывают с именами с помощью надстрочных цифровых обозначений¹.

Пример –

*Пётр Анатольевич Коротков¹, Алексей Борисович Трубянов²,
Екатерина Андреевна Загайнова³*

¹ *Поволжский государственный технологический университет, Йошкар-Ола, Россия, korotp@bk.ru, <https://orcid.org/0000-0003-0340-074X>*

² *Казанский (Приволжский) федеральный университет, Казань, Россия, true47@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-2342-9355>*

³ *Марийский государственный университет, Йошкар-Ола, Россия, e.zagaynova@list.ru, <https://orcid.org/0000-0002-5432-7231>*

3. Если у авторов одно и то же место работы, учёбы, то эти сведения приводят один раз.

Пример –

Юлия Альбертовна Зубок¹, Владимир Ильич Чупров²

^{1,2} *Институт социально-политических исследований, Федеральный научно-исследовательский социологический центр, Российская академия наук, Москва, Россия*

¹*uzubok@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-3108-261>*

²*chuprov443@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-7881-9388>*

4. Сведения об авторе (авторах) повторяют на английском языке после заглавия статьи на английском языке. Имя и фамилию автора (авторов) приводят в транслитерированной форме на латинице полностью, отчество сокращают до одной буквы (в отдельных случаях, обусловленных особенностями транслитерации, – до двух букв).

Пример –

Sergey Yu. Glaz'ev

Financial University, Moscow, Russia, serg1784@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-4616-0758>

6. Дополнительные сведения об авторе (авторах) могут содержать:

– полные имена, отчества и фамилии, электронные адреса и ORCID авторов, если они не указаны на первой полосе статьи (см.

4.9.2.2);

- учёные звания;
- учёные степени;
- другие, кроме ORCID, международные идентификационные номера авторов.

Дополнительные сведения об авторе (авторах) приводят с предшествующими словами «Информация об авторе (авторах)» (“Information about the author (authors)”) и указывают в конце статьи после «Списка источников».

Пример –

Информация об авторах

Ю.А. Зубок – доктор социологических наук, профессор;

В.И. Чупров – доктор социологических наук, профессор.

Information about the authors

Ju.A. Zubok – Doctor of Science (Sociology), Professor;

V.I. Chuprov – Doctor of Science (Sociology), Professor.

Пример –

Информация об авторе

С.Ю. Глазьев – д-р экон. наук, проф., акад. Рос. акад. наук.

Information about the author

S.Yu. Glaz'ev – Dr. Sci. (Econ.), Prof., Acad. of the Russ. Acad. of Sciences.

7. Аннотацию формируют по ГОСТ Р 7.0.99. Объём аннотации не превышает 250 слов. Перед аннотацией приводят слово «Аннотация» (“Abstract”).

Вместо аннотации может быть приведено резюме. Объем резюме обычно не превышает 250–300 слов.

8. Ключевые слова (словосочетания) должны соответствовать теме статьи и отражать её предметную, терминологическую область. Не используют обобщённые и многозначные слова, а также словосочетания, содержащие причастные обороты.

Количество ключевых слов (словосочетаний) не должно быть меньше 3 и больше 15 слов (словосочетаний). Их приводят, предваряя словами «Ключевые слова:» (“Keywords:”), и отделяют друг от друга запятыми. После ключевых слов точку не ставят.

Пример –

Книгоиздание России в 2019 г.

Галина Викторовна Перова¹, Константин Михайлович

Сухоруков²

^{1, 2}Российская книжная палата, Москва, Россия

¹perova_g@tass.ru

²a-bibliograf@mail.ru

Аннотация. Авторы приводят основные статистические показатели отечественного книгоиздания за 2019 г., анализируя состояние выпуска печатных изданий и тенденции развития издательского дела в России.

Ключевые слова: издательское дело, статистика книгоиздания, Российская книжная палата, Россия

Publishing in Russia in 2019

Galina V. Perova¹, Konstantin M. Sukhorukov²

^{1, 2}*Russian Book Chamber, Moscow, Russia*

¹perova_g@tass.ru

²a-bibliograf@mail.ru

Abstract. The authors provide the main statistics of the Russian book publishing in 2019, analyzing the output indicators of printed publications and trends in the publishing industry in Russia.

