

Вестник¹⁶⁺

Башкирского государственного
педагогического университета
им. М. Акмуллы



Серия:
Естественные науки

1/2026

ВЕСТНИК



БАШКИРСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО ПЕДАГОГИЧЕСКОГО УНИВЕРСИТЕТА ИМ. М. АКМУЛЛЫ

Научно-практический журнал

Серия:

Естественные науки

№ 1/ 2026

Учредитель
Федеральное государственное
бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
«Башкирский государственный
педагогический университет им. М.
Акмоллы»

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

Адрес редакции:
450077, РБ, г. Уфа,
ул. Октябрьской революции, 3-а,
корп. 3., каб. 02
Тел.: 8 (347) 246-92-42
E-mail: vestnik.bspu@yandex.ru

© Редакция Вестника БГПУ
им. М. Акмоллы.

© Муратов И.М., обложка, 2024.
Издается 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.

Ответственный редактор:
Аманбаева З.С.

Ответственный секретарь:
Масалимова В.В.

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
Гюльсум
Энвер кызы**

канд. хим. наук, доцент, ведущий научный сотрудник лаборатории «Изучение антимикробных 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
Абузарович**

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

ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ФИЗИКА

- Попов И.П.* 6
Математическое моделирование сильного взаимодействия

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ, ЧИСЛЕННЫЕ МЕТОДЫ И КОМПЛЕКСЫ ПРОГРАММ

- Сагитова А.Р., Степанов В.В.* 14
Об индексах дефекта сингулярного дифференциального оператора пятого порядка

ИНФОРМАТИКА И ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА

- Орлова Т.С., Кожяхметова Р.Н., Гонцова А.О., Гонцов Е.О.* 26
Разработка Help Desk системы на платформе 1С

ХИМИЧЕСКИЕ НАУКИ

- Алиева К.Ш.* 40
Фиторегуляторные свойства галловой кислоты
- Гасымова Ф.И.* 58
Фитостимуляторы на основе производных кумаровых кислот
- Гейдарли Г.З.* 70
Ванилиновая кислота и ее производные для применения в агрохимии
- Ковалев Р.Ю.* 85
Влияние термической обработки электродного пека на выход и прочностные характеристики карбонизата пеко-коксовой массы
- Мовсумова А.Х., Расулов Ч.К., Мамедова А.М., Гейдарли Г.З.* 97
Эллаговая кислота как регулятор роста растений

БИОЛОГИЧЕСКИЕ НАУКИ

- Саттаров В.Н., Сагитов С.Т., Абдрахимова Ю.Р., Сяндюкова А.Р., Ильясов Р.А., Ильясова А.Ю., Саттарова А.В.* 110
Первичные данные полевых и лабораторных исследований северо-башкирского экотипа *Apis mellifera*

<i>Торовина А.А., Адиятов Р.С., Халитова Э.Х., Шамсетдинова Г.Р.</i>	123
Изготовление микропрепаратов	

ОБРАЗОВАНИЕ И ПЕДАГОГИЧЕСКИЕ НАУКИ

<i>Саева Э.У., Фазлутдинова А.И.</i>	131
Экологическая тропа «Шаг к природе» как средство формирования экологической культуры учащихся среднего звена в условиях городской школы	
<i>Шихова А.М., Измаилов Р.Н.</i>	140
Дифференциация систем задач по типам одарённости учащихся 7-9 классов в области астрономии	

ПРАВИЛА ДЛЯ АВТОРОВ

<i>Общие положения</i>	151
<i>Рекомендуемая структура публикаций</i>	152
<i>Требования к текстовой части статьи</i>	161
<i>Образцы оформления ссылок на литературу</i>	162

ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ФИЗИКА

Научная статья

УДК 539.141

DOI 10.21510/3034-266X-2026-1-6-13

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ СИЛЬНОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ

Игорь Павлович Попов

*Курганский государственный университет, Курган, Россия
uralakademia@kurganstalmost.ru*

Аннотация. В работе предложена модель сильного взаимодействия, основанная на взаимодействии электрических диполей. Показано, что сила притяжения между двумя диполями с антипараллельной ориентацией практически неотличима от силы притяжения между нуклонами. В рамках дипольной модели получено логичное объяснение пяти ключевых свойств сильного взаимодействия: короткодействующий характер сил притяжения, независимость от электрических зарядов нуклонов, зависимость от взаимной ориентации спинов, а также свойство насыщения. Установлено, что диполи с одинаковым направлением вращения в плоскостях, перпендикулярных соединяющей их прямой, создают постоянную силу притяжения, аналогичную ядерной. Модель не претендует на описание структуры нуклонов и не предполагает объединения сильного и электромагнитного взаимодействий.

Ключевые слова: сильное взаимодействие, нуклон, спин, насыщение, ядро, протон, нейтрон, дейтрон

Для цитирования: Попов И.П. Математическое моделирование сильного взаимодействия // Вестник Башкирского государственного педагогического университета им. М.Акмиллы. Серия: Естественные науки. 2026. №1. С. 6-13.

THEORETICAL PHYSICS

Original article

MATHEMATICAL MODELING OF STRONG INTERACTION

Igor P. Popov

Kurgan State University, Kurgan, Russia

uralakademia@kurganstalmost.ru

Abstract. The paper proposes a model of strong interaction based on the interaction of electric dipoles. It is shown that the attractive force between two dipoles with antiparallel orientation is practically indistinguishable from the attractive force between nucleons. Within the framework of the dipole model, a logical explanation is obtained for five key properties of the strong interaction: the short-range nature of attractive forces, independence from the electric charges of nucleons, dependence on the mutual orientation of spins, and the saturation property. It is established that dipoles with the same direction of rotation in planes perpendicular to the line connecting them create a constant attractive force analogous to the nuclear force. The model does not claim to describe the structure of nucleons and does not imply the unification of strong and electromagnetic interactions.

Keywords: strong interaction, nucleon, spin, saturation, nucleus, proton, neutron, deuteron

For citing: Popov I.P. Mathematical modeling of strong interaction // Bulletin of the Bashkir State Pedagogical University named after M. Akmulla. Series: Natural Sciences. 2026; No. 1. pp. 6-13.

Введение

Сильное взаимодействие характеризуется, в частности, пятью свойствами.

1. Силы являются притягивающими.
2. Силы являются существенно короткодействующими.
3. Силы не зависят от электрических зарядов нуклонов.
4. Силы зависят от взаимной ориентации спинов нуклонов.
5. Взаимодействие обладает свойством насыщения.

Указанное описание является феноменологическим.

Целью работы является моделирование взаимодействия похожего на сильное и объяснение ДЛЯ НЕГО указанных пяти свойств.

Задачей работы является установление взаимодействия электрических диполей [1-3] и сравнение его с сильным.

Диполи являются в целом электрически нейтральными [4-6], однако на расстояниях сопоставимых с их плечами локальные силы притяжения и отталкивания не компенсируют друг друга, что обуславливает короткодействующий характер их взаимодействия и объясняет выбор диполей для моделирования взаимодействия похожего на сильное [7-9]. Тем более, что в последнее время

активизировались поиски электрического дипольного момента легких ядер.

По причинам, изложенным в [10], квантовое рассмотрение не используется.

Короткодействующие силы притяжения

Если у диполей есть лишь вращательные степени свободы, то по очевидным причинам они займут антипараллельное положение с равными диагоналями (рис. 1).

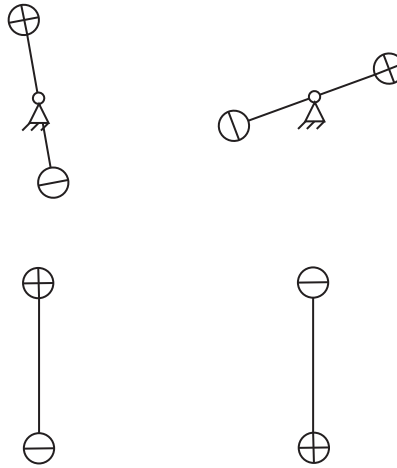


Рис. 1. – Диполи

Плечо диполей – d . Расстояние между ними – r . Заряды – q [11-13].

Разноименные заряды диполей притягиваются с силой

$$F_1 = 2 \frac{q^2}{4\pi\epsilon_0 r^2}.$$

Одноименные заряды диполей отталкиваются с силой

$$F_2 = -2 \frac{q^2}{4\pi\epsilon_0 (r^2 + d^2)}.$$

Суммарная сила взаимодействия диполей является ПРИТЯГИВАЮЩЕЙ

$$\begin{aligned} F_d(r) &= F_1 + F_2 = 2 \frac{q^2}{4\pi\epsilon_0 r^2} - 2 \frac{q^2}{4\pi\epsilon_0 (r^2 + d^2)} = \\ &= 2 \frac{q^2}{4\pi\epsilon_0} \left(\frac{1}{r^2} - \frac{1}{r^2 + d^2} \right), \quad (1) \end{aligned}$$

В то же время потенциальная энергия взаимодействия двух нуклонов ПРИБЛИЖЕННО равна

$$U_n(r) \approx -k \frac{\exp(-r/r_0)}{r},$$

где k – константа сильного взаимодействия, r_0 – размер атомного ядра.

Сила притяжения нуклонов ПРИБЛИЖЕННО равна

$$F_n(r) = \frac{dU_n(r)}{dr} \approx k \frac{\exp(-r/r_0)}{rr_0} + k \frac{\exp(-r/r_0)}{r^2} =$$

$$= k \frac{\exp(-r/r_0)}{r} \left(\frac{1}{r_0} + \frac{1}{r} \right).$$

На рис. 2 представлены $F_d(r)$ и $F_n(r)$.

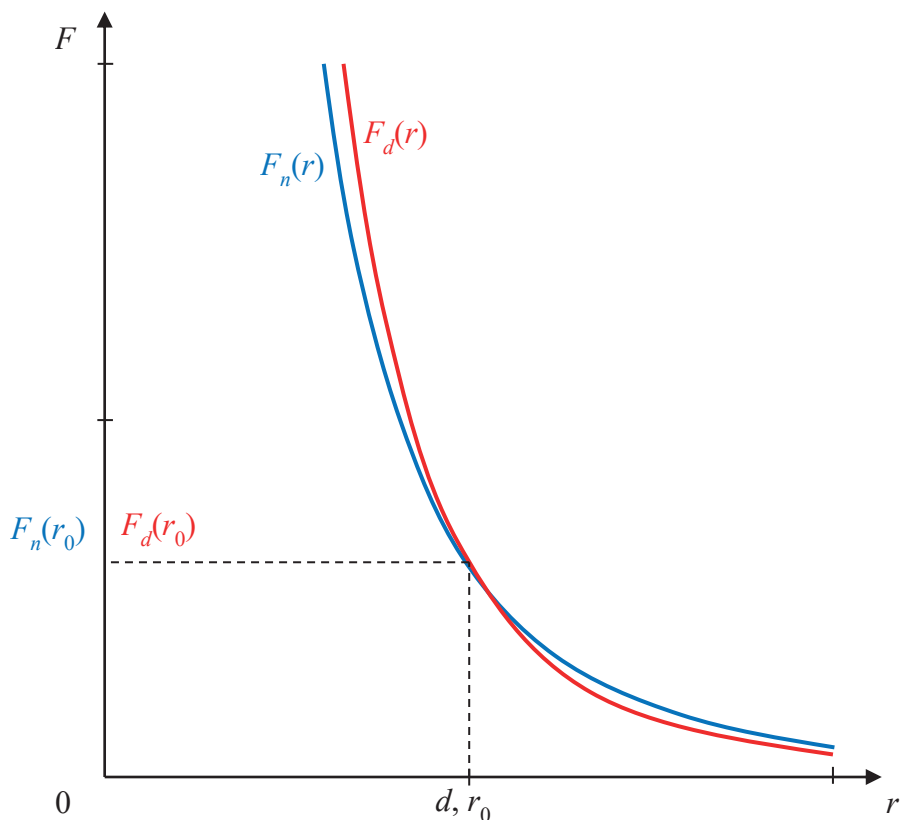


Рис. 2. Сравнение сил взаимодействия

Почти идеальное совпадение графиков свидетельствует о достоверности дипольной модели сильного взаимодействия.

Таким образом, дипольная модель удовлетворительно объясняет первые два свойства сильного взаимодействия, а именно: силы являются притягивающими и существенно короткодействующими.

Независимость от электрических зарядов нуклонов

В связи с тем, что ядерные силы несопоставимо больше электромагнитных, для рассматриваемой дипольной модели выполняется условие – $q \ll e$, где e – заряд электрона [14, 15].

Поэтому уменьшение отрицательных зарядов обоих диполей или одного диполя на ОДИН заряд электрона практически не повлияет на величину силы (1).

Диполи (диполь) в этом случае являются формальными аналогами протонов. (равнозарядные диполи являются формальными аналогами нейтронов).

Таким образом, дипольная модель удовлетворительно объясняет третье свойство сильного взаимодействия, а именно: силы не зависят от электрических зарядов нуклонов.

Зависимость от взаимной ориентации спинов нуклонов

На рис. 1 видно, что диполи сохраняют антипараллельное положение, при котором только и возможно существование силы притяжения (1) между ними, исключительно при одинаковом направлении их вращения в плоскостях перпендикулярных рисунку (роторы совпадают друг с другом и прямой, соединяющей середины диполей). При всякой другой ориентации вращения постоянная сила притяжения (1) не возникает.

Нейтрон и протон притягиваются и образуют дейтрон только тогда, когда их спины параллельны друг другу.

Таким образом, дипольная модель удовлетворительно объясняет четвертое свойство сильного взаимодействия, а именно: силы зависят от взаимной ориентации спинов нуклонов.

О свойстве насыщения

Пространственно-геометрические свойства диполей вкупе с короткодействующим характером сил их притяжения не предоставляют им возможности взаимодействовать с большим числом других диполей. Лишь с самыми непосредственными соседями. Подобно тому, как шахматный король может ходить лишь на смежные с ним поля.

Таким образом, дипольная модель удовлетворительно объясняет пятое свойство сильного взаимодействия, а именно: оно обладает свойством насыщения.

Заключение

Представлена МОДЕЛЬ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ похожего на сильное, пять свойств которого получили в рамках этой модели логичное объяснение.

На моделирование собственно нуклонов представленная работа не претендует и на объединение сильного и электромагнитного взаимодействий не намекает.

Установлено (рис. 2), что сила взаимодействия нуклонов практически неотличима от силы взаимодействия диполей.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Popov I.P. Hypothesis on the chemical structure of dark matter // Butlerov Communications B. – 2025. – V. 11. – № 4. – Id.1. DOI: 10.37952/ROI-jbc-01/25-84-10-58/ROI-jbc-B/25-11-4-1
2. Попов И.П. Об одной гипотезе Д.И. Менделеева // Вестник Томского государственного университета. Химия. – 2023. – № 32. – С. 75-86. DOI: 10.17223/24135542/32/6
3. Попов И.П. О размере атома позитрония в контексте задачи двух тел // Прикладная физика и математика. – 2024. – № 2. – С. 14–16. DOI: 10.25791/pfim.02.2024.1291
4. Павлов В.Д. О корректности размера позитрония // Вестник Томского государственного университета. Химия. – 2024. – № 33. – С. 24-32. DOI: 10.17223/24135542/33/2
5. Павлов В.Д. Расчетный минимальный радиус позитрония // Инженерная физика. – 2024. – № 2. – С. 24-29. DOI: 10.25791/infizik.2.2024.1385
6. Попов И.П. Двойные стандарты при описании атомов гелия и позитрония // Вестник Томского государственного университета. Химия. – 2024. – № 35. – С. 143-151. DOI: 10.17223/24135542/35/11
7. Павлов В.Д. Противоречия математических моделей атомов гелия и позитрония // Инженерная физика. – 2024. – № 9. – С. 45-48. DOI: 10.25791/infizik.9.2024.1426
8. Безденежных В.И. Размер атома гелия и его связь с квантом кинетического момента // Инженерная физика. – 2025. – № 12. – С. 42-45. DOI: 10.25791/infizik.12.2025.1522
9. Попов И.П. Вычисление размера позитрония // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Физико-математические науки. – 2024. – № 3. – С. 75–85. DOI: 10.21685/2072-3040-2024-3-7
10. Popov I.P. Seven Singular Points in Quantum Mechanics // Technical Physics. – 2024. – V. 69. – № 8. – P. 2406-2408. DOI: 10.1134/s1063784224700427
11. Popov I.P. About the Emissivity of Charges // Optics and Spectroscopy. – 2023. – V. 131. – № 12. – P. 1218–1220. DOI: 10.1134/S0030400X24700176
12. Павлов В.Д. Теоремы об излучении заряда // Инженерная физика. – 2021. – № 6. – С. 37–40. DOI: 10.25791/infizik.6.2021.1213

13. Павлов В.Д. Энергетика излучения электрического заряда и ее следствия // Известия Уфимского научного центра РАН. – 2021. – № 4. – С. 5–8. DOI: 10.31040/2222-8349-2021-0-4-5-8
14. Попов И.П. Размер электрона с учетом спина // Инженерная физика. – 2016. – № 9. – С. 45–46.
15. Попов И.П. Два вывода формулы для кванта магнитного потока, обусловленного спином электрона // Вестник Башкирского государственного педагогического университета им. М. Акмуллы. Серия: Естественные науки. – 2025. – №3. – С. 31-38. DOI 10.21510/3034-266X-2025-3-31-38

REFERENCES

1. Popov I.P. Hypothesis on the chemical structure of dark matter / I.P. Popov // Butlerov Communications B. 2025. V. 11. № 4. Id.1. DOI: 10.37952/ROI-jbc-01/25-84-10-58/ROI-jbc-B/25-11-4-1
2. Popov I.P. Ob odnoy gipoteze D.I. Mendeleeva [On one hypothesis of D.I. Mendeleev] / I.P. Popov // Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo universiteta. Khimiya. 2023. № 32. S. 75-86. DOI: 10.17223/24135542/32/6
3. Popov I.P. O razmere atoma pozitroniya v kontekste zadachi dvukh tel [On the size of the positronium atom in the context of the two-body problem] / I.P. Popov // Prikladnaya fizika i matematika. 2024. № 2. S. 14–16. DOI: 10.25791/pfim.02.2024.1291
4. Pavlov V.D. O korrektnosti razmera pozitroniya [On the correctness of the size of positronium] / V.D. Pavlov // Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo universiteta. Khimiya. 2024. № 33. S. 24-32. DOI: 10.17223/24135542/33/2
5. Pavlov V.D. Raschetnyy minimal'nyy radius pozitroniya [Calculated minimum radius of positronium] / V.D. Pavlov // Inzhenernaya fizika. 2024. № 2. S. 24-29. DOI: 10.25791/infizik.2.2024.1385
6. Popov I.P. Dvoynnye standarty pri opisani atomov geliya i pozitroniya [Double standards in the description of helium and positronium atoms] / I.P. Popov // Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo universiteta. Khimiya. 2024. № 35. S. 143-151. DOI: 10.17223/24135542/35/11
7. Pavlov V.D. Protivorechiya matematicheskikh modeley atomov geliya i pozitroniya [Contradictions in mathematical models of helium and positronium atoms] / V.D. Pavlov // Inzhenernaya fizika. 2024. № 9. S. 45-48. DOI: 10.25791/infizik.9.2024.1426
8. Bezdeneshnykh V.I. Razmer atoma geliya i yego svyaz' s kvantom kineticheskogo momenta [The size of the helium atom and its relationship with the quantum of kinetic momentum] / V.I. Bezdeneshnykh // Inzhenernaya fizika. 2025. № 12. S. 42-45. DOI: 10.25791/infizik.12.2025.1522

9. Popov I.P. Vychisleniye razmera pozitroniya [Calculation of the size of positronium] / I.P. Popov // Izvestiya vysshih uchebnykh zavedeniy. Povolzhskiy region. Fiziko-matematicheskiye nauki. 2024. № 3. S. 75–85. DOI: 10.21685/2072-3040-2024-3-7
10. Popov I.P. Seven Singular Points in Quantum Mechanics / I.P. Popov // Technical Physics. 2024. V. 69. № 8. P. 2406-2408. DOI: 10.1134/s1063784224700427
11. Popov I.P. About the Emissivity of Charges / I.P. Popov // Optics and Spectroscopy. 2023. V. 131. № 12. P. 1218–1220. DOI: 10.1134/S0030400X24700176
12. Pavlov V.D. Teoremy ob izluchanii zaryada [Theorems on charge radiation] / V.D. Pavlov // Inzhenernaya fizika. 2021. № 6. S. 37–40. DOI: 10.25791/infizik.6.2021.1213
13. Pavlov V.D. Energetika izlucheniya elektricheskogo zaryada i yeye sledstviya [Energy of electric charge radiation and its consequences] / V.D. Pavlov // Izvestiya Ufimskogo nauchnogo tsentra RAN. 2021. № 4. S. 5–8. DOI: 10.31040/2222-8349-2021-0-4-5-8
14. Popov I.P. Razmer elektrona s uchetom spina [Electron size taking into account spin] / I.P. Popov // Inzhenernaya fizika. 2016. № 9. S. 45–46.
15. Popov I.P. Dva vyvoda formuly dlya kvanta magnitnogo potoka, obuslovlennogo spinom elektrona [Two derivations of the formula for the quantum of magnetic flux caused by the electron spin] / I.P. Popov // Vestnik Bashkirskogo gosudarstvennogo pedagogicheskogo universiteta im. M. Akmully. Seriya: Yestestvennyye nauki. 2025. №3. S. 31-38. DOI 10.21510/3034-266X-2025-3-31-38

Информация об авторе

И.П. Попов – кандидат технических наук, ст. преподаватель кафедры энергетики и технологии металлов.

Information about the author

I.P. Popov – Candidate of Technical Sciences, Senior Lecturer at the Department of Power Engineering and Metal Technology

Статья поступила в редакцию 05.02.2026; принята к публикации 09.03.2026.

The article was submitted 05.02.2025; accepted for publication 09.03.2026.

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ, ЧИСЛЕННЫЕ МЕТОДЫ И КОМПЛЕКСЫ ПРОГРАММ

Научная статья

УДК 517.928

DOI 10.21510/3034-266X-2026-1-14-25

ОБ ИНДЕКСАХ ДЕФЕКТА СИНГУЛЯРНОГО ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНОГО ОПЕРАТОРА ПЯТОГО ПОРЯДКА

*Айгуль Рашитовна Сагитова¹, Виталий Владимирович
Степанов²*

¹ Уфимский университет науки и технологий, Уфа, Россия

² Башкирский государственный педагогический университет
им. М.Акмиллы, Уфа, Россия

¹ sagitova-ar21@yandex.ru

² vitaliystepanov2019@mail.ru

Аннотация. Работа посвящена исследованию индексов дефекта сингулярного дифференциального оператора пятого порядка. Рассматривается дифференциальное уравнение с растущими коэффициентами на полуоси $[0, \infty)$.

Получены асимптотические формулы для фундаментальной системы решений этого уравнения при $x \rightarrow \infty$. На их основе проведён анализ принадлежности решений пространству $L^2[0, \infty)$, что позволило вычислить индексы дефекта оператора.

Ключевые слова: индексы дефекта, дифференциальное уравнение, асимптотическое поведение фундаментальной системы решений

Для цитирования: Сагитова А.Р., Степанов В.В. Об индексах дефекта сингулярного дифференциального оператора пятого порядка // Вестник Башкирского государственного педагогического университета им. М.Акмиллы. Серия: Естественные науки. 2026. № 1. С. 14-25.

MATHEMATICAL MODELING, NUMERICAL METHODS AND SOFTWARE PACKAGES

Original article

ON THE DEFICIENCY INDICES OF A SINGULAR FIFTH-ORDER DIFFERENTIAL OPERATOR

Aigul R. Sagitova¹, Vitaly V. Stepanov²

¹ *Ufa University of Science and Technology, Ufa, Russia*

² *Bashkir State Pedagogical University n. a. M. Akmulla, Ufa, Russia*

¹ *sagitova-ar21@yandex.ru*

² *vitalivstepanov2019@mail.ru*

Abstract. This work investigates the deficiency indices of a singular fifth-order differential operator. A differential equation with increasing coefficients on the half-line $[0, \infty)$ is considered.

Asymptotic formulas are obtained for the fundamental system of solutions of this equation as $x \rightarrow \infty$. Based on these formulas, the square-integrability of solutions in the space $L^2[0, \infty)$ is analyzed, which allowed for the calculation of the operator's deficiency indices.

Keywords: deficiency indices, differential equation, asymptotic behavior of a fundamental system of solutions

For citing: Sagitova A.R., Stepanov V.V. On the deficiency indices of a singular fifth-order differential operator // Bulletin of Bashkir State Pedagogical University named after M. Akmulla. Series: Natural Sciences. 2026. No. 1. pp. 14-25.

Рассматривается уравнение следующего вида:

$$2iy^{(5)} + p_0(x)y - (p_1(x)y')' + (p_2(x)y'')'' + \\ + i[(q_0(x)y)' + (q_0(x)y') - (q_1(x)y')'' - (q_1(x)y'')')] = i\sigma y,$$

где $\sigma \neq 0$, $0 \leq x < \infty$ и $p_k(x)$, $k = \overline{0, 2}$, $q_j(x)$, $j = \overline{0, 1}$ — дважды непрерывно дифференцируемые вещественнозначные функции.

Характеристический многочлен этого уравнения

$$F(x, \sigma, \mu) = 2i\mu^5 + p_2(x)\mu^4 - 2iq_1(x)\mu^3 - p_1(x)\mu^2 + 2iq_0(x)\mu + \\ + p_0(x) - i\sigma.$$

Обозначим:

$$y_{k0}(x, \sigma) = \left(\frac{\partial F(x, \sigma, \mu_k)}{\partial \mu} \right)^{-1/2} \exp \left\{ \int_{x_0}^x \mu_k(t, \sigma) dt \right\},$$

где $\mu_k(x, \sigma)$ корни уравнения $F(x, \sigma, \mu) = 0$.

Теорема 1: Пусть

- 1) $|p_0(x)| \rightarrow \infty$ при $x \rightarrow \infty$;

- 2) При довольно большом $R > 0$ и для $x \geq R$ функции $p'_k(x), q'_j(x)$ не меняют знак и $|p'_k(x)| = O(|p_k(x)|^{\alpha_k})$, $0 < \alpha_k < 1 + 1/(10 - 4k)$, $k = 0, 1, 2$, $|q'_j(x)| = O(|q_j(x)|^{\beta_j})$, $0 < \beta_j < 1 + 1/(8 - 4j)$, $j = 0, 1$;
 - 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 – константы, $\mu_i(x, \sigma)$ – корни уравнения $F(x, \sigma, \mu) = 0$;
 - 4) Для $x \geq R$ и $i \neq k$ $Re(\mu_i(x, \sigma) - \mu_k(x, \sigma))$ не меняет знак.
- Тогда уравнение (1) имеет пять линейно независимых решений $y_1(x, \sigma), \dots, y_5(x, \sigma)$ таких, что при $x \rightarrow \infty$ верны асимптотические формулы:

$$\begin{aligned} y_k^{[p]}(x, \sigma) &= \mu_k^p(x, \sigma) y_{k0}(x, \sigma) (1 + o(1)), p = \overline{0, 1}. \\ y_k^{[2]}(x, \sigma) &= \sqrt{2} \mu_k^2(x, \sigma) y_{k0}(x, \sigma) (1 + o(1)), \\ y_k^{[3]}(x, \sigma) &= \mu_k^3(x, \sigma) (2 - ip_2(x) \mu_k^{-1}(x, \sigma) + \\ &\quad + q_1(x) \mu_k^{-2}(x, \sigma)) y_{k0}(x, \sigma) (1 + o(1)), \\ y_k^{[4]}(x, \sigma) &= \mu_k^4(x, \sigma) (2 - ip_2(x) \mu_k^{-1}(x, \sigma) + 2q_1(x) \mu_k^{-2}(x, \sigma) - \\ &\quad - ip_1(x) \mu_k^{-3}(x, \sigma) + \\ &\quad + q_0(x) \mu_k^{-4}(x, \sigma)) y_{k0}(x, \sigma) (1 + o(1)), k = \overline{1, 5}, \end{aligned}$$

где $y_k^{[p]}(x, \sigma)$ – квазипроизводные ([1], стр. 181-182).

Заметим, что условие 3 из теоремы 1 означает, что корни характеристического уравнения имеют одинаковый порядок роста на бесконечности.

Вкратце о методе доказательства. Заменяем уравнение (1) системой линейных дифференциальных уравнений первого порядка. Для этого рассмотрим

$$Y = \text{col}(y^{[0]}, y^{[1]}, y^{[2]}, y^{[3]}, y^{[4]}),$$

где

$$\begin{aligned} y^{[0]}(x) &= y, \\ y^{[1]}(x) &= y', \\ y^{[2]}(x) &= \sqrt{2} y'', \\ y^{[3]}(x) &= 2y''' + q_1(x)y' - ip_2(x)y'', \\ y^{[4]}(x) &= 2y'' + q_1(x)y'' - ip_2(x)y''' + q_1(x)y'' + q_0(x)y - ip_1(x)y'. \end{aligned}$$

Тогда получим, что уравнение (1) эквивалентно системе:

$$Y' = A(x, \sigma)Y.$$

Матрица $A(x, \sigma)$ имеет размер 5×5 , её характеристический многочлен совпадает с функцией $F(x, \sigma, \mu)$.

Далее приводим матрицу $A(x, \sigma)$ к диагональному виду с помощью матрицы $T(x)$. Столбцы $T(x)$ строятся на основе корней μ_i характеристического уравнения. Специальным выбором множителей в $T(x)$ обнуляются диагональные элементы матрицы $T^{-1}T'$. Затем показывается, что все недиагональные элементы матриц – коэффициентов в преобразованной системе суммируемы на

бесконечности (используя условия роста коэффициентов p_k , q_j и свойства корней μ_i). Далее применяя лемму 1 ([1], с. 288-292) и возвращаясь к переменной Y , получаем, что теорема 1 доказана.

Асимптотические формулы, полученные в теореме 1, позволяют вычислить индексы дефекта соответствующего дифференциального оператора. То есть, сколько решений $y_k(x, \sigma)$ удовлетворяет условию:

$$\int_{x_0}^{\infty} |y_k(x, \sigma)|^2 dx < \infty.$$

Из теоремы 1 получаем формулы (2), (3), (4), (5):

$$y_k(x, \sigma) = y_{k0}(x, \sigma)(1 + o(1)), k = \overline{1, 5}. \quad (2)$$

$$y_{k0}(x, \sigma) = \left(\frac{\partial F(x, \sigma, \mu_k)}{\partial \mu_k} \right)^{-\frac{1}{2}} \exp \left(\int_{x_0}^{\infty} \mu_k(t, \sigma) dt \right), \quad (3)$$

$$F(x, \sigma, \mu) = 2i\mu^5 + p_2(x)\mu^4 - 2iq_1(x)\mu^3 - p_1(x)\mu^2 + 2iq_0(x)\mu + p_0(x) - i\sigma, \quad (4)$$

$$\frac{\partial F(x, \sigma, \mu_k)}{\partial \mu_k} = 10i\mu_k^4 + 4p_2(x)\mu_k^3 - 6iq_1(x)\mu_k^2 - 2p_1(x)\mu_k + 2iq_0(x), \quad (5)$$

где $\mu_k(x, \sigma)$ – корни уравнения $F(x, \sigma, \mu) = 0$.

Формула (3) означает, что принадлежность решений пространству $L^2[0, \infty)$ зависит от сходимости интегралов:

$$\int_{x_0}^{\infty} \left| \left(\frac{\partial F(x, \sigma, \mu_k)}{\partial \mu_k} \right)^{-1} \right| \exp \left(\int_{x_0}^x 2\operatorname{Re}(\mu_k(t, \sigma)) dt \right) dx.$$

Пример 1. Рассмотрим случай уравнения (1), когда коэффициенты p_1, p_2, q_0, q_1 равны нулю. Получаем:

$$2iy^{(5)} + p_0(x)y = i\sigma y, \quad (6)$$

$$F(x, \sigma, \mu) = 2i\mu^5 + p_0(x) - i\sigma. \quad (7)$$

Вычислим корни μ_k уравнения $F(x, \sigma, \mu) = 0$.