Keywords: publishing, publishing statistics, Russian Book Chamber, Russia.

9. После ключевых слов приводят слова благодарности организациям (учреждениям), научным руководителям и другим лицам, оказавшим помочь в подготовке статьи, сведения о грантах, финансировании подготовки и публикации статьи, проектах, научно-исследовательских работах, в рамках или по результатам которых опубликована статья.

Эти сведения приводят с предшествующим словом «Благодарности:». На английском языке слова благодарности приводят после ключевых слов на английском языке с предшествующим словом “Acknowledgments.”.

Пример –

Благодарности: работа выполнена при поддержке Российского научного фонда, проект № 17-77-3019; авторы выражают благодарность Алексею Вадимовичу Зимину за предоставление данных о донной топографии в Белом море.

Acknowledgments: the work was supported by the Russian Science Foundation, Project № 17-77-300; the authors are grateful to Aleksey V. Zimin for providing the bottom topography data of the White Sea.

10. Знак охраны авторского права приводят по ГОСТ Р 7.0.1 внизу первой полосы статьи с указанием фамилии и инициалов автора (-ов) или других правообладателей и года публикации статьи.

Знак охраны авторского права приводят внизу первой полосы статьи с указанием фамилий и инициалов авторов и года публикации статьи.

© Олесова Е.И., 2022

или

© Левитская Н.Г., Бойкова О.Ф., Киян Л.Н., 2022.

11. Перечень затекстовых библиографических ссылок помещают после основного текста статьи с предшествующими словами **«СПИСОК ИСТОЧНИКОВ»**. Использование слов «Библиографический список», «Библиография» не рекомендуется.

12. В перечень затекстовых библиографических ссылок включают записи только на ресурсы, которые упомянуты или цитируются в основном тексте статьи.

Библиографическую запись для перечня затекстовых библиографических ссылок составляют по ГОСТ Р 7.0.5.

13. Отсылки на затекстовые библиографические ссылки оформляют по ГОСТ Р 7.0.5.

14. Библиографические записи в перечне затекстовых библиографических ссылок нумеруют и располагают в порядке цитирования источников в тексте статьи. Список должен содержать не менее 15 названий источников.

15. Дополнительно приводят перечень затекстовых библиографических ссылок на латинице (“**REFERENCES**”) согласно выбранному стилю оформления перечня затекстовых библиографических ссылок, принятому в зарубежных изданиях: Harvard, Vancouver, Chicago, ACS (American Chemical Society), AMS (American Mathematical Society), APA (American Psychological Association) и др. (см. Приложение). Нумерация записей в дополнительном перечне затекстовых библиографических ссылок должна совпадать с нумерацией записей в основном перечне затекстовых библиографических ссылок.

16. Пристатейный библиографический список помещают после перечня затекстовых ссылок с предшествующими словами «Библиографический список».

17. В пристатейный библиографический список включают записи на ресурсы по теме статьи, на которые не даны ссылки, а также записи на произведения лиц, которым посвящена статья. Библиографическую запись для пристатейного библиографического списка составляют по ГОСТ 7.80, ГОСТ Р 7.0.100.

18. Библиографические записи в пристатейном библиографическом списке нумеруют и располагают в алфавитном или хронологическом порядке.

19. Приложение (приложения) к статье публикуют с собственным заглавием. В заглавии или подзаголовочных данных приложения приводят сведения о том, что данная публикация является приложением к основной статье.

При наличии двух и более приложений их нумеруют.

20. В статье могут быть внутритекстовые, подстрочные и затекстовые примечания.

21. Внутритекстовые примечания помещают внутри основного текста статьи в круглых скобках.

22. Подстрочные примечания помещают внизу соответствующей страницы текста статьи.

23. Затекстовые примечания помещают после основного текста статьи перед «Списком источников» с предшествующим словом «Примечания».

24. Затекстовые и подстрочные примечания связывают с текстом, к которому они относятся, знаками выноски или отсылки.

25. Внутритекстовые и подстрочные примечания, содержащие библиографические ссылки, составляют по ГОСТ Р 7.0.5.