Пусть $p_0(x) \rightarrow -\infty$ при $x \rightarrow \infty$.

Уравнение (7) примет вид (8):

$$2i\mu^5 - |p_0(x)| - i\sigma = 0 \quad (8)$$

$$2i\mu^5 = |p_0(x)| + i\sigma$$

$$\mu^5 = \frac{(|p_0| + i\sigma)}{2i} = -\frac{1}{2}(i|p_0| - \sigma) = -\frac{1}{2}i|p_0|\left(1 + \frac{i\sigma}{|p_0|}\right)$$

$$\mu_k = \sqrt[5]{-\frac{1}{2}i|p_0|\left(1 + \frac{i\sigma}{|p_0|}\right)^{1/5}}.$$

По формуле Тейлора:

$$\left(1 + \frac{i\sigma}{|p_0|}\right)^{1/5} = 1 + \frac{1}{5}\frac{i\sigma}{|p_0|} - \frac{2}{25}\left(\frac{i\sigma}{|p_0|}\right)^2 + \frac{6}{125}\left(\frac{i\sigma}{|p_0|}\right)^3 - \dots$$

Вычислим $\sqrt[5]{-\frac{1}{2}i}$. Получим:

- 1) $\frac{1}{\sqrt[5]{2}}\left(\cos\left(\frac{3\pi}{10}\right) + i\sin\left(\frac{3\pi}{10}\right)\right);$
- 2) $\frac{1}{\sqrt[5]{2}}\left(\cos\left(\frac{7\pi}{10}\right) + i\sin\left(\frac{7\pi}{10}\right)\right);$
- 3) $\frac{1}{\sqrt[5]{2}}\left(\cos\left(\frac{11\pi}{10}\right) + i\sin\left(\frac{11\pi}{10}\right)\right);$
- 4) $\frac{1}{\sqrt[5]{2}}\left(\cos\left(\frac{3\pi}{2}\right) + i\sin\left(\frac{3\pi}{2}\right)\right) = -\frac{i}{\sqrt[5]{2}};$
- 5) $\frac{1}{\sqrt[5]{2}}\left(\cos\left(\frac{19\pi}{10}\right) + i\sin\left(\frac{19\pi}{10}\right)\right).$

Тогда при $x \rightarrow \infty$ имеем:

$$\begin{aligned}\mu_1 &= \frac{1}{\sqrt[5]{2}}\left(\cos\left(\frac{3\pi}{10}\right) + i\sin\left(\frac{3\pi}{10}\right)\right)\sqrt[5]{|p_0|}\left(1 + \frac{1}{5}\frac{i\sigma}{|p_0|}\right)(1 + o(1)) = \\ &= \frac{1}{\sqrt[5]{2}}\left(\cos\left(\frac{3\pi}{10}\right)\sqrt[5]{|p_0|} + \frac{1}{5}\cos\left(\frac{3\pi}{10}\right)\frac{i\sigma}{|p_0|^{4/5}} + i\sin\left(\frac{3\pi}{10}\right)\sqrt[5]{|p_0|} - \right. \\ &\quad \left. - \sin\left(\frac{3\pi}{10}\right)\frac{1}{5}\frac{\sigma}{|p_0|^{4/5}}\right)(1 + o(1));\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\mu_2 &= \frac{1}{\sqrt[5]{2}}\left(\cos\left(\frac{7\pi}{10}\right) + i\sin\left(\frac{7\pi}{10}\right)\right)\sqrt[5]{|p_0|}\left(1 + \frac{1}{5}\frac{i\sigma}{|p_0|}\right)(1 + o(1)) = \\ &= \frac{1}{\sqrt[5]{2}}\left(\cos\left(\frac{7\pi}{10}\right)\sqrt[5]{|p_0|} + \frac{1}{5}\cos\left(\frac{7\pi}{10}\right)\frac{i\sigma}{|p_0|^{4/5}} + i\sin\left(\frac{7\pi}{10}\right)\sqrt[5]{|p_0|} - \right. \\ &\quad \left. - \sin\left(\frac{7\pi}{10}\right)\frac{1}{5}\frac{\sigma}{|p_0|^{4/5}}\right)(1 + o(1));\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\mu_3 &= \frac{1}{\sqrt[5]{2}}\left(\cos\left(\frac{11\pi}{10}\right) + i\sin\left(\frac{11\pi}{10}\right)\right)\sqrt[5]{|p_0|}\left(1 + \frac{1}{5}\frac{i\sigma}{|p_0|}\right)(1 + o(1)) = \\ &= \frac{1}{\sqrt[5]{2}}\left(\cos\left(\frac{11\pi}{10}\right)\sqrt[5]{|p_0|} + \frac{1}{5}\cos\left(\frac{11\pi}{10}\right)\frac{i\sigma}{|p_0|^{4/5}} + i\sin\left(\frac{11\pi}{10}\right)\sqrt[5]{|p_0|} - \right. \\ &\quad \left. - \sin\left(\frac{11\pi}{10}\right)\frac{1}{5}\frac{\sigma}{|p_0|^{4/5}}\right)(1 + o(1));\end{aligned}$$

$$\mu_4 = \frac{1}{\sqrt[5]{2}}\left(\cos\left(\frac{3\pi}{2}\right) + i\sin\left(\frac{3\pi}{2}\right)\right)\sqrt[5]{|p_0|}\left(1 + \frac{1}{5}\frac{i\sigma}{|p_0|}\right)(1 + o(1)) =$$

$$\begin{aligned}
 &= \frac{1}{\sqrt[5]{2}} \left(\cos \left(\frac{3\pi}{2} \right) \sqrt[5]{|p_0|} + \frac{1}{5} \cos \left(\frac{3\pi}{2} \right) \frac{i\sigma}{|p_0|^{4/5}} + i \sin \left(\frac{3\pi}{2} \right) \sqrt[5]{|p_0|} - \right. \\
 &\quad \left. - \sin \left(\frac{3\pi}{2} \right) \frac{1}{5} \frac{\sigma}{|p_0|^{4/5}} \right) (1 + o(1)); \\
 \mu_5 &= \frac{1}{\sqrt[5]{2}} \left(\cos \left(\frac{19\pi}{10} \right) + i \sin \left(\frac{19\pi}{10} \right) \right) \sqrt[5]{|p_0|} \left(1 + \frac{1}{5} \frac{i\sigma}{|p_0|} \right) (1 + o(1)) = \\
 &= \frac{1}{\sqrt[5]{2}} \left(\cos \left(\frac{19\pi}{10} \right) \sqrt[5]{|p_0|} + \frac{1}{5} \cos \left(\frac{19\pi}{10} \right) \frac{i\sigma}{|p_0|^{4/5}} + i \sin \left(\frac{19\pi}{10} \right) \sqrt[5]{|p_0|} - \right. \\
 &\quad \left. - \sin \left(\frac{19\pi}{10} \right) \frac{1}{5} \frac{\sigma}{|p_0|^{4/5}} \right) (1 + o(1)).
 \end{aligned}$$

Отсюда следует, если $\int_{x_0}^{\infty} |p_0(x)|^{-4/5} dx < \infty$, то индексы дефекта равны (3,3), так как $y_{2,3,4}(x, \sigma) \in L^2[0, \infty)$.

Если $\int_{x_0}^{\infty} |p_0(x)|^{-4/5} dx = \infty$, то индексы дефекта равны (2,3), так как, если $\sigma > 0$, то $y_{1,2}(x, \sigma) \in L^2[0, \infty)$; если $\sigma < 0$, то $y_{3,4,5}(x, \sigma) \in L^2[0, \infty)$.

Теперь пусть $p_0(x) \rightarrow +\infty$, при $x \rightarrow \infty$. Тогда уравнение (7) примет вид (9):

$$2i\mu^5 + p_0(x) - i\sigma = 0, \quad (9)$$

$$\begin{aligned}
 2i\mu^5 &= -p_0(x) + i\sigma, \\
 \mu^5 &= \frac{(-p_0 + i\sigma)}{2i} = -\frac{1}{2}(-ip_0 - \sigma) = \frac{1}{2}ip_0 \left(1 + \frac{\sigma}{ip_0} \right) = \frac{1}{2}ip_0 \left(1 - \frac{i\sigma}{p_0} \right),
 \end{aligned}$$

$$\mu_k = \sqrt[5]{\frac{1}{2}ip_0 \left(1 - \frac{i\sigma}{p_0} \right)^{1/5}}.$$

По формуле Тейлора:

$$\left(1 - \frac{i\sigma}{p_0} \right)^{1/5} = 1 - \frac{i\sigma}{5p_0} - \frac{2}{25} \left(\frac{i\sigma}{p_0} \right)^2 - \frac{6}{125} \left(\frac{i\sigma}{p_0} \right)^3 - \dots$$

Вычислим $\sqrt[5]{\frac{1}{2}i}$. Получим:

- 1) $\frac{1}{\sqrt[5]{2}} \left(\cos \left(\frac{\pi}{10} \right) + i \sin \left(\frac{\pi}{10} \right) \right);$
- 2) $\frac{1}{\sqrt[5]{2}} \left(\cos \left(\frac{\pi}{2} \right) + i \sin \left(\frac{\pi}{2} \right) \right) = \frac{i}{\sqrt[5]{2}};$
- 3) $\frac{1}{\sqrt[5]{2}} \left(\cos \left(\frac{9\pi}{10} \right) + i \sin \left(\frac{9\pi}{10} \right) \right);$
- 4) $\frac{1}{\sqrt[5]{2}} \left(\cos \left(\frac{13\pi}{10} \right) + i \sin \left(\frac{13\pi}{10} \right) \right);$
- 5) $\frac{1}{\sqrt[5]{2}} \left(\cos \left(\frac{17\pi}{10} \right) + i \sin \left(\frac{17\pi}{10} \right) \right).$

Тогда при $x \rightarrow \infty$ имеем:

$$\begin{aligned}
 \mu_1 &= \frac{1}{\sqrt[5]{2}} \left(\cos\left(\frac{\pi}{10}\right) + i \sin\left(\frac{\pi}{10}\right) \right) \sqrt[5]{p_0} \left(1 - \frac{1}{5} \frac{i\sigma}{p_0} \right) (1 + o(1)) = \\
 &= \frac{1}{\sqrt[5]{2}} \left(\cos\left(\frac{\pi}{10}\right) \sqrt[5]{p_0} - \frac{1}{5} \cos\left(\frac{\pi}{10}\right) \frac{i\sigma}{p_0^{4/5}} + i \sin\left(\frac{\pi}{10}\right) \sqrt[5]{p_0} + \right. \\
 &\quad \left. + \sin\left(\frac{\pi}{10}\right) \frac{1}{5} \frac{\sigma}{p_0^{4/5}} \right) (1 + o(1)); \\
 \mu_2 &= \frac{1}{\sqrt[5]{2}} \left(\cos\left(\frac{\pi}{2}\right) + i \sin\left(\frac{\pi}{2}\right) \right) \sqrt[5]{p_0} \left(1 - \frac{1}{5} \frac{i\sigma}{p_0} \right) (1 + o(1)) = \\
 &= \frac{1}{\sqrt[5]{2}} \cos\left(\frac{\pi}{2}\right) \sqrt[5]{p_0} - \frac{1}{5} \cos\left(\frac{\pi}{2}\right) \frac{i\sigma}{p_0^{4/5}} + i \sin\left(\frac{\pi}{2}\right) \sqrt[5]{p_0} + \\
 &\quad + \sin\left(\frac{\pi}{2}\right) \frac{1}{5} \frac{\sigma}{p_0^{4/5}} (1 + o(1)); \\
 \mu_3 &= \frac{1}{\sqrt[5]{2}} \left(\cos\left(\frac{9\pi}{10}\right) + i \sin\left(\frac{9\pi}{10}\right) \right) \sqrt[5]{p_0} \left(1 - \frac{1}{5} \frac{i\sigma}{p_0} \right) (1 + o(1)) = \\
 &= \frac{1}{\sqrt[5]{2}} \left(\cos\left(\frac{9\pi}{10}\right) \sqrt[5]{p_0} - \frac{1}{5} \cos\left(\frac{9\pi}{10}\right) \frac{i\sigma}{p_0^{4/5}} + i \sin\left(\frac{9\pi}{10}\right) \sqrt[5]{p_0} + \right. \\
 &\quad \left. + \sin\left(\frac{9\pi}{10}\right) \frac{1}{5} \frac{\sigma}{p_0^{4/5}} \right) (1 + o(1)); \\
 \mu_4 &= \frac{1}{\sqrt[5]{2}} \left(\cos\left(\frac{13\pi}{10}\right) + i \sin\left(\frac{13\pi}{10}\right) \right) \sqrt[5]{p_0} \left(1 - \frac{1}{5} \frac{i\sigma}{p_0} \right) (1 + o(1)) = \\
 &= \frac{1}{\sqrt[5]{2}} \left(\cos\left(\frac{13\pi}{10}\right) \sqrt[5]{p_0} - \frac{1}{5} \cos\left(\frac{13\pi}{10}\right) \frac{i\sigma}{p_0^{4/5}} + i \sin\left(\frac{13\pi}{10}\right) \sqrt[5]{p_0} + \right. \\
 &\quad \left. + \sin\left(\frac{13\pi}{10}\right) \frac{1}{5} \frac{\sigma}{p_0^{4/5}} \right) (1 + o(1)); \\
 \mu_5 &= \frac{1}{\sqrt[5]{2}} \left(\cos\left(\frac{17\pi}{10}\right) + i \sin\left(\frac{17\pi}{10}\right) \right) \sqrt[5]{p_0} \left(1 - \frac{1}{5} \frac{i\sigma}{p_0} \right) (1 + o(1)) = \\
 &= \frac{1}{\sqrt[5]{2}} \left(\cos\left(\frac{17\pi}{10}\right) \sqrt[5]{p_0} - \frac{1}{5} \cos\left(\frac{17\pi}{10}\right) \frac{i\sigma}{p_0^{4/5}} + i \sin\left(\frac{17\pi}{10}\right) \sqrt[5]{p_0} + \right. \\
 &\quad \left. + \sin\left(\frac{17\pi}{10}\right) \frac{1}{5} \frac{\sigma}{p_0^{4/5}} \right) (1 + o(1)).
 \end{aligned}$$

Отсюда следует, если $\int_{x_0}^{\infty} p_0(x)^{-4/5} dx < \infty$, то индексы дефекта равны (3,3), так как $y_{2,3,4}(x, \sigma) \in L^2[0, \infty)$.

Если $\int_{x_0}^{\infty} p_0(x)^{-4/5} dx = \infty$, то индексы дефекта равны (2,3), так как, если $\sigma > 0$, то $y_{4,5}(x, \sigma) \in L^2[0, \infty)$; если $\sigma < 0$, то $y_{1,2,3}(x, \sigma) \in L^2[0, \infty)$.

Пример 2. Теперь рассмотрим уравнение (1) со всеми промежуточными коэффициентами.

$$\begin{aligned}
 &2iy^{(5)} + p_0(x)y - (p_1(x)y')' + (p_2(x)y'')'' + \\
 &+ i[(q_0(x)y)' + q_0(x)y' - (q_1(x)y')'' - (q_1(x)y'')'] = i\sigma y.
 \end{aligned}$$

Его характеристический многочлен выглядит следующим образом

$$\begin{aligned}
 F(x, \sigma, \mu) &= 2i\mu^5 + p_2(x)\mu^4 - 2iq_1(x)\mu^3 - p_1(x)\mu^2 + \\
 &+ 2iq_0(x)\mu + p_0(x) - i\sigma.
 \end{aligned}$$

Пусть $p_0(x) \rightarrow +\infty$, при $x \rightarrow \infty$.

Исследуем корни уравнения $F(x, \sigma, \mu) = 0$.

$$2i\mu^5 + p_2(x)\mu^4 - 2iq_1(x)\mu^3 - p_1(x)\mu^2 + 2iq_0(x)\mu + p_0(x) - i\sigma = 0.$$

$$2i \left(\frac{\mu}{(p_0(x) - i\sigma)^{1/5}} \right)^5 + \frac{p_2(x)}{(p_0(x) - i\sigma)^{1/5}} \left(\frac{\mu}{(p_0(x) - i\sigma)^{1/5}} \right)^4 -$$

$$- 2i \frac{q_1(x)}{(p_0(x) - i\sigma)^{2/5}} \left(\frac{\mu}{(p_0(x) - i\sigma)^{1/5}} \right)^3 -$$

$$- \frac{p_1(x)}{(p_0(x) - i\sigma)^{3/5}} \left(\frac{\mu}{(p_0(x) - i\sigma)^{1/5}} \right)^2 +$$

$$+ 2i \frac{q_0(x)}{(p_0(x) - i\sigma)^{4/5}} \frac{\mu}{(p_0(x) - i\sigma)^{1/5}} + 1 = 0.$$

С помощью замены: $\mu = i\eta\tau$, $\tau = (p_0(x) - i\sigma)^{1/5}$ приходим к уравнению

$$-2\eta^5 + \frac{p_2(x)}{\tau} \eta^4 - 2 \frac{q_1(x)}{\tau^2} \eta^3 + \frac{p_1(x)}{\tau^3} \eta^2 - 2 \frac{q_0(x)}{\tau^4} \eta + 1 = 0.$$

Ввиду того, что в общем случае поведение корней уравнения на бесконечности исследовать не представляется возможным, то наложим дополнительные условия:

$$\lim_{x \rightarrow \infty} p_i(x)(p_0(x))^{\frac{2i}{5}-1} = C_{2i}, \quad i = 1, 2,$$

$$\lim_{x \rightarrow \infty} q_j(x)(p_0(x))^{\frac{2j+1}{5}-1} = C_{2j+1}, \quad j = 0, 1,$$

где C_{2i} и C_{2j+1} – постоянные числа.

Тогда получим предельное уравнение при $x \rightarrow \infty$:

$$-2\eta^5 + C_4\eta^4 - 2C_3\eta^3 + C_2\eta^2 - 2C_1\eta + 1 = 0.$$

Рассмотрим следующий пример.

Пусть $C_4 = 4$, $C_3 = 1$, $C_2 = 1$, $C_1 = 1$.

$$-2\eta^5 + 4\eta^4 - 2\eta^3 + \eta^2 - 2\eta + 1 = 0;$$

$$-2\eta^3(\eta^2 - 2\eta + 1) + \eta^2 - 2\eta + 1 = 0;$$

$$(-2\eta^3 + 1)(\eta^2 - 2\eta + 1) = 0;$$

$$(-2\eta^3 + 1)(\eta - 1)^2 = 0.$$

$$\eta_1 = \sqrt[3]{\frac{1}{2}}, \quad \eta_2 = \sqrt[3]{\frac{1}{2}} \left(-\frac{1}{2} + i \frac{\sqrt{3}}{2} \right), \quad \eta_3 = \sqrt[3]{\frac{1}{2}} \left(-\frac{1}{2} - i \frac{\sqrt{3}}{2} \right), \quad \eta_{4,5} = 1.$$

Обратная замена:

$$\mu_k = i\eta_k\tau = i\eta_k(p_0 - i\sigma)^{1/5} = i\eta_k \sqrt[5]{p_0} \left(1 - \frac{i\sigma}{p_0} \right)^{1/5}$$

$$\mu_1 = i \sqrt[3]{\frac{1}{2}} \sqrt[5]{p_0} \left(1 - \frac{i\sigma}{p_0} \right)^{1/5}$$

$$\begin{aligned}\mu_2 &= i \sqrt[3]{\frac{1}{2}} \left(-\frac{1}{2} + i \frac{\sqrt{3}}{2} \right) \sqrt[5]{p_0} \left(1 - \frac{i\sigma}{p_0} \right)^{1/5} \\ \mu_3 &= i \sqrt[3]{\frac{1}{2}} \left(-\frac{1}{2} - i \frac{\sqrt{3}}{2} \right) \sqrt[5]{p_0} \left(1 - \frac{i\sigma}{p_0} \right)^{1/5} \\ \mu_4 &= i \sqrt[5]{p_0} \left(1 - \frac{i\sigma}{p_0} \right)^{1/5} \\ \mu_5 &= i \sqrt[5]{p_0} \left(1 - \frac{i\sigma}{p_0} \right)^{1/5}\end{aligned}$$

По формуле Тейлора имеем:

$$\left(1 - \frac{i\sigma}{p_0} \right)^{1/5} = 1 - \frac{i\sigma}{5p_0} - \frac{2}{25} \left(\frac{i\sigma}{p_0} \right)^2 - \frac{6}{125} \left(\frac{i\sigma}{p_0} \right)^3 - \dots$$

Тогда при $x \rightarrow \infty$ имеем:

$$\begin{aligned}\mu_1 &= i \sqrt[3]{\frac{1}{2}} \sqrt[5]{p_0} \left(1 - \frac{i\sigma}{5p_0} \right) (1 + o(1)) = \\ &= \sqrt[3]{\frac{1}{2}} \left(i \sqrt[5]{p_0} + \frac{\sigma}{5p_0^{4/5}} \right) (1 + o(1)), \\ \mu_2 &= i \sqrt[3]{\frac{1}{2}} \left(-\frac{1}{2} + i \frac{\sqrt{3}}{2} \right) \sqrt[5]{p_0} \left(1 - \frac{i\sigma}{5p_0} \right) (1 + o(1)) = \\ &= \sqrt[3]{\frac{1}{2}} \left(-\frac{1}{2} i \sqrt[5]{p_0} - \frac{1}{2} \frac{\sigma}{5p_0^{4/5}} - \frac{\sqrt{3}}{2} \sqrt[5]{p_0} + \frac{\sqrt{3}}{2} \frac{i\sigma}{5p_0^{4/5}} \right) (1 + o(1)), \\ \mu_3 &= i \sqrt[3]{\frac{1}{2}} \left(-\frac{1}{2} - i \frac{\sqrt{3}}{2} \right) \sqrt[5]{p_0} \left(1 - \frac{i\sigma}{5p_0} \right) (1 + o(1)) = \\ &= \sqrt[3]{\frac{1}{2}} \left(-\frac{1}{2} i \sqrt[5]{p_0} - \frac{1}{2} \frac{\sigma}{5p_0^{4/5}} + \frac{\sqrt{3}}{2} \sqrt[5]{p_0} - \frac{\sqrt{3}}{2} \frac{i\sigma}{5p_0^{4/5}} \right) (1 + o(1)), \\ \mu_4 &= i \sqrt[5]{p_0} \left(1 - \frac{i\sigma}{5p_0} \right) (1 + o(1)) = \left(i \sqrt[5]{p_0} + \frac{\sigma}{5p_0^{4/5}} \right) (1 + o(1)), \\ \mu_5 &= i \sqrt[5]{p_0} \left(1 - \frac{i\sigma}{5p_0} \right) (1 + o(1)) = \left(i \sqrt[5]{p_0} + \frac{1}{2} \frac{\sigma}{5p_0^{4/5}} \right) (1 + o(1)).\end{aligned}$$

Если $\int_{x_0}^{\infty} p_0(x)^{-4/5} dx < \infty$, то индексы дефекта равны (4,4), так как $y_{1,2,4,5}(x, \sigma) \in L^2[0, \infty)$.

Если $\int_{x_0}^{\infty} p_0(x)^{-4/5} dx = \infty$, то индексы дефекта равны (2,3), так как, если $\sigma > 0$, то $y_{2,3}(x, \sigma) \in L^2[0, \infty)$; если $\sigma < 0$, то $y_{1,4,5}(x, \sigma) \in L^2[0, \infty)$.

Теперь пусть $p_0(x) \rightarrow -\infty$ при $x \rightarrow \infty$.

Исследуем корни уравнения $F(x, \sigma, \mu) = 0$.

$$\begin{aligned}
 2i\mu^5 + p_2(x)\mu^4 - 2iq_1(x)\mu^3 - p_1(x)\mu^2 + 2iq_0(x)\mu - |p_0(x)| - i\sigma = 0. \\
 2i\left(\frac{\mu}{(|p_0(x)| + i\sigma)^{1/5}}\right)^5 + \frac{p_2(x)}{(|p_0(x)| + i\sigma)^{1/5}}\left(\frac{\mu}{(|p_0(x)| + i\sigma)^{1/5}}\right)^4 - \\
 - 2i\frac{q_1(x)}{(|p_0(x)| + i\sigma)^{2/5}}\left(\frac{\mu}{(|p_0(x)| + i\sigma)^{1/5}}\right)^3 - \\
 - \frac{p_1(x)}{(|p_0(x)| + i\sigma)^{3/5}}\left(\frac{\mu}{(|p_0(x)| + i\sigma)^{1/5}}\right)^2 + \\
 + 2i\frac{q_0(x)}{(|p_0(x)| + i\sigma)^{4/5}}\frac{\mu}{(|p_0(x)| + i\sigma)^{1/5}} - 1 = 0.
 \end{aligned}$$

Замена: $\mu = i\eta\tau$, $\tau = (|p_0(x)| + i\sigma)^{1/5}$.

Пусть:

$$\lim_{x \rightarrow \infty} p_i(x)(|p_0(x)|)^{\frac{2i}{5}-1} = C_{2i}, \quad i = 1, 2,$$

$$\lim_{x \rightarrow \infty} q_j(x)(|p_0(x)|)^{\frac{2j+1}{5}-1} = C_{2j+1}, \quad j = 0, 1,$$

где C_{2i} и C_{2j+1} – постоянные числа.

Получим предельное уравнение при $x \rightarrow \infty$.

$$-2\eta^5 + C_4\eta^4 - 2C_3\eta^3 + C_2\eta^2 - 2C_1\eta - 1 = 0.$$

Пусть $C_4 = 2$, $C_3 = -1$, $C_2 = 1$, $C_1 = \frac{1}{2}$. Тогда

$$-2\eta^5 + 2\eta^4 + 2\eta^3 + \eta^2 - \eta - 1 = 0.$$

$$-2\eta^3(\eta^2 - \eta - 1) + \eta^2 - \eta - 1 = 0.$$

$$(-2\eta^3 + 1)(\eta^2 - \eta - 1).$$

$$\eta_1 = \sqrt[3]{\frac{1}{2}}, \quad \eta_2 = \sqrt[3]{\frac{1}{2}}\left(-\frac{1}{2} + i\frac{\sqrt{3}}{2}\right),$$

$$\eta_3 = \sqrt[3]{\frac{1}{2}}\left(-\frac{1}{2} - i\frac{\sqrt{3}}{2}\right), \quad \eta_4 = \frac{1}{2}(1 - i\sqrt{5}), \quad \eta_5 = \frac{1}{2}(1 + i\sqrt{5}).$$

Обратная замена:

$$\mu_k = i\eta_k\tau = i\eta_k(|p_0(x)| + i\sigma)^{1/5} = i\eta_k\sqrt[5]{|p_0|}\left(1 + \frac{i\sigma}{|p_0|}\right)^{1/5}$$

$$\mu_1 = i\sqrt[3]{\frac{1}{2}}\sqrt[5]{|p_0|}\left(1 + \frac{i\sigma}{|p_0|}\right)^{1/5}$$

$$\mu_2 = i\sqrt[3]{\frac{1}{2}}\left(-\frac{1}{2} + i\frac{\sqrt{3}}{2}\right)\sqrt[5]{|p_0|}\left(1 + \frac{i\sigma}{|p_0|}\right)^{1/5}$$

$$\mu_3 = i\sqrt[3]{\frac{1}{2}}\left(-\frac{1}{2} - i\frac{\sqrt{3}}{2}\right)\sqrt[5]{|p_0|}\left(1 + \frac{i\sigma}{|p_0|}\right)^{1/5}$$

$$\mu_4 = i \frac{1}{2} (1 - i\sqrt{5})^5 \sqrt[5]{|p_0|} \left(1 + \frac{i\sigma}{|p_0|}\right)^{1/5}$$

$$\mu_5 = i \frac{1}{2} (1 + i\sqrt{5})^5 \sqrt[5]{|p_0|} \left(1 + \frac{i\sigma}{|p_0|}\right)^{1/5}$$

По формуле Тейлора имеем:

$$\left(1 + \frac{i\sigma}{|p_0|}\right)^{1/5} = 1 + \frac{i\sigma}{5|p_0|} - \frac{2}{25} \left(\frac{i\sigma}{|p_0|}\right)^2 + \frac{6}{125} \left(\frac{i\sigma}{|p_0|}\right)^3 - \dots$$

Тогда при $x \rightarrow \infty$ имеем:

$$\begin{aligned} \mu_1 &= i \sqrt[3]{\frac{1}{2}} \sqrt[5]{|p_0|} \left(1 + \frac{i\sigma}{5|p_0|}\right) (1 + o(1)) = \\ &= \sqrt[3]{\frac{1}{2}} \left(i \sqrt[5]{|p_0|} - \frac{\sigma}{5|p_0|^{4/5}}\right) (1 + o(1)); \\ \mu_2 &= i \sqrt[3]{\frac{1}{2}} \left(-\frac{1}{2} + i \frac{\sqrt{3}}{2}\right) \sqrt[5]{|p_0|} \left(1 + \frac{i\sigma}{5|p_0|}\right) (1 + o(1)) = \\ &= \sqrt[3]{\frac{1}{2}} \left(-\frac{1}{2} i \sqrt[5]{|p_0|} + \frac{1}{2} \frac{\sigma}{5|p_0|^{4/5}} - \frac{\sqrt{3}}{2} \sqrt[5]{|p_0|} - \frac{\sqrt{3}}{2} \frac{i\sigma}{5|p_0|^{4/5}}\right) (1 + o(1)); \\ \mu_3 &= i \sqrt[3]{\frac{1}{2}} \left(-\frac{1}{2} - i \frac{\sqrt{3}}{2}\right) \sqrt[5]{|p_0|} \left(1 + \frac{i\sigma}{5|p_0|}\right) (1 + o(1)) = \\ &= \sqrt[3]{\frac{1}{2}} \left(-\frac{1}{2} i \sqrt[5]{|p_0|} + \frac{1}{2} \frac{\sigma}{5|p_0|^{4/5}} + \frac{\sqrt{3}}{2} \sqrt[5]{|p_0|} + \frac{\sqrt{3}}{2} \frac{i\sigma}{5|p_0|^{4/5}}\right) (1 + o(1)); \\ \mu_4 &= i \frac{1}{2} (1 - i\sqrt{5})^5 \sqrt[5]{|p_0|} \left(1 + \frac{i\sigma}{5|p_0|}\right) (1 + o(1)) = \\ &= \frac{1}{2} \left(i \sqrt[5]{|p_0|} - \frac{\sigma}{5|p_0|^{4/5}} + \sqrt{5} \sqrt[5]{|p_0|} + \sqrt{5} \frac{i\sigma}{5|p_0|^{4/5}}\right) (1 + o(1)); \\ \mu_5 &= i \frac{1}{2} (1 + i\sqrt{5})^5 \sqrt[5]{|p_0|} \left(1 + \frac{i\sigma}{5|p_0|}\right) (1 + o(1)) = \\ &= \frac{1}{2} \left(i \sqrt[5]{|p_0|} - \frac{\sigma}{5|p_0|^{4/5}} - \sqrt{5} \sqrt[5]{|p_0|} - \sqrt{5} \frac{i\sigma}{5|p_0|^{4/5}}\right) (1 + o(1)). \end{aligned}$$

Если $\int_{x_0}^{\infty} |p_0(x)|^{-4/5} dx < \infty$, то индексы дефекта равны (3,3), так как $y_{1,2,5}(x, \sigma) \in L^2[0, \infty)$.