26. При публикации статьи, переведённой с языка народов Российской Федерации или иностранного языка, а также при перепечатке статьи из другого источника в подстрочном примечании на первой полосе статьи приводят библиографическую запись на оригинальную статью по ГОСТ 7.80, ГОСТ Р 7.0.100.

ТРЕБОВАНИЯ К ТЕКСТОВОЙ ЧАСТИ СТАТЬИ

Текст статьи предоставляется в редакцию в виде файла с названием, соответствующим фамилии первого автора статьи в формате doc (текстовый редактор Microsoft Word 6.0 и выше), и должен отвечать нижеприведенным требованиям.

Компьютерную подготовку статей следует проводить посредством текстовых редакторов, использующих стандартный код ASCII (Multi-Edit, Norton-Edit, Lexicon), MS Word for Windows или (предпочтительно) любой из версий пакета TeX.

- Параметры страницы: формат – А4; ориентация – книжная; поля: верхнее – 2 см, нижнее – 2 см, левое – 2 см, правое – 2 см; размер страницы – 17 на 26.

- Шрифт Times New Roman; размер шрифта – 12 pt; межстрочный интервал – 1; отступ (абзац) – 1,25.

Следует различать дефис (-) и тире (–). Дефис не отделяется пробелами, а перед тире и после ставится пробел.

Перед знаком пунктуации пробел не ставится.

Кавычки типа « » используются в русском тексте, в иностранном – “ ”.

Кавычки и скобки не отделяются пробелами от заключенных в них слов, например: (при 300 К).

Все сокращения должны быть расшифрованы.

Подписи к таблицам и схемам должны предшествовать последним. Подписи к рисункам располагаются под ними и должны содержать четкие пояснения, обозначения, номера кривых и диаграмм. На таблицы и рисунки должны быть ссылки в тексте, при этом не допускается дублирование информации таблиц, рисунков и схем в тексте. Рисунки и фотографии должны быть предельно четкими (по возможности цветными, но без потери смыслового наполнения при переводе их в черно-белый режим) и представлены в формате .jpg, .eps, .tif, .psd, .psx. Желательно, чтобы рисунки и таблицы были как можно компактнее, но без потери качества. В таблице границы ячеек обозначаются только в «шапке». Каждому столбцу присваивается номер, который используется при переносе таблицы на следующую страницу. Перед началом следующей части в правом верхнем углу курсивом следует написать «Продолжение табл. ...» с указанием ее номера. Сложные схемы, рисунки, таблицы формулы желательно привести на отдельном листе. Не допускается создание макросов Microsoft Word для создания графиков и диаграмм.

Расстояние между строками формул должно быть не менее 1 см.

Следует четко различать написание букв *n*, *h* и *u*; *g* и *q*; *a* и *d*; *U* и *V*; *и*

$\zeta; v, \vartheta$ и т.д. Прописные и строчные буквы, отличающиеся только своими размерами (С и с, К и к, С и с, О и о, З и з и др.), подчеркиваются карандашом двумя чертами: прописные – снизу, строчные – сверху ($\underline{P}, \bar{\underline{p}}; \underline{S}, \bar{\underline{s}}$). Латинские буквы подчеркиваются волнистой чертой снизу, греческие – красным цветом, полужирные символы – синим.

Индексы и показатели степени следует писать четко, ниже или выше строки, и отчеркивать дужкой (\smile – для нижних индексов и \smile – для верхних) карандашом. Цифра 0 (нуль), а также сокращения слов в индексах подчеркиваются прямой скобкой – $\underline{—}$.

Употребление в формулах специальных, в частности, готических и русских букв, а также символов (например, $\mathcal{L}, \mathcal{P}, \mathcal{A}, \mathfrak{D}, \mathfrak{M}, \mathfrak{G}, \mathfrak{F}, \mathfrak{Z}, \mathbb{P}, \mathbb{R}, \nabla, \oplus, \exists$ и др.) следует особо отмечать на полях рукописи.

Нумерация математических формул приводится справа от формулы курсивом в круглых скобках. Для удобства форматирования следует использовать таблицы из двух столбцов, но без границ. В левом столбце приводится формула, в правом – номер формулы.

Ссылки на математические формулы приводятся в круглых скобках курсивом и сопровождаются определяющим словом. Например: ... согласно уравнению (2) ...