Если $\int_{x_0}^{\infty} |p_0(x)|^{-4/5} dx = \infty$, то индексы дефекта равны (3,2), так как, если $\sigma > 0$, то $y_{1,4,5}(x, \sigma) \in L^2[0, \infty)$; если $\sigma < 0$, то $y_{2,3}(x, \sigma) \in L^2[0, \infty)$.

Полученные результаты дополняют часть результатов, полученных в [2].

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Наймарк М.А. Линейные дифференциальные операторы / М.А. Наймарк – Издание второе, переработанное и дополненное. — Москва: Наука, 1969 – 351 с.
2. Мукимов В.Р., Султанаев Я.Т. L^2 -решения сингулярного дифференциального уравнения нечетного порядка / В.Р. Мукимова, Я.Т. Султанаев // Дифференциальные уравнения. – 2002. – № 2. – С.190-194.

REFERENCES

1. Naimark M.A. Lineinye differentsial'nye operatory [Linear Differential Operators]. 2nd ed., revised and enlarged. – Moscow: Nauka , 1969 – 351 p.
2. Mukimov V.R., Sultanaev Ya.T. L^2 -resheniya singulyarnogo differentsial'nogo uravneniya nechetnogo poryadka [L^2 -solutions of a singular differential equation of odd order]. Differential Equations. – 2002. № 2. – pp. 190–194.

Информация об авторах

В.В. Степанов – магистрант;

А.Р. Сагитова – кандидат физико-математических наук, доцент.

Information about the authors

V.V. Stepanov – master;

A.R. Sagitova – Candidate of Physical and Mathematical Sciences, associated professor.

Вклад авторов:

В.В. Степанов – результаты статьи;

А.Р. Сагитова – результаты статьи.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Contribution of the authors:

V.V. Stepanov – paper results;

A.R. Sagitova – paper results.

The authors declare no conflict of interest.

Статья поступила в редакцию 25.02.2026; принята к публикации 26.03.2026.

The article was submitted 25.02.2026; accepted for publication 26.03.2026.

ИНФОРМАТИКА И ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА

Научная статья

УДК 378

DOI 10.21510/3034-266X-2026-1-26-39

РАЗРАБОТКА HELP DESK СИСТЕМЫ НА ПЛАТФОРМЕ 1С

**Татьяна Степановна Орлова¹, Раушангуль Назаровна
Кожяхметова², Анастасия Олеговна Гонцова³, Евгений
Олегович Гонцов⁴**

^{1,3}Уральский государственный экономический университет,
Екатеринбург, Россия

²Северо-Казахстанский университет имени М. Козыбаева,
Петропавловск, Казахстан

⁴Уральский государственный университет путей сообщения,
Екатеринбург, Россия

¹kolyeva_ns@usue.ru

²rnkozahmetova@ku.edu.kz

Аннотация. В современных условиях промышленного производства эффективное функционирование информационных систем становится критически важным фактором, обеспечивающим необходимый уровень автоматизации и оперативности технологических процессов. В рамках данного направления особое значение приобретает служба внутренней ИТ-поддержки, поскольку именно от качества её работы зависит стабильность технологических операций и общая результативность производственных предприятий. В исследовании выбрано направление в сторону разработки Help Desk системы. Разработка системы нацелена на автоматизацию внутренней службы технической поддержки, что соответствует современным потребностям в области управления информационными технологиями. Описаны ключевые модули системы: управление заявками, модуль знаний и обратной связи. Важным аспектом является минимизация человеческого фактора в процессах маршрутизации заявок, благодаря чему повышается точность и скорость исполнения задач. Система также включает в себя рекомендации по адаптации под особенности предприятия с применением аналогов уже существующих решений, таких как SMART Service Desk, для оптимизации в свете

существующей IT-инфраструктуры и производственной деятельности предприятия.

Ключевые слова: автоматизированная система, Help Desk, техническая поддержка, управление заявками, процесс маршрутизации, анализ потребностей, управление знаниями

Для цитирования: Орлова Т.С., Кожахметова Р.Н., Гонцова А.О., Гонцов Е.О. Разработка Help Desk системы на платформе 1С // Вестник Башкирского государственного педагогического университета им. М.Акмуллы. Серия: Естественные науки. 2026. № 1. С. 26-39.

INFORMATICS AND COMPUTER ENGINEERING

Original article

DEVELOPMENT OF A HELP DESK SYSTEM ON THE 1C PLATFORM

Tatyana S. Orlova¹, Raushangul N. Kozhakhmetova², Anastasia O. Gontsova¹, Evgeny O. Gontsov³

¹Ural State University of Economics, Yekaterinburg, Russia

²M. Kozybaev State University of Management, Petropavlovsk, Kazakhstan

³Ural State Transport University, Yekaterinburg, Russia

¹kolyeva_ns@usue.ru

²rnkozahmetova@ku.edu.kz

Abstract. In today's industrial production environment, the efficient operation of information systems is becoming a critical factor, ensuring the required level of automation and efficiency of technological processes. Within this context, the internal IT support service is particularly important, as the stability of technological operations and the overall performance of manufacturing enterprises depend on the quality of its work. This study focuses on developing a Help Desk system. The system's development is aimed at automating the internal technical support service, which meets modern IT management needs. Key system modules are described: request management, knowledge management, and feedback. An important aspect is minimizing the human factor in request routing processes, thereby increasing the accuracy and speed of task execution. The system also includes recommendations for adapting to enterprise specifics using existing solutions, such as SMART Service Desk, to optimize workflows within the existing IT infrastructure and production activities of the enterprise.

Keywords: automated system, Help Desk, technical support, request management, routing process, needs analysis, knowledge management

For citing: Orlova T.S., Kozhakhmetova R.N., Gontsova A.O., Gontsov E.O. Development of a Help Desk system on the 1C platform // Bulletin of Bashkir State Pedagogical University named after M. Akmulla. Series: Natural Sciences. 2026. No. 1. pp. 26-39.

Введение. Анализируя текущее состояние промышленного производства, можно выделить выгоды от внедрения автоматизированной системы:

- автоматизация рутинных операций снизит нагрузку на сотрудников поддержки и повысит их продуктивность;
- минимизация простоев за счёт быстрого реагирования на запросы и удобной системы мониторинга инцидентов;
- использование Help Desk позволит собирать данные о типах и частоте проблем, что даст возможность проводить их анализ и устранять причины, а не следствия.

Внедрение системы также окажет положительное влияние на управленческую деятельность. Руководство получит инструменты для контроля качества работы службы поддержки через систему отчетности и KPI. Это позволит принимать обоснованные решения о необходимости расширения штата или модернизации оборудования на основе объективных данных.

Процесс внедрения новой автоматизированной системы неизбежно связан с определенными рисками и ограничениями, которые необходимо учитывать при планировании проекта. Основным риском является возможное временное снижение производительности в период адаптации персонала к новой системе работы. Некоторые сотрудники, особенно те, кто длительное время работал с существующими процедурами, могут проявлять скептическое отношение к нововведениям.

Потребуется инвестиции в обучение персонала и техническое сопровождение системы на начальном этапе ее эксплуатации. Однако анализ показывает, что отказ от модернизации системы поддержки несет в себе значительно большие долгосрочные риски.

Растущая сложность IT-инфраструктуры предприятия и постоянное увеличение количества пользователей информационных систем делают существующую модель работы службы поддержки неустойчивой и малоэффективной в долгосрочной перспективе. Без проведения модернизации проблемы будут только усугубляться, что приведет к еще большим экономическим потерям.

Экономический анализ объекта исследования подтверждает целесообразность внедрения автоматизированной Help Desk системы. Централизованная система технической поддержки обеспечит долгосрочное снижение операционных затрат, повышение общей

эффективности работы предприятия и укрепление его конкурентных позиций на рынке. Потенциальные выгоды от автоматизации значительно превышают связанные с ней риски и затраты, что делает данный проект экономически обоснованным и перспективным.

На рынке также существует более технологичное решение, а именно – Service Desk системы. Второе отличается от первого возможностью автоматической настройки маршрутизации в зависимости от различных сложных сценариев, наличием базы знаний и многим другим [1-3]. Однако разработка подобной системы потребовала бы куда больше ресурсов, а в реалиях промышленного предприятия это пока что не приоритетная задача. В связи с этим выбор в разработке автоматизированной системы «Help Desk» на данный момент представляется очевидным. Такая система позволит вести учет заявок, использовать простую маршрутизацию, а также вести контроль выполнения задач.

Материалы и методы. Методологическую базу исследования формируют методы системного и функционального анализа бизнес-процессов, визуальное моделирование посредством диаграмм PlantUML и BPMN. Проектирование и практическая реализация осуществляются с применением встроенного языка 1C: Предприятие 8.3, конфигуратора и системы компоновки данных (СКД) для формирования отчетов. Экономический анализ строится на расчётах экономии времени обработки заявок до и после внедрения системы, учёте объёма обращений и почасовой ставке сотрудников отдела АСУ и ИТ.

Результаты исследования. В настоящее время стратегическим приоритетом промышленного предприятия в области информационных технологий является переход на систему 1C:ERP. Реализация данного проекта направлена на достижение более высокого уровня автоматизации производственных и административных процессов, в том числе, позволяя менеджменту компаний проводить более полную аналитику данных, а также повысить уровень оперативного и стратегического управления [4-7].

Вместе с тем, выполнение поставленной задачи потребует значительных организационных и технических усилий, особенно с учетом текущей рабочей нагрузки ИТ-персонала и существующего уровня их профессиональной подготовки.

В долгосрочной перспективе для повышения эффективности функционирования службы информационных технологий целесообразно рассмотреть следующие направления развития:

- внедрение автоматизированной системы Help Desk для регистрации и обработки заявок пользователей, что позволит ускорить

процесс решения задач и улучшить контроль качества предоставляемых услуг;

– развитие профессиональных компетенций специалистов через обучение современным технологиям и инструментам, необходимым для работы с системой 1С:ERP и другими перспективными решениями;

– модернизация технической инфраструктуры, включая обновление серверного оборудования и внедрение надежных систем резервного копирования данных [8].

Таким образом, существующая ИТ-инфраструктура характеризуется достаточно высоким уровнем автоматизации основных бизнес-процессов за счет эффективного использования продуктов платформы 1С и надежной клиент-серверной архитектуры. Однако отсутствие современной системы технической поддержки создает определенные препятствия для оптимального учета и обработки пользовательских запросов, что в конечном итоге снижает общую производительность службы.

Реализация стратегических инициатив по внедрению 1С:ERP и автоматизированной системы Help Desk представляет собой ключевые шаги на пути совершенствования ИТ-процессов и укрепления конкурентных позиций предприятия на рынке.

Для анализа текущего состояния процесса обработки обращений в отделе автоматизированных систем управления и информационных технологий в рамках данного исследования применяется нотация BPMN (Business Process Model and Notation), схематично представленная на рисунке 1.

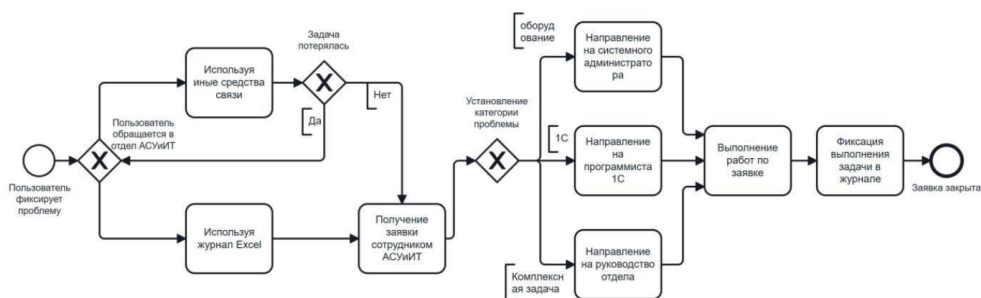


Рис. 1. – Существующая модель работы поддержки отдела АСУиИТ в нотации BPMN

Рассматриваемый бизнес-процесс инициируется поступлением информации о возникшей проблеме от сотрудника предприятия. Обращение может осуществляться посредством телефонной связи либо через альтернативные каналы коммуникации, доступные в

организации. На данном этапе специалист отдела АСУиИТ осуществляет прием заявки.

Следующим шагом процесса является классификация типа возникшей проблемы. Все обращения подразделяются на несколько основных категорий в зависимости от их характера и сложности:

- технические неисправности оборудования, включающие сбои в функционировании персональных компьютеров, периферийных устройств печати, серверного оборудования и другой вычислительной техники;

- проблемы, связанные с программным обеспечением платформы 1С, которые могут проявляться в виде ошибок конфигурации системы, нестабильной работы отдельных модулей или полных сбоев в функционировании приложений;

- комплексные запросы повышенной сложности, требующие привлечения руководящего состава [9-10].

В зависимости от установленной категории проблемы обращение направляется соответствующему специалисту, обладающему необходимыми компетенциями для решения данного типа задач. Вместе с тем, независимо от категории сложности, все поступающие заявки подлежат обязательной регистрации в электронном журнале, реализованном на базе приложения Microsoft Excel и размещенном на локальном жестком диске.

По завершении процедуры классификации и регистрации ответственный исполнитель приступает к практическому решению поставленной задачи, а затем записывает факт выполнения в журнал.

Формирование предложений по автоматизации. Говоря о формировании предложений по автоматизации, можно было бы упомянуть успешный кейс внедрения компании «TechnipFMC». Компания представляет собой международную корпорацию, занимающую лидирующие позиции в энергетической отрасли и специализирующуюся на предоставлении комплексных проектных решений, производственных продуктов и технических услуг для традиционных и инновационных направлений энергетического сектора. Операционная деятельность компании структурирована в рамках двух основных бизнес-направлений:

- в рамках сегмента Subsea осуществляет разработку, проектирование и монтаж подводных технологических систем;

- сегмент Surface Technologies ориентирован на обеспечение техническим оборудованием и сервисными услугами наземных и мелководных производственных площадок.

Корпорация характеризуется значительным международным присутствием, ведя деятельность в 48 государствах мира с общей

численностью персонала около 20 000 сотрудников, представляющих 126 различных национальностей.

Компания TechnipFMC успешно применила решение на базе платформы SMART Service Desk для оптимизации бизнес-процессов, связанных с обработкой пользовательских запросов и управлением рабочими процессами технической поддержки. Следует отметить, что их информационная система была интегрирована с действующими корпоративными ERP-решениями, что обеспечило возможность организации процедур утверждения и согласования в рамках обработки заявок различных категорий сложности [11].

С учетом положительного опыта реализации системы Help Desk в компании TechnipFMC и анализа текущего состояния информационной инфраструктуры АО «Уралредмет», представляется целесообразным сформулировать комплекс ключевых направлений автоматизации внутренней службы технической поддержки, которые будут соответствовать производственной специфике предприятия и его актуальным потребностям в области информационных технологий.

В рамках предлагаемого решения целесообразно рассмотреть внедрение следующих функциональных модулей:

- система управления заявками обеспечит централизованную регистрацию, классификацию и отслеживание всех поступающих обращений с возможностью автоматического назначения ответственных исполнителей;

- модуль управления знаниями позволит создать структурированную базу знаний с типовыми решениями наиболее распространенных проблем, что существенно ускорит процесс их устранения;

- модуль управления обратной связью и опросами для систематического сбора отзывов и оценок от пользователей с целью анализа качественных характеристик обслуживания [12-14].

Автоматизация процессов утверждения заявок и назначения профильных специалистов существенно ускорит выполнение поставленных задач и повысит точность их исполнения за счет исключения человеческого фактора из процедур маршрутизации обращений [15]. Более того, интуитивно понятный пользовательский интерфейс системы минимизирует временные затраты на обучение персонала и адаптацию к новому программному обеспечению.

Применительно к условиям АО «Уралредмет» может быть рассмотрено внедрение решения, аналогичного SMART Service Desk, с учетом особенностей производственной деятельности предприятия и существующей ИТ-инфраструктуры. Предлагаемое решение будет поддерживать функционирование в клиент-серверном варианте размещения.