Транскрипцию фамилий и имен, встречающихся в ссылке, необходимо по возможности представлять на оригинальном языке (преднамеренно не русифицируя), либо приводить в скобках иноязычный вариант транскрипции фамилии.

Список источников литературы оформляется в соответствии с ГОСТ 7.0.5 в порядке цитирования. Литературный источник в списке литературы указывается один раз (ему присваивается уникальный номер, который используется по всему тексту публикации).

ОБРАЗЦЫ ОФОРМЛЕНИЯ ССЫЛОК НА ЛИТЕРАТУРУ

Общая схема библиографического описания:

КНИГА С ОДНИМ, ДВУМЯ или ТРЕМЯ АВТОРАМИ:
ЗАГОЛОВОК (фамилия, инициалы авторов) ОСНОВНОЕ
ЗАГЛАВИЕ
ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ СВЕДЕНИЯ (учеб. пособие)
СВЕДЕНИЯ ОБ ОТВЕТСТВЕННОСТИ (И.О. Фамилия
редактора, составителя; университет)
СВЕДЕНИЯ ОБ ИЗДАНИИ (2-е изд., перераб. и доп.)
МЕСТО ИЗДАНИЯ (Москва, Новосибирск)
ИЗДАТЕЛЬСТВО
ГОД ИЗДАНИЯ.

КОЛИЧЕСТВО СТРАНИЦ.

Если нет какой-либо области описания – пропускаем.

Примеры:

Книга с одним автором:

Росляков А.В. ОКС №7: архитектура, протоколы, применение.
Москва: ЭкоТрендз, 2010. 315 с.

Книга с двумя авторами:

Ручкин В.Н., Фулин В.А. Архитектура компьютерных сетей.
Москва: ДИАЛОГ-МИФИ, 2010. 238 с.

Книга с тремя авторами:

Тарасевич Л.С., Гребенников П.И., Леусский А.И.
Макроэкономика: учебник. Москва: Высш. образование, 2011. 658с.

Максименко В.Н., Афанасьев В.В., Волков Н.В. Защита
информации в сетях сотовой подвижной связи / под ред. О.Б.
Макаревича. Москва: Горячая линия-Телеком, 2009. 360 с.

Книга с четырьмя и более авторами: Описание начинается с
ОСНОВНОГО ЗАГЛАВИЯ. В сведениях об ответственности
указываются либо все авторы, либо первый автор с добавлением в
квадратных скобках сокращения "и другие" [и др.]

1. История России в новейшее время: учебник /
А.Б. Безбородов, Н.В. Елисеева, Т. Ю. Красовицкая, О.В. Павленко.
Москва: Проспект, 2014. 440с.

или

1. История России в новейшее время: учебник / А.Б. Безбородов
[и др.]. Москва: Проспект, 2014. 440 с.

Книга без автора:

Страхование: учебник / под ред. Т.А. Федоровой. 3-е изд.,
перераб. и доп. Москва: Магистр, 2011. 106 с.

Многотомное издание:

Экономическая история мира. Европа. Т. 3 / под общ. ред. М.В.
Конотопова. Москва: Издат.-торг. корпорация «Дашков и К», 2012.
350 с.

Учебное пособие вуза:

Заславский К.Е. Оптические волокна для систем связи : учеб.
пособие / Сиб. гос. ун-т телекоммуникаций и информатики.
Новосибирск, 2008. 96 с.

или

Заславский К.Е. Оптические волокна для систем связи: учеб. пособие. Новосибирск: СибГУТИ, 2008. 96 с.

Нормативные документы:

Типовая инструкция по охране труда для пользователей персональными электронно-вычислительными машинами (ПЭВМ) в электроэнергетике: РД 153-34.0-03.298-2001. Введ. с 01.05.2001. М., 2002. 91с.

ГОСТ 7.80-2000. Библиографическая запись. Заголовок. Общие требования и правила составления. Введ. 2001-07-01. М., 2000. 7с.

Общая схема описания статей из журналов:

Фамилия И.О. автора статьи. Название статьи // Название журнала. Год. №. С.

Статья с одним автором:

Волков А.А. Метод принудительного деления полосы частот речевого сигнала // Электросвязь. 2010. № 11. С. 48-49.