Для формирования структуры данных и логики функционирования разрабатываемой Help Desk системы использовались нормативные и учетные документы, применяемые в работе отдела автоматизированных систем управления и информационных технологий. Эти документы легли в основу проектирования справочной информации, маршрутов обработки заявок, а также формализовали роли пользователей и функциональные обязанности исполнителей.

Основным источником организационно-регламентирующей информации послужило Положение об отделе АСУиИТ, где определены задачи, функции и структура подразделения. На его основе сформированы категории задач, типы обращений, а также общие требования к маршрутизации и приоритизации заявок. Дополнительно использовались должностные инструкции сотрудников отдела, в которых зафиксированы зоны ответственности, условия участия в процессе обработки заявок. Также был проанализирован журнал регистрации заявок, который ранее велся в отделе в формате Microsoft Excel. Он содержал перечень поступивших обращений, информацию об инициаторе, краткое описание проблемы, дату и способ её решения. Данный документ стал эмпирическим источником для выделения ключевых реквизитов задач, определения минимального состава обязательных полей и обоснования необходимости внедрения структурированного учета обращений.

В перспективе, для расширения функционала и детализации аналитики, планируется интеграция с инвентаризационной описью товарно-материальных ценностей, содержащей данные о компьютерах, оргтехнике и серверах предприятия. Это позволит связать заявки с конкретными экземплярами оборудования и формировать отчетность в разрезе единиц техники, а также повысить точность диагностики и учёта неисправностей.

В системе предусмотрены четыре основных кодируемых множества: табельный номер сотрудника, код подразделения, номер заявки и номер типа задачи. Табельный номер сотрудника соответствует уникальному идентификатору, присваиваемому каждому работнику в информационной базе «1С: Зарплата и управление персоналом». Структура кодовых обозначений объектов представлена в таблице 1. Код подразделения привязан к справочнику структурных единиц предприятия; до внедрения интеграции его значения также переносятся вручную. Номер заявки (номер задачи) генерируется внутри конфигурации при создании документа «Задача»: это порядковая нумерация, обеспечивающая уникальность каждого обращения.

Таблица 1.

Структура кодовых обозначений объектов представлена

Наименование кодируемого множества объектов	Система кодирования
Табельный номер сотрудника	Порядковая
Код подразделения	Порядковая
Номер заявки	Порядковая
Номер типа задачи	Порядковая

Наконец, номер типа задачи присваивается при введении нового типа обращения (например, «Создание отчёта» или «Устранение неисправности») и реализует сквозную порядковую нумерацию для всех существующих вариантов типов. Все эти кодируемые множества централизованно ведутся в единой инфобазе: при добавлении или изменении элемента в соответствующем справочнике (сотрудников, подразделений, типов задач или при создании новой заявки) обновлённый код становится доступен во всех прикладных формах системы. Такое централизованное управление исключает расхождения в кодах и наименованиях, поддерживает целостность ссылок между справочниками и документами, а также закладывает основу для будущей интеграции с внешними подсистемами 1С.

В системе выходные формы и видеогаммы подразделяются на стандартные категории информационных систем. Справочные формы отображают неизменяемые справочные данные без возможности редактирования транзакционных записей. Контрольные формы предназначены для мониторинга и управления текущими процессами, позволяя отслеживать состояние и вносить изменения. Регламентированные формы не предусмотрены, так как система не формирует документы для внешних органов. Параметрические формы обеспечивают ввод дополнительных параметров для построения аналитических отчётов и визуализаций. Распределение категорий отражено в таблице 2.

Таблица 2.

Распределение выходных форм по категориям

Наименование формы	Категория формы	Назначение
Канбан-доска	Справочная	Просмотр задач по статусам
Список задач	Справочная	Просмотр списка задач
Форма задачи	Контрольная	Управление реквизитами
Отчет по задачам	Параметрическая	Анализ задач

Пользовательский интерфейс информационной системы Help Desk, разработанной на платформе «1С:Предприятие», спроектирован для обеспечения удобного и эффективного взаимодействия пользователя с задачами. Он включает формы для работы с данными, элементы управления и визуальные инструменты, с учетом принципов эргономики и минимизации пользовательских ошибок.

Заключение. В целом, реализованный проект по автоматизации службы поддержки пользователей в АО «Уралпредмет» продемонстрировал высокую эффективность и значимость для оптимизации бизнес-процессов предприятия. Достигнутые результаты не только подтверждают экономическую целесообразность инвестиций, но и закладывают прочный фундамент для дальнейшего развития IT-инфраструктуры на предприятии.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Воронин И.И. Help Desk как перспективный компонент ИТ-стратегии организации // Экономическая среда. – 2018. – № 2(24). – С. 22-26.
2. Кольева Н.С., Кочурин Н.С., Кузнецов В.Е. Разработка и реализация task-менеджера // Тенденции развития науки и образования. – 2024. – № 106-11. – С. 66-69. – DOI 10.18411/trnio-02-2024-606. – EDN UXFIEM.
3. Кортенко Л.В., Левина А.П. Общие проблемы цифровой трансформации и способы их преодоления // Наукосфера. – 2024. – № 7-1. – С. 29-33. – DOI 10.5281/zenodo.12686483. – EDN VZVPTZ.
4. Иванова А.С., Кольева Н.С., Панова М.В. Разработка модели оценки структурной сложности программ // Цифровые модели и решения. – 2024. – Т. 3, № 2. – С. 5-16. – DOI 10.29141/2949-477X-2024-3-2-1. – EDN UEZYBI.
5. Радковская Е.В. Количественная оценка внедрения и использования цифровых технологий в РФ // Экономическая безопасность – XXI век: вопросы теории и практики: сборник материалов IX Международной научно-практической конференции, Екатеринбург, 08 апреля 2025 года. – Екатеринбург: Уральский государственный горный университет, 2025. – С. 227-230. – EDN LZDPOQ.
6. Кытманов А.А., Кузнецов Д.Б. Анализ существующих разработок информационных систем для автоматизации задач обслуживания IT-инфраструктуры // Автоматизированные системы управления и информационные технологии: материалы всероссийской научно-технической конференции, Пермь, 07-09 июня 2023 года. – Пермь: Пермский национальный исследовательский политехнический университет, 2023. – С. 174-177.

7. Панова М.В., Турылева Д.И., Боровягин Д.А., Боркичев Д.А. Оценка необходимости внедрения ERP-системы в малом и среднем бизнесе // Актуальные вопросы современной экономики. – 2025. – № 4. – С. 407-410. – EDN STAXTY.
8. Смолин Д.Э., Кучуганов А.В. Системы управления заявками и способы повышения эффективности их работы // Научный альманах. – 2019. – № 12-3(62). – С. 59-61.
9. Кольева Н.С., Кирченков И.И., Поляков С.Ю. Ценность интеллектуальной собственности в эпоху развития искусственного интеллекта // VI-технологии и корпоративные информационные системы в оптимизации бизнес-процессов цифровой экономики: материалы XII Международной научно-практической очно-заочной конференции, Екатеринбург, 04 декабря 2024 года. – Екатеринбург: Уральский государственный экономический университет, 2025. – С. 105-108. – EDN IRZOVU.
10. Nikiforov O., Mukhametova L.R. Key aspects of implementing the help desk system in an educational institution // ACM International Conference Proceeding Series: Proceedings Papers – 3rd International Scientific and Practical Conference, DEFIN 2020, Saint Petersburg, 19-20 марта 2020 года. – Russia: Association for Computing Machinery, 2020. – DOI 10.1145/3388984.3390876.
11. Коковихин А.Ю., Кольева Н.С., Кортенко Л.В. Имитационное моделирование бизнес-процессов в корпорации (пакеты прикладных программ в управлении персоналом). – Екатеринбург: Уральский государственный экономический университет, 2024. – 261 с. – EDN VTDAHE.
12. Обзор Service Desk и Help Desk систем / И.В. Гусев, М.В. Шиганова, Ю.А. Фадеева, Т.А. Белова // Студенческий. – 2020. – № 28-1(114). – С. 17-18.
13. Цифровая декомпозиция в оценке уровня цифровизации предприятий малого и среднего бизнеса / Л.В. Кортенко, Н.С. Кольева, М.В. Панова [и др.] // Финансовые рынки и банки. – 2024. – № 12. – С. 55-60. – EDN WSVUXW.
14. Михеенко А.М., Буркин Д.А. Об автоматизации процесса приоритизации для Help Desk систем // Экономика, бизнес, инновации: сборник статей XII Международной научно-практической конференции, Пенза, 30 апреля 2020 года. – Пенза: Наука и Просвещение (ИП Гуляев Г.Ю.), 2020. – С. 162-169.
15. Гайберкова А.О. Анализ существующих автоматизированных систем управления // Приоритетные направления развития российской науки: материалы III всероссийской научно-практической конференции, Казань, 23 января 2020 года / отв. ред.

А.А. Зарайский. – Казань: Центр профессионального менеджмента «Академия Бизнеса», 2020. – С. 56-57.

REFERENCES

1. Voronin I.I. Help Desk kak perspektivnyj komponent IT-strategii organizacii // *Ekonomicheskaya sreda*. – 2018. – № 2(24). – С. 22-26.
2. Kol'eva N.S., Kochurin N.S., Kuznecov V.E. Razrabotka i realizaciya task-menedzhera // *Tendencii razvitiya nauki i obrazovaniya*. – 2024. – № 106-11. – С. 66-69. – DOI 10.18411/trnio-02-2024-606. – EDN UXFIEM.
3. Kortenko L.V., Levina A.P. Obshchie problemy cifrovoj transformacii i sposoby ih preodoleniya // *Naukosfera*. – 2024. – № 7-1. – С. 29-33. – DOI 10.5281/zenodo.12686483. – EDN VZVPTZ.
4. Ivanova A.S., Kol'eva N.S., Panova M.V. Razrabotka modeli ocenki strukturnoj slozhnosti programm // *Cifrovye modeli i resheniya*. – 2024. – Т. 3, № 2. – С. 5-16. – DOI 10.29141/2949-477X-2024-3-2-1. – EDN UEZYBI.
5. Radkovskaya E.V. Kolichestvennaya ocenka vnedreniya i ispol'zovaniya cifrovых технологий v RF // *Ekonomicheskaya bezopasnost'* – XXI vek: voprosy teorii i praktiki: sbornik materialov IX Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii, Ekaterinburg, 08 aprelya 2025 goda. – Ekaterinburg: Ural'skij gosudarstvennyj gornyj universitet, 2025. – С. 227-230. – EDN LZDPOQ.
6. Kytmanov A.A., Kuznecov D.B. Analiz sushchestvuyushchih razrabotok informacionnyh sistem dlya avtomatizacii zadach obsluzhivaniya IT-infrastruktury // *Avtomatizirovannye sistemy upravleniya i informacionnye tekhnologii: materialy vsrossijskoj nauchno-tekhnicheskoy konferencii, Perm', 07-09 iyunya 2023 goda*. – Perm': Permskij nacional'nyj issledovatel'skij politekhnicheskij universitet, 2023. – С. 174-177.
7. Panova M.V., Turyleva D.I., Borovyagin D.A., Borkichev D.A. Ocenka neobhodimosti vnedreniya ERP-sistemy v malom i srednem biznese // *Aktual'nye voprosy sovremennoj ekonomiki*. – 2025. – № 4. – С. 407-410. – EDN STAXTY.
8. Smolin D.E., Kuchuganov A.V. Sistemy upravleniya zayavkami i sposoby povysheniya effektivnosti ih raboty // *Nauchnyj al'manah*. – 2019. – № 12-3(62). – С. 59-61.
9. Kol'eva N.S., Kirichenkov I.I., Polyakov S.Yu. Cennost' intellektual'noj sobstvennosti v epohu razvitiya iskusstvennogo intellekta // *BI-tekhnologii i korporativnye informacionnye sistemy v optimizacii biznes-processov cifrovoj ekonomiki: materialy XII Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy ochno-zaochnoy konferencii, Ekaterinburg, 04*

dekabrya 2024 goda. – Ekaterinburg: Ural'skij gosudarstvennyj ekonomicheskij universitet, 2025. – S. 105-108. – EDN IRZOVU.

10. Nikiforov O., Mukhametova L.R. Key aspects of implementing the help desk system in an educational institution // ACM International Conference Proceeding Series: Proceedings Papers – 3rd International Scientific and Practical Conference, DEFIN 2020, Saint Petersburg, 19-20 marta 2020 goda. – Russia: Association for Computing Machinery, 2020. – DOI 10.1145/3388984.3390876.

11. Kokovihin A.Yu., Kol'eva N.S., Kortenko L.V. Imitacionnoe modelirovanie biznes-processov v korporacii (pakety prikladnyh programm v upravlenii personalom). – Ekaterinburg: Ural'skij gosudarstvennyj ekonomicheskij universitet, 2024. – 261 s. – EDN VTDAHE.

12. Obzor Service Desk i Help Desk sistem / I.V. Gusev, M.V. Shiganova, Yu.A. Fadeeva, T.A. Belova // Studencheskij. – 2020. – № 28-1(114). – S. 17-18.

13. Cifrovaya dekompoziciya v ocenke urovnya cifrovizacii predpriyatij malogo i srednego biznesa / L.V. Kortenko, N.S. Kol'eva, M.V. Panova [i dr.] // Finansovye rynki i banki. – 2024. – № 12. – S. 55-60. – EDN WSVUXW.

14. Miheenko A.M., Burkin D.A. Ob avtomatizacii processa prioritizacii dlya Help Desk sistem // Ekonomika, biznes, innovacii: sbornik statej XII Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii, Penza, 30 aprelya 2020 goda. – Penza: Nauka i Prosveshchenie (IP Gulyaev G.Yu.), 2020. – S. 162-169.

15. Gaijberkova A.O. Analiz sushchestvuyushchih avtomatizirovannyh sistem upravleniya // Prioritetnye napravleniya razvitiya rossijskoj nauki: materialy III vserossijskoj nauchno-prakticheskoy konferencii, Kazan', 23 yanvarya 2020 goda / otv. red. A.A. Zarajskij. – Kazan': Centr professional'nogo menedzhmenta «Akademiya Biznesa», 2020. – S. 56-57.

Информация об авторах

Т.С. Орлова – доктор философских наук, к.э.н., доцент, профессор;

Р.Н. Кожяхметова – магистр;

А.О. Гонцова – магистрант;

Е.О. Гонцов – студент.

Information about the authors

T.S. Orlova – Doctor of Philosophy, Candidate of Economic Sciences, Associate Professor, Professor;

R.N. Kozhakhmetova – Master's Degree Student;

A.O. Gontsova – Master's Degree Student;
E.O. Gontsov – Student.

Вклад авторов:

T.C. Орлова – концептуализация, методология.
P.H. Кожяхметова – проведение исследования, визуализация.
A.O. Гонцова – научное редактирование текста.
E.O. Гонцов – сбор материала, обработка материала.
Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Contributions of the authors:

T.S. Orlova – conceptualization, methodology.
R.N. Kozhakhmetova – research, visualization.
A.O. Gontsova – scientific editing.
E.O. Gontsov – data collection, data processing.
The authors declare no conflict of interest.

Статья поступила в редакцию 18.01.2026; принята к публикации 25.02.2026.

The article was submitted 18.01.2026; accepted for publication 25.02.2026.

ХИМИЧЕСКИЕ НАУКИ

Научная статья

УДК 547.541.3

DOI 10.21510/3034-266X-2026-1-40-57

ФИТОРЕГУЛЯТОРНЫЕ СВОЙСТВА ГАЛЛОВОЙ КИСЛОТЫ

Кенуль Ширзад гызы Алиева

*Институт нефтехимических процессов Министерства науки и
образования Азербайджана, Баку, Азербайджан
rchk49@mail.ru*

Аннотация. Галловая кислота представляет собой триоксibenзойную кислоту, которая часто встречается в природе, в таких растениях как чай, дубовая кора, тунбергия, а также экстрактах дуба. Галловая кислота может играть важную роль в процессах жизнедеятельности растительных организмов. В связи с вышеуказанным, а также с учетом небольшого количества обзорных работ в области применения галловой кислоты в качестве фиторегулятора (стимулятора роста растений) целью представленной работы является обобщение и систематизация результатов исследований в области применения галловой кислоты в агрохимии. В текущей работе показаны результаты исследований в области применения галловой кислоты в качестве регуляторов роста растений, в частности, в статье описаны конкретные эффекты на растения (влияние на корни *Arabidopsis*, защита от соли и бора, стимуляция роста пшеницы, инсектицидная активность). На основании представленных результатов было установлено, что галловая кислота в низких концентрациях (менее 1 мМ) стимулирует рост корней, в высоких концентрациях она ингибирует рост растений; экзогенная обработка галловой кислотой снижает окислительный стресс при засолении за счёт активации СОД, КАТ и АПХ; галловая кислота проявляет инсектицидную активность против *S. litura*, что перспективно для биопестицидов; наиболее эффективные концентрации галловой кислоты для защиты растений – от 0,1 до 2 мМ в зависимости от культуры. Показано, что основными перспективными направлениями применения галловой кислоты является разработка препаративных форм и изучение синергии с другими регуляторами роста растений.

Ключевые слова: галловая кислота, фиторегуляторная способность, стимуляторы роста растений, естественные фиторегуляторы, рост растений

Для цитирования: Алиева К.Ш. Фиторегуляторные свойства галловой кислоты // Вестник Башкирского государственного педагогического университета им. М.Акмуллы. Серия: Естественные науки. 2026. № 1. С. 40-57.

CHEMICAL SCIENCES

Original article

PHYTOREGULATORY PROPERTIES OF GALLIC ACID

Kenul Shirzad Aliyeva

Institute of Petrochemical Processes of the Ministry of Science and Education of Azerbaijan, Baku, Azerbaijan
rchk49@mail.ru

Abstract. Gallic acid is a trihydroxybenzoic acid that is commonly found in nature, in plants such as tea, oak bark, Thunbergia, and oak extracts. Gallic acid can play an important role in the vital processes of plant organisms. In connection with the above, and taking into account the small number of review papers on the use of gallic acid as a phyto regulator (plant growth stimulator), the aim of the presented work is to summarize and systematize the results of research on the use of gallic acid in agrochemistry. The current work presents the results of research on the use of gallic acid as a plant growth regulator, in particular, the article describes specific effects on plants (effect on Arabidopsis roots, protection from salt and boron, stimulation of wheat growth, insecticidal activity). Based on the presented results, it was established that gallic acid in low concentrations (less than 1 mM) stimulates root growth, while in high concentrations it inhibits plant growth; Exogenous treatment with gallic acid reduces oxidative stress under salinity by activating SOD, CAT, and APH. Gallic acid exhibits insecticidal activity against *S. litura*, which holds promise for biopesticides. The most effective concentrations of gallic acid for plant protection range from 0.1 to 2 mM, depending on the crop. The main promising areas for the use of gallic acid are the development of formulations and the study of synergy with other plant growth regulators.

Key words: gallic acid, phyto regulatory capacity, plant growth stimulants, natural phyto regulators, plant growth

For citing: Aliyeva K.Sh. Phyto regulatory properties of gallic acid // Bulletin of Bashkir State Pedagogical University named after M. Akmully. Series: Natural Sciences. 2026. № 1. pp. 40-57.

Введение. Галловая кислота представляет собой триоксибензойную кислоту, которая часто встречается в природе, в таких растениях как чай, дубовая кора, тунбергия, а также экстрактах дуба. Первое сообщение о галловой кислоте датируется 1786 годом, когда она была выделена из вытяжки чернильных орешков (галлов, отсюда и произошло ее название). Галлы представляют собой наросты на дубовых листьях. Галловая кислота может играть важную роль в процессах жизнедеятельности растительных организмов. Она является вторичным метаболитом растений и выполняет ряд важных функций в процессе жизнедеятельности растительных организмов. В представленной работе показаны результаты исследований в области применения галловой кислоты в качестве регуляторов роста растений

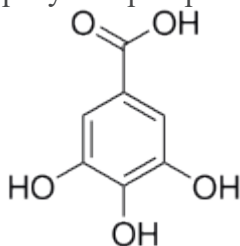


Рис. 1. Химическое строение галловой кислоты

Целью представленной работы является обобщение и систематизация результатов исследований в области применения галловой кислоты в агрохимии.

Методология. Представленная работа включает результаты исследований, осуществленных в течение 2000-2025 гг. в области применения галловой кислоты и ее функционально-замещенных производных в качестве регуляторов роста растений с использованием широкой базы данных рецензируемых статей (Scopus, Web of Science, PubMed, eLibrary). На основании полученных результатов исследований осуществлена группировка по тематическим блокам

Результаты и обсуждение. Исследования по определению фиторегуляторных свойств галловой кислоты можно классифицировать по следующим основным направлениям:

1) Влияние галловой кислоты на рост корней и ауксиновый транспорт

Галловая кислота – важный вторичный метаболит растений, имеющий большое значение в медицине, пищевой и химической промышленности [1]. Однако, влияет ли это широко распространенное природное полифенольное соединение на рост и развитие самих растений и каким образом, остается неясным. В данном исследовании авторы выявили, что экзогенное внесение галловой кислоты оказывает двоякое действие на удлинение первичного корня у *Arabidopsis*. В то время как более низкие концентрации галловой кислоты слегка

стимулируют рост первичного корня, избыток галловой кислоты значительно снижает длину первичного корня и размер корневой меристемы в зависимости от дозы, вероятно, посредством подавления деления клеток в корневой меристеме, на что указывает *SYCB1;1::GUS*. Более того, как показал анализ линии *DR5::GFP* и подтверждено методом жидкостной хроматографии с масс-спектрометрией (ЖХ-МС), содержание ауксина в кончиках корней резко снижалось при избыточной обработке галловой кислотой. Дополнительное внесение ИУК частично восстановило укорочение первичного корня и корневой меристемы после избыточной обработки галловой кислотой, что позволяет предположить, что ауксин необходим для ингибирования роста корней, вызванного избыточной обработкой галловой кислотой.

Галловая кислота была модифицирована до производных нафтофенона с этерифицированной боковой цепью жирной кислоты [2]. Соединение – этилкротоновый эфир производного нафтофенона, проявило мощную ауксинподобную ростостимулирующую активность. Это первый пример производных нафтофенона, обладающих стимулирующей активностью в отношении роста растений.

Было оценено влияние различных концентраций (+)-катехина и галловой кислоты на рост и метаболизм *Lactobacillus hilgardii* в различных средах [3]. Эти фенольные соединения в концентрациях, обычно присутствующих в вине, не только стимулировали скорость роста, но и приводили к большей плотности клеток во время стационарной фазы роста в обеих средах. В течение первых часов роста оба фенольных соединения активировали скорость использования глюкозы и фруктозы, и только катехин увеличивал скорость потребления яблочной кислоты. Галловая кислота и катехин потреблялись с начала роста *L. hilgardii*. Все указанные эффекты усиливались, когда клетки предварительно культивировались в присутствии фенольных соединений, особенно в среде FT80. Как стимулирующие агенты роста *L. hilgardii*, галловая кислота и катехин могут увеличивать риск порчи молочнокислыми бактериями в вине.

Банан Кавендиш (*Musa acuminata*) – один из важнейших фруктов в мире. Культура тканей побегов Кавендиша с использованием барботажной колонны-биореактора может быть решением для получения высокоурожайных проростков и галловой кислоты благодаря аэрации с минимальным напряжением сдвига [4]. В данном исследовании проанализированы средняя скорость роста, наличие галловой кислоты и антиоксидантная активность (IC_{50}) в барботажной колонне-биореакторе (объемом 200 мл) при скорости аэрации 1 мл/с и 2 мл/с с использованием жидкой среды Мурашиге и Скуга половинной концентрации, дополненной 0,5 ppm гибберелловой

кислоты. В качестве аэрационной системы использовался атмосферный воздух. Листья и стебли были экстрагированы путем мацерации с использованием 96% этанола (1:10 (масса/объем)). Был проведен качественный фенольный тест с FeCl_3 , тонкослойная хроматография и антиоксидантный тест с 2,2-дифенил-1-пикрилгидразилом. Средняя скорость роста в биореакторе составила $0,22 \pm 0,001$ г/сут (1 мл/с) и $0,21 \pm 0,001$ г/сут (2 мл/с). Все экстракты листьев и стеблей показали положительные результаты в фенольном тесте, но присутствие галловой кислоты не удалось четко обнаружить методом тонкослойной хроматографии. Значения IC_{50} при скорости аэрации 1 мл/с и 2 мл/с для листьев составили 41,35 и 79,54 мкг/мл соответственно, а для стеблей – 51,87 и 104,94 мкг/мл соответственно. Можно сделать вывод, что рост бананового растения и выработка антиоксидантов в биореакторе с барботажной колонной были выше при скорости аэрации 1 мл/с, чем 2 мл/с.

Низкомолекулярные фенольные соединения были идентифицированы в свежих листьях и в почвах, в которых разлагались листья пяти сортов *Capsicum annuum* L.. Шесть фенольных соединений были протестированы в лабораторных биопробах на их аллелопатические эффекты на прорастание и рост проростков шести сорняков. Феруловая кислота, галловая кислота, *n*-кумаровая кислота, *n*-гидроксibenзойная кислота, ванилиновая кислота и *n*-ванилин были биопробированы в концентрациях 10, 1, 0,1 и 0,01 мМ. Эквимолярные смеси, содержащие все эти фенолы, были приготовлены в конечной общей концентрации 10, 1, 0,1 и 0,01 мМ для проверки возможных интерактивных эффектов. *Chenopodium album* L., *Plantago lanceolata* L., *Amaranthus retroflexus* L., *Solanum nigrum* L., *Cirsium* sp. и *Rumex crispus* L. были выбраны в качестве целевых сорняков. Максимальная концентрация соединений подавляла прорастание всех этих сорняков, тогда как более низкие концентрации не оказывали никакого эффекта или оказывали стимулирующий эффект. Однако эффект варьировался в зависимости от вида сорняка, концентрации исследуемого соединения и самого соединения. В экспериментах со смесью фенолов авторы обнаружили признаки некоторого аддитивного эффекта [5].

Целью исследования [6] было улучшение прорастания семян коровьего гороха и роста проростков путем использования некоторых антиоксидантных соединений, естественным образом вырабатываемых или поглощаемых растениями. Исследовалось влияние замачивания коровьего гороха (*Vigna unguiculata*) в течение 2 часов в аэрированном растворе различных антиоксидантов: аскорбиновой кислоты (АК) и галловой кислоты (ГК), каждая в концентрации 0,0, 50, 100, 150, 200, 250 и 300 ppm, селената натрия (NaSeO_4) и наноселена ($\text{SeNPs} \approx 33,4$ нм), химически приготовленных, в концентрации 0,0, 6,25, 12,5, 25, 50

и 100 мкМ, на длину проростков и активность некоторых гидролитических ферментов. Семена обработанного и необработанного коровьего гороха проращивали при температуре $25^{\circ}\text{C} \pm 0,5$ в условиях темноты в течение 4 дней. Результаты показали, что ацетилсалициловая кислота, ГК, NaSeO_4 и SeNP в низких концентрациях значительно улучшили длину почечек и радикалов по сравнению с соответствующими им контрольными образцами. Более того, ацетилсалициловая кислота и ГА до 150 ppm, NaSeO_4 и SeNP до 25 мкМ значительно увеличили активность ферментов α -амилазы, β -амилазы и протеазы, а также содержание общих растворимых сахаров и общих растворимых белков. Результаты указывают на успешное использование аскорбиновой кислоты и галловой кислоты до 150 ppm, а также селената натрия и наноселена до 25 мкМ для усиления роста проростков и гидролитической ферментативной активности пророщенных семян коровьего гороха.

В сезоне 2016-2017 гг. на экспериментальной ферме Хелуанского университета в Каире, Египет, был проведен эксперимент в горшках [7]. Целью этого эксперимента было изучение реакции вегетативного роста, урожайности семян (веса), некоторых метаболических процессов и компонентов растений коровьего гороха (*Vigna unguiculata* L.) на опрыскивание листьев аскорбиновой кислотой (АК; 100, 150 и 200 ppm) и галловой кислотой (ГК; 100, 150 и 200 ppm), двумя антиоксидантами. Опрыскивание листьев АК и ГК значительно увеличило все показатели роста (длину корней и стебля, сырую и сухую массу корней и стебля, количество листьев и общую площадь листьев ($\text{cm}^2/\text{растение}$), а также вес и качество семян по сравнению с необработанными контрольными растениями. Содержание общего количества фотосинтетических пигментов (ОФП), общего количества углеводов (ОУ), общего количества растворимых белков (ОРБ), сырого протеина (СП) и различных минералов в листьях увеличилось, а содержание общего количества растворимых сахаров (ОРС) снизилось при внесении АК и ГА, особенно в концентрации 100 ppm. Более того, ГА в концентрации 100 ppm была более эффективна, чем аскорбиновая кислота в концентрации 100 ppm, в повышении уровня гормонов роста индолилуксусной кислоты (ИУК), цитокининов (ЦК) и гибберелловой кислоты (ГКЗ) в листьях коровьего гороха, при более низком содержании абсцизовой кислоты (АБК). В заключение, пищевая ценность и качество растений коровьего гороха могут быть улучшены при внесении АК и ГА в концентрации 100 ppm.

2) Защита от абиотических стрессов (засоление, бор, радиация, засуха)

Динамические изменения климатических условий увеличивают засоление почвы и уровни бора, которые являются основными

абиотическими факторами, влияющими на рост растений и вторичный метаболизм [8]. Настоящее исследование оценило роль регуляторов роста, включая биоуголь (5 г/кг) и галловую кислоту (GA, 2 мМ), в изменении морфоанатомических и физиологических реакций листьев *Solanum melongena* L., подвергнутых воздействию бора (25 мг/кг) и солевого стресса (150 мМ NaCl). Эти регуляторы роста увеличили сырую массу листьев (LFW) (70%), сухую массу листьев (LDW) (20%), площадь листа (LA), индекс площади листа (LAI) (85%), влажность листьев (LMC) (98%) и относительное содержание воды (RWC) (115%) в условиях засоления и борного стресса. Физиологические признаки были проанализированы для определения уровней стресса и антиоксидантной защиты. Фотосинтетические пигменты подверглись отрицательному воздействию засоления и борного стресса, а также незначительному снижению активности трегалозы, ГА, осмопротектора и каталазы (КАТ) и аскорбатпероксидазы (АПХ). Эти параметры были улучшены путем внесения биоугля в почву и предварительного замачивания семян в GA ($p < 0,05$) у обоих сортов *S. melongena* L. Сканирующая электронная микроскопия (SEM) и световая микроскопия показали, что внесение биоугля и GA улучшило устьичную регуляцию, плотность трихом, эпидермальную энергию, размер устьиц (SS) (13 381 мкм), устьичный индекс (SI) (354 мм²), толщину верхнего эпидермиса (UET) (123 мкм), толщину нижнего эпидермиса (LET) (153 мкм), толщину кутикулы (СТ) (11,4 мкм), плотность трихом (TD) (23 на мм²), количество островков жилок (VIN) (14 на мм²), количество окончаний жилок (VTN) (19 на мм²), толщину средней жилки (MT) (5546 мкм) и TD (27,4 мм²) в условиях засоления и стресса, вызванного бором. Эти результаты свидетельствуют о том, что использование недорогого и легкодоступного биоугля и предпосев семян GA может улучшить морфоанатомические и физиологические реакции *S. melongena* L. в условиях окислительного стресса.