Статья с тремя авторами:

Росляков А., Абубакиров Т., Росляков Ал. Системы поддержки операционной деятельности провайдеров услуг VPN // Технологии и средства связи. 2011. № 2. С. 60-62.

Статья с четырьмя и более авторами:

Сверхширокополосные сигналы для беспроводной связи / Ю.В. Андреев, А. С. Дмитриев, Л.В. Кузьмин, Т.И. Мохсени // Радиотехника. 2011. № 8. С. 83-90.

Общая схема описания электронного документа:

ЗАГОЛОВОК (фамилия, инициалы авторов) ОСНОВНОЕ ЗАГЛАВИЕ

ОБЩЕЕ ОБОЗНАЧЕНИЕ МАТЕРИАЛА [Электронный ресурс]

СВЕДЕНИЯ, ОТНОСЯЩИЕСЯ К ЗАГЛАВИЮ : справочник

СВЕДЕНИЯ ОБ ОТВЕТСТВЕННОСТИ / под ред. И.И. Бун

МЕСТО ИЗДАНИЯ ГОРОД

ИМЯ ИЗДАТЕЛЯ

ДАТА ИЗДАНИЯ

ПРИМЕЧАНИЯ

1. Смирнов А.И. Информационная глобализация и Россия [Электронный ресурс]: вызовы и возможности. М., 2005. 1 CD-ROM.

Описание ресурсов удаленного доступа (интернет-ресурсы) описание сайта:

Название сайта [Электронный ресурс]: сведения, относящиеся к заглавию / сведения об ответственности (это данные о составителях сайта). Город: Имя (наименование) издателя или распространителя, год. URL: http://www._____ (дата обращения: _____)

Пример:

1. Российская государственная библиотека [Электронный ресурс] / Центр информ. технологий РГБ; ред. Т. В. Власенко ; Web-мастер Н. В. Козлова. Москва: Рос. гос. б-ка, 1997. URL : <http://www.rsl.ru>. (дата обращения: 11.12.13)

2. Исследовано в России [Электронный ресурс] : научный журнал / Моск. физ.- техн. ин-т. Долгопрудный : МФТИ, 1998 . URL: <http://zhurnal.mipt.rssi.ru>. (дата обращения: 11.12.13)

Материал (текст, статья), расположенный на сайте:

Фамилия И.О. авторов. Заглавие текста на экране [Электронный ресурс] // Заглавие сайта: сведения, относящиеся к заглавию / сведения об ответственности. URL: http://www._____ (дата обращения: _____).

Если нет какой-либо области описания – пропускаем.

Пример:

1. Новосибирск [Электронный ресурс] // Википедия: Свободная энциклопедия. URL: <http://www.ru.wikipedia.org/wiki/%CD%EE%E2%EE%F1%E8%E1%E8%F0%F1%EA> (дата обращения: 11.12.13)

Книга из полнотекстовой электронно-библиотечной системы (эбс)

Книга с 1-3 авторами:

Карпенков С.Х. Экология [Электронный ресурс]: учебник. Электрон. Текстовые данные. М.: Логос, 2014. 400 с. URL: <http://www.iprbookshop.ru/21892>. ЭБС «IPRbooks».

Книга с 4 и более авторами:

Сборник задач по аналитической геометрии и линейной алгебре [Электронный ресурс]: учеб. пособие / Л.А. Беклемишева [и

др.]; под ред. Д.В. Беклемишева. Электрон. текстовые дан. Изд. 3-е, испр. СПб.: Лань, 2008. URL: <http://e.lanbook.com/view/book/76/>

Ссылки внутри текста

Затекстовые библиографические ссылки:

В конце абзаца текста в квадратных скобках [3, с. 25]

3 – номер источника в списке литературы с. 25 – номер страницы.

Статьи, оформленные с нарушением перечисленных выше правил, редакцией не рассматриваются.