Засоление оказывает значительное влияние на сельскохозяйственные культуры, нарушая их водный баланс и усвоение питательных веществ, снижая рост, урожайность и общее здоровье растений [9]. Высокая засоленность почвы может негативно влиять на растения, нарушая их водный баланс. Избыточный уровень соли может привести к обезвоживанию, препятствовать усвоению питательных веществ и повреждать клетки растений, в конечном итоге ухудшая рост и снижая урожайность. Галловая кислота (GA) и феррит цинка (ZnFNP) могут эффективно решать эту проблему. GA может стимулировать рост корней, усиливать фотосинтез и помогать растениям эффективно усваивать питательные вещества. Однако их совместное применение в качестве добавки против засухи все еще требует научного обоснования. Наночастицы феррита цинка обладают

многими полезными свойствами для рекультивации почвы и медицинского применения. Вот почему в текущем исследовании использовалась комбинация GA и ZnFNP в качестве добавок для пшеницы. Было проведено 4 варианта обработки: 0, 10 мкМ GA, 15 мкМ GA и 20 мкМ GA, без и с 5 мкМ ZnFNP в 4 повторениях по полностью рандомизированному плану. Результаты показали, что комбинация 20 мкМ GA и 5 мкМ ZnFNP привела к значительному улучшению длины побегов пшеницы (28,62%), сырой массы побегов (16,52%), сухой массы побегов (11,38%), длины корней (3,64%), сырой массы корней (14,72%) и сухой массы корней (9,71%) по сравнению с контрольной группой. Значительное обогащение пшеницы хлорофиллом а (19,76%), хлорофиллом b (25,16%), общим хлорофиллом (21,35%), скоростью фотосинтеза (12,72%), скоростью транспирации (10,09%) и устьичной проводимостью (15,25%) по сравнению с контролем подтверждает потенциал 20 мкМ GA + 5 мкМ ZnFNP. Кроме того, улучшение концентрации N, P и K в зерне и побегах подтвердило эффективное функционирование 20 мкМ GA + 5 мкМ ZnFNP по сравнению с контролем. В заключение, 20 мкМ GA + 5 мкМ ZnFNP могут потенциально улучшить рост, содержание хлорофилла и характеристики газообмена пшеницы, выращиваемой в условиях засоления. Предлагается провести дополнительные исследования, чтобы объявить 20 мкМ GA + 5 мкМ ZnFNP лучшей добавкой для смягчения солевого стресса у различных зерновых культур.

Вещества, регулирующие рост растений, играют важную роль в поддержании процессов развития и физиологических процессов у растений в условиях абиотического стресса. Помимо традиционных фитогормонов, фенольные кислоты, салициловая кислота (СК) и галловая кислота (ГК), являются новыми игроками, играющими ключевую роль в смягчении различных экологических нарушений [10]. В настоящем исследовании сравнивалось действие этих двух фенольных кислот на смягчение стресса у проростков пшеницы (*Triticum aestivum* L. 'Gönen-98'), семена которых использовались в этом исследовании и были предварительно обработаны возрастающими дозами гамма-облучения (ИК, 100 > 400 Гр). Для измерений и определений использовались листья проростков, выращенных на гидропонике в течение 10 дней в среде, содержащей 100 мкмоль/л СК и ГК. Соответственно, экзогенная обработка СК и ГК значительно улучшала рост растений и фотосинтетическую активность и регулировала стресс-индуцированное накопление осмолитов против γ -облучения. Обработки также привели к значительному снижению содержания ТБК и H_2O_2 . Активность антиоксидантных ферментов дополнительно стимулировалась обработкой СК и ГК по сравнению с

обработкой только ИИ. Фенольный пул, включая фенольные кислоты и содержание GSH в целых проростках, стимулировался ИИ и последующими обработками СК и ГК. Содержание фенольных кислот, высвобожденных из растворимых свободных, растворимых эфир-конъюгированных и растворимых гликозид-конъюгированных СК и ГК в корнях и листьях, увеличилось после обработки только СК и ГК по сравнению с контрольными группами и ИИ. Представленные результаты показывают, что СК и ГК могут смягчать улучшающие эффекты ИИ, приводящие к дальнейшему окислительному стрессу, и могут улучшать толерантность стрессированных проростков пшеницы за счет стимуляции ферментативных и неферментативных компонентов антиоксидантной системы защиты.

Площадь засоления во всем мире расширяется с каждым днем, а засоление почвы ограничивает развитие и производительность сельскохозяйственных культур, включая рис [11]. Учитывая это, в текущем исследовании изучалась реакция галловой кислоты (ГК) на обеспечение устойчивости к засолению у проростков риса. Четырнадцатидневные проростки риса (*Oryza sativa* L. cv. *BRRIdhan52*) обрабатывали 200 мМ NaCl отдельно или в сочетании с 1 мМ ГК. Солевой стресс приводил к осмотическому, ионному и окислительному стрессу у проростков риса. Осмотический стресс увеличивал накопление пролина и осмотический потенциал, что снижало относительное содержание воды, содержание хлорофилла и сухую массу. Ионный стресс нарушал ионный гомеостаз за счет накопления Na^+ и утечки K^+ . Осмотический и ионный стресс, одновременно, нарушали антиоксидантную защиту и глиоксалазные системы за счет более высокой продукции активных форм кислорода (АФК) и метилглиоксаля (МГ) соответственно. Это привело к окислительному повреждению, на которое указывало высокое количество малонового диальдегида (МДА). Добавление ГК в обработанные солью проростки риса частично восстановило вызванные солью повреждения за счет улучшения осмотического и ионного гомеостаза путем увеличения водного баланса и снижения содержания Na^+ и соотношения Na^+/K^+ . Галловая кислота также усилила детоксикацию МГ, вызвав активность фермента глиоксалазы в обработанных солью проростках риса. Полученные результаты свидетельствуют о том, что дополнительное введение ГК устраняет вызванные солью повреждения в проростках риса за счет улучшения осмотического и ионного гомеостаза и повышения активности системы детоксикации АФК и МГ.

Рост и развитие растений сильно страдают от засоления почвы [12]. Данное исследование было проведено для оценки взаимодействия некорневой подкормки антиоксидантами (β -каротином и галловой

кислотой) и солевого стресса у проростков *Lepidium sativum*. Полученные результаты показали, что общий сухой и сырой вес растений подвергся отрицательному воздействию засоления 25 мМ NaCl. Более того, содержание K^+ снизилось, а содержание Na^+ значительно увеличилось. Некорневая подкормка β -каротином и галловой кислотой значительно смягчила последствия солевого стресса, регулируя поглощение ионов, снижая содержание H_2O_2 и малонового диальдегида (МДА), а также увеличивая активность ферментативных антиоксидантов, содержание фенольных соединений, глутатиона и хлорофилла. Растения, обработанные β -каротином и галловой кислотой, обладали более высокой солеустойчивостью.

Целью исследования [13] было изучение того, повышает ли экзогенное внесение галловой кислоты (ГК) устойчивость сортов риса к осмотическому стрессу, вызванному полиэтиленгликолем (ПЭГ), или к стрессу, вызванному солью (NaCl). После выращивания на гидропонике двух сортов *Oryza sativa* L., толерантного сорта *Pokkali* и чувствительного сорта IR-28, в течение 3 недель, семена обрабатывали ГК (0,75 и 1,5 мМ), 120 мМ NaCl и 20 % ПЭГ-6000, что обеспечивало одинаковый осмотический потенциал ($-0,5$ МПа), а также сочетанием ГК и стресса в течение 72 часов. ПЭГ оказывал более выраженное снижение скорости роста (RGR) и содержания воды (RWC), чем NaCl, у обоих сортов. Соль и ПЭГ снизили максимальную фотохимическую эффективность (F_v/F_m), коэффициент фотохимического тушения (qP) и фактический квантовый выход (ФПСII), еще более выраженный при NaCl в IR-28. Кроме того, заметное увеличение перекисного окисления липидов (TBARS) и содержания перекиси водорода (H_2O_2) наблюдалось при обработке ПЭГ по сравнению с обработкой NaCl. Активность супероксиддисмутазы (СОД), аскорбатпероксидазы (АРХ) и глутатионредуктазы в Поккали и каталазы (КАТ) и пероксидазы (РОХ) в IR-28 была индуцирована в большей степени ПЭГ. Чувствительность растений к стрессу была выше в IR-28, чем в Поккали. Кроме того, сравнивая повреждение между стрессами NaCl и ПЭГ, оно было больше при осмотическом стрессе, опосредованном ПЭГ. Однако, по сравнению с обработанными только стрессом растениями, добавление ГК к растениям сорта Поккали, подвергшимся воздействию NaCl, значительно снизило содержание H_2O_2 и ТБК, усилило активность СОД, КАТ, ПОК и АРХ, а также увеличило RGR, осмотический потенциал (ΨП), F_v/F_m и пролин.

3) Роль галловой кислоты в защите от насекомых и патогенов

Галловая кислота (ГК), важное полифенольное соединение в растениях, является хорошо известным антиоксидантом, антигипергликемическим и антиперекисным агентом [14]. Недавно

обработка ГК продемонстрировала улучшающее действие на растения в ответ на некоторые абиотические стрессы. Однако элиминирующий эффект ГК на защиту растений от растительноядных насекомых до сих пор не был описан. В этом исследовании авторы обнаружили, что экзогенное внесение ГК индуцировало прямую защиту чайного растения (*Camellia sinensis*) от личинок чайного пяденицы (*Ectropis obliqua*) посредством активации сигнальных путей жасмоновой кислоты (ЖК) и фенилпропаноидных путей. Эти сигнальные каскады привели к эффективной индукции нескольких защитных соединений. Среди них астрагалин, нарингенин и эпигаллокатехин-3-галлат были тремя наиболее активными антифидерными соединениями. Однако экзогенная обработка ГК не повлияла на предпочтения самок моли *E. obliqua* и личинок паразитоида *Apanteles* sp. Это исследование предполагает, что ГК может служить элиситором, запускающим прямую защитную реакцию против личинок чайных пядениц на растениях чая. Данное исследование поможет углубить понимание взаимодействия растений с насекомыми-фитофагами, а также предоставит теоретические и технические рекомендации по разработке элиситоров для защиты растений.

Антибиотический эффект галловой кислоты на *Spodoptera litura* F. (Lepidoptera: Noctuidae) и ее паразитоиде, оцененный путем кормления шестидневных личинок искусственным кормом, включающим различные концентрации (5 ppm, 25 ppm, 125 ppm, 625 ppm, 3125 ppm) фенольного соединения, показал, что более высокая концентрация (LC₅₀) галловой кислоты оказала отрицательное влияние на выживаемость и физиологию *S. litura* и ее паразитоида *Bracon hebetor* (Say) (Hymenoptera: Braconidae). Смертность личинок *S. litura* увеличилась, тогда как, вылет имаго снизился с увеличением концентрации галловой кислоты [15]. Период развития был значительно задержан, и все показатели питания значительно снизились с увеличением концентрации. Более высокая концентрация (LC₅₀) галловой кислоты оказала отрицательное влияние на вылупление яиц, смертность личинок, вылет имаго и общий период развития *B. hebetor*. При более низкой концентрации (LC₃₀) воздействие на взрослых особей и личинок *B. hebetor* было незначительным по сравнению с контрольным образцом. Экспрессия генов ферментов, таких как супероксиддисмутаза, глутатионпероксидаза, пероксидаза, эстеразы и глутатион-S-трансферазы, увеличивалась, в то время как общее количество гемоцитов у личинок *S. litura* снижалось при обработке. Полученные авторами результаты свидетельствуют о том, что галловая кислота даже в более низкой концентрации (LC₃₀) может подавлять рост личинок *S. litura*, не причиняя существенного вреда её паразитоиду *B.*

hebetor, и обладает огромным потенциалом для использования в качестве биопестицидов.

4) Применение галловой кислоты в культуре тканей и биотехнологии

Галловая кислота содержится в тканях растений в свободной форме, а также в составе сложных эфиров и гидролизуемых танинов. 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 эксплантатов характеризуется интенсивным синтезом фенолов, которые быстро окисляются, полимеризуются, блокируют пути питания эксплантатов и вызывают некроз тканей. Добавление галловой кислоты в миллимолярных концентрациях в питательную среду снижает риск аутоинтоксикации тканей вторичными продуктами метаболизма [16].

Целью работы было изучение влияния экзогенной галловой кислоты на органогенез и синтез фенолов растений *Salix alba* и *Corylus avellana in vitro*. Для этого в исследовании использовались методы культуры 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*.

5) Определение галловой кислоты с помощью современных физико-химических методов

Спиртовые экстракты фенольных соединений были приготовлены из зеленого чая (*Camellia sinensis* L.), листьев толокнянки (*Arctostaphylos uva-ursi* L.), фундука (*Corylus avellana*),

энотеры (*Oenothera biennis*) и виноградных косточек (*Vitis vinifera* L.). Все неочищенные экстракты были исследованы на содержание галловой кислоты методом ВЭЖХ [17]. Препарат листьев толокнянки также был фракционирован методом колоночной хроматографии на сефадексе LH-20 с 95% (об./об.) этанолом и ацетоном:водой (1:1; об./об.) в качестве подвижных фаз: одна фракция состояла из низкомолекулярных фенолов, а другая – из танинов. Ко всем образцам была применена танназа для высвобождения галловой кислоты из фенольных эфиров и гидролизуемых танинов. Содержание свободной галловой кислоты в экстрактах варьировалось от 1 до 15 мг/г, при этом наибольшее её количество было обнаружено в энотере. Содержание галловой кислоты, высвобождаемой танназой, варьировалось от 5 до 309 мг/г, при этом наибольшее её количество было обнаружено во фракции танинов экстракта листьев толокнянки.

Camptomanesia adamantium произрастает в бразильском Серрадо, а ее листья широко используются как противовоспалительное, противодиарейное и антисептическое средство в мочевыводящих путях [18]. Целью данного исследования была разработка и валидация аналитического метода с помощью высокоэффективной жидкостной хроматографии для одновременного количественного определения и оценки сезонной изменчивости галловой кислоты, катехина и эпикатехина в течение 12 месяцев в экстрактах листьев *C. adamantium*. Хроматографические разделения проводились с использованием градиента подвижной фазы ацетонитрила и 0,05% (об./об.) раствора трифторуксусной кислоты, скорости потока 1,0 мл/мин, детектирования при 210 нм, колонки C18 (150 × 4,6 мм, 5 мкм) и температуры термостата колонки 35 °С. Разработанный аналитический метод был селективным, линейным, точным, аккуратным, надежным и без эффекта матрицы. Полученные в настоящем исследовании параметры соответствуют требованиям, установленным национальными и международными рекомендациями. Наиболее благоприятное время сбора листьев с максимальными концентрациями галловой кислоты – сентябрь (0,0626%, масс./об.) и август (0,044%, масс./об.), катехина – июнь (0,3953%, масс./об.) и июль (0,3804%, масс./об.), а эпикатехина – май (0,1622%, масс./об.) и июнь (0,1415%, масс./об.), в сухой сезон. Таким образом, данное исследование вносит свой вклад, предоставляя параметры для контроля качества сырья *C. adamantium*.

Заключение. Таким образом, представленный анализ результатов исследований в области применения галловой кислоты в качестве фиторегулятора роста растений позволяет сделать однозначный вывод о наличии рост регулирующих свойств этого

соединения. На основании представленных результатов можно заключить, что:

1) галловая кислота в низких концентрациях (менее 1 мМ) стимулирует рост корней, в высоких – ингибирует; \

2) экзогенная обработка галловой кислотой снижает окислительный стресс при засолении за счёт активации СОД, КАТ и АПХ;

3) галловая кислота проявляет инсектицидную активность против *S. litura*, что перспективно для биопестицидов;

4) наиболее эффективные концентрации галловой кислоты для защиты растений – от 0,1 до 2 мМ в зависимости от культуры;

5) перспективные направления – разработка препаративных форм и изучение синергии с другими регуляторами.

Полученные результаты создают широкие перспективы для проведения дальнейших систематических исследований в области применения галловой кислоты в качестве фиторегулятора растительных организмов.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Zilian X., Yang B., Jing F., Yuan Q., Fu H. Gallic acid regulates primary root elongation via modulating auxin transport and signal transduction // Front. Plant Sci. 2024. Vol. 15. pp. 132-139.

2. Negi S., Darokar M.P., Chattopadhyay S.K., Garg A. Synthesis of a Novel Plant Growth Promoter from Gallic Acid // Bioorganic and Medicinal Chemistry Letters. 2005. Vol. 15. N 4. pp. 1243-1247.

3. Alberto M., Farias M.E., Manca de Nadra M.C. Effect of Gallic Acid