Образец:

ЛИТЕРАТУРОВЕДЕНИЕ

Научная статья

УДК 81'38

DOI:

СТИЛИСТИЧЕСКОЕ СВОЕОБРАЗИЕ ПОВЕСТИ А.С. ПУШКИНА «КАПИТАНСКАЯ ДОЧКА»

Иван Иванович Иванов¹, Иван Иванович Сидоров²

*^{1,2}Башкирский государственный педагогический университет
им. М.Акмуллы, Уфа, Россия*

¹ivanov@mail.ru

² nova8@mail.ru

Аннотация. В статье проводится стилистический анализ повести А.С. Пушкина «Капитанская дочка», исследуются уникальные стилистические особенности произведения. Анализ текста с точки зрения языковых и стилистических приемов позволяет раскрыть особенности художественного исполнения и языкового мастерства. Исследование фокусируется на использовании лексических оборотов, фразеологизмов, художественных приемов, а также на роли стилистики в создании образов. Результаты анализа помогают более глубоко понять и оценить вклад А.С. Пушкина в развитие русской литературы, а также выдвинуть новые исследовательские гипотезы относительно структуры и смысла «Капитанской дочки»... (не менее 250 слов).

Ключевые слова: А.С. Пушкин, Капитанская дочка, стилистический прием, языковое мастерство, повесть

Для цитирования: Иванов И.И., Сидоров И.И. Стилистическое своеобразие повести А.С. Пушкина «Капитанская дочка» // Вестник Башкирского государственного педагогического университета им. М.Акмуллы. Серия: Филологические науки. 2024. №1. С.

LITERARY STUDIES

Original article

THE STYLISTIC UNIQUENESS OF THE NOVELLA "THE CAPTAIN'S DAUGHTER" BY A.S. PUSHKIN

Ivan I. Ivanov¹, Ivan I. Sidorov²

*^{1,2} Bashkir State Pedagogical University n.a. M. Akmulla, Ufa,
Russia*

¹ivanov@mail.ru

²nova8@mail.ru

Abstract. The article presents a stylistic analysis of Alexander Pushkin's novella "The Captain's Daughter," exploring its unique stylistic features. Analyzing the text from the perspective of language and stylistic devices helps reveal the artistic execution and linguistic mastery of the work. The study focuses on the use of lexical expressions, phraseology, artistic techniques, and the role of stylistics in character creation. The results of the analysis aid in a deeper understanding and appreciation of Alexander Pushkin's contribution to the development of Russian literature, as well as in proposing new research hypotheses regarding the structure and meaning of "The Captain's Daughter." ... (не менее 250 слов).

Keywords: Alexander Pushkin, The Captain's Daughter, stylistic device, linguistic mastery, novella

For citing: Ivanov I.I., Sidorov I.I. Stylistic uniqueness of Alexander Pushkin's novella "The Captain's Daughter" // Bulletin of Bashkir State Pedagogical University named after M. Akmully. Series: Philological Sciences. 2024. №1. pp.

Структура текста публикации:

Введение:

- актуальность темы;
- проблема, которую предстоит исследовать;
- степень разработанности (обзор литературы);
- цель и задачи.

Основная часть:

- теоретико-методологические основы и методы исследования;
- результаты исследования;

Заключение:

- выводы;
- возможные направления дальнейших исследований.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ (не менее 15)

1. Абрамзон С. М. Киргизы и их этногенетические и историко-культурные связи. – Л., 1971.
2. Ахмеров Р. Б. Наскальные знаки и этнонимы башкир. – Уфа: Китап, 1994. – 112 с: ил. ISBN 5-295-01493-2 (Из записок историка-краеведа).
3. Башкорт халык иҗады. 5-се том. Тарихи җобайырҙар, хикәйәттәр, иртәктәр / Төзөүсе, инеш мәкәлә, коммент., глоссарий авторы Н.Т. Зарипов. Яуаплы редактор З.Ф. Ураксин. – Өфө, 2000. – 391 б.

4. Башкорт халық ижады. XIII т. Хайуандар туралында әкиәттәр / Төз, баш һүз авторы Г.Р. Хөсәйенова, аңл. авт-ры Л.Г. Бараг, М.М. Мингажетдинов, Г.Р. Хөсәйенова. – Өфө: Китап, 2009. – 200 б.
5. Башкорт халық ижады. Әкиәттәр III китап / Төз. Н.Т. Зарипов, М.М. Мингажетдинов, аңл. авт-ры Л.Г. Бараг, Н.Т. Зарипов. – Өфө: Башкитап нәшриәте, 1978, – 351-се б.
6. Башкорт халық ижады. Йола фольклоры / Төз., инеш һүз, аңл. авт-ры Ә. Сөләймәнов, Р. Солтантәрәева. – Өфө, Китап: 1995. – 556 б.
7. Башкорт халық ижады. Мәкәлдәр һәм әйтемдәр. Беренсе китап / Төз., баш һүз, аңлатм. авторы. Ф.А. Нәзәршина – Өфө: Китап, 2006. – 544 б.
8. Башкорт халық ижады. Т.5. Тарихи қобайырзар, хикәйэттәр, иртәктәр / Төзөүсе, инеш мәкәлә, коммент., глоссарий авторы Н.Т. Зарипов. Яуаплы редактор З.Ф. Ураксин. – Өфө, Китап, 2000. 5-се том, 391 С.
9. Берёзкин Ю. Е. Реконструкция сюжета создания человека у степных индоевропейцев // Культуры степной Евразии и их взаимодействие с древними цивилизациями. – СПб.: ИИМК РАН. «Периферия». Ред. коллегия. 2012. кн. 2. – 584 с.
10. В преддверии философии: духовные искания древнего человека Г. Франкфорт, Г.А. Франкфорт, Дж.Уилсон, Т. Якобсен. – СПб.: Амфора, 2001. – 314 с
11. Захарова А.Е. Архаическая ритуально-обрядовая символика народа Саха. – Новосибирск: Наука, 2004. – 312с.
12. Инан А. Шаманизм тарихта һәм бәгән. – Өфө: Китап, 1998, 223 б.
13. Куканова В. В. Архаические представления о ветре в калмыцком фольклоре: междисциплинарный подход / В.В. Куканова // Новый филологический вестник. – 2021. – № 2(57). – С. 371-391. – DOI 10.24411/2072-9316-2021-00058. – EDN LZFRJY.
14. Петров А. М. Образы воздушной стихии в русском религиозном фольклоре / А.М. Петров // Религиоведение. – 2022. – № 4. – С. 93-99. – DOI 10.22250/20728662_2022_4_93. – EDN DPLAQW.
15. Султангареева Р.А. Башкирский фольклор: семантика, функции и традиции. Т.2. Календарный фольклор: миф и ритуал. – Уфа: Башк. энцикл., 2019. – 296 с.

REFERENCES

Список источников в конце статьи представляется в транслитерации (с переводом в квадратных скобках [] названия источника на английский язык).

1. Abramzon S.M. Kirgizy i ih etnogeneticheskie i istoriko-kul'turnye svyazi [Kyrgyz people and their ethnogenetic, historical and cultural ties]. – L., 1971.
2. Ahmerov R.B. Naskal'nye znaki i etnonimy bashkir [Rock signs and ethnonyms of Bashkirs]. – Ufa: Kitap, 1994. – 112 s: il. ISBN 5-295-01493-2 (Iz zapisok istorika-kraeveda).
3. Bashkort halyk izhady. 5-se tom. Tarihi қобajyrżar, hikəjəttər, irtəktər [Bashkir folk art. Volume 5. Historical kubairs, legends, tales] / Təzəyse, inesh məkələ, komment., glossarij avtory N.T. Zaripov. YAuaply redaktor Z.F. Uraksin. – Əfə, 2000. – 391 b.
4. Bashkort halyk izhady. XIII t. Hajuandar turahynda əkiəttər [Bashkir folk art. XIII vol. Animal Tales] / Təzə, bash hýz avtory G.R. Həsəjenova, ahl. avt-ry L. G. Barag, M. M. Mingazhətdinov, G.R. Həsəjenova. – Əfə: Kitap, 2009. – 200 b.
5. Bashkort halyk izhady. Əkiəttər III kitap [Bashkir folk art. Fairy Tales book III] / Təzə. N.T. Zaripov, M.M. Mingazhətdinov, ahl. avt-ry L.G. Barag, N.T. Zaripov. – Əfə: Bashkitap nəşriətə, 1978. – 351-se b.
6. Bashkort halyk izhady. Jola fol'klory [Bashkir folk art. Ritual folklore] / Təzə, inesh hýz, ahl. avt-ry Ə. Sələjmənov, R. Soltangərəeva. – Əfə, Kitap: 1995. – 556 b.
7. Bashkort halyk izhady. Məkəldər həm əjtemdər. Berense kitap [Bashkir folk art. Proverbs and sayings. The first book] / Təzə, bashhýz, ahlətm. avtory F.A. Nəzershina. – Əfə: Kitap, 2006. – 544 b.
8. Bashkort halyk izhady. T.5. Tarihi қobajyrżar, hikəjəttər, irtəktər [Bashkir folk art. Vol. 5. Historical kubairs, tales, tales] / Təzəyse, inesh məkələ, komment., glossarij avtory N.T. Zaripov. YAuaply redaktor Z.F. Uraksin. – Əfə, Kitap, 2000. 5-se tom, 391 s.
9. Beryozkin YU. E. Rekonstrukciya syuzheta sozdaniya cheloveka u stepnyh indoeuropejcev [Reconstruction of the plot of human creation among the steppe Indo-Europeans] // Kul'tury stepnoj Evrazii i ih vzaimodejstvie s drevnimi civilizaciyami. – SPb.: IIMK RAN. «Periferiya». Red. kollegiya. 2012. kn. 2. – 584 s.
10. V preddverii filosofii: duhovnye iskaniya drevnego cheloveka G. Frankfort, G.A. Frankfort, Dzh.Uilson, T.Yakobsen [On the threshold of philosophy: the spiritual quest of ancient man G. Frankfort, G.A. Frankfort, J.Wilson, T.Jacobsen]. – SPb.: Amfora, 2001. – 314 s
11. Zaharova A.E. Arhaicheskaya ritual'no-obryadovaya simvolika naroda Saha [Archaic ritual and ceremonial symbols of the Sakha people]. – Novosibirsk: Nauka, 2004. – 312s.
12. Inan A. SHamanizm tarihta həm bəğən [Shamanism in history and today]. – Əfə: Kitap, 1998, 223 b.
13. Kukanova V.V. Arhaicheskie predstavleniya o vetrov v kalmyckom fol'klore: mezhdisciplinarnyj podhod [Archaic ideas about the wind in Kalmyk folklore: an interdisciplinary approach] / V. V. Kukanova //

Novyj filologicheskij vestnik. – 2021. – № 2(57). – S. 371-391. – DOI 10.24411/2072-9316-2021-00058. – EDN LZFRJY.

14. Petrov A.M. Obrazy vozдушноj stihii v russkom religioznom fol'klore [Images of the air element in Russian religious folklore] / A. M. Petrov // Religiovedenie. – 2022. – № 4. – S. 93-99. – DOI 10.22250/20728662_2022_4_93. – EDN DPLAQW.

15. Sultangareeva R.A. Bashkirskij fol'klor:semantika, funkci i tradicii. T.2. Kalendarnyj fol'klor: mif i ritual [Bashkir folklore:Semantics, functions and traditions. Vol. 2. Calendar folklore: myth and ritual]. – Ufa: Bashk. encikl., 2019. – 296 s.

Информация об авторах

И.И. Иванов – аспирант;

И.И. Сидоров – кандидат филологических наук, доцент.

Information about the authors

I.I. Ivanov – graduate student;

I.I. Sidorov – Candidate of Science (Philology), Associate Professor.

Вклад авторов

И.И. Иванов – сбор материала, обработка материала.

И.И. Сидоров – научное редактирование текста; концепция исследования;

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Contribution of the authors

I.I. Ivanov – scientific editing of the text; research concept;

I.I. Sidorov – data collection, data processing.

The authors declare no conflict of interest.

Статья поступила в редакцию 00.00.2024; принята к публикации 00.00.2024.

The article was submitted 00.09.2024; accepted for publication 00.00.2024.

**ВЕСТНИК
БАШКИРСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО
ПЕДАГОГИЧЕСКОГО УНИВЕРСИТЕТА
им. М. АКМУЛЛЫ**

16 +

Серия: Естественные науки.

**Редакция не всегда разделяет мнение авторов.
Статьи публикуются в авторской редакции.**

Компьютерный набор.
Гарнитура Times New Roman
Гарнитура Times.
Формат 70×108/16
Тираж 1000 экз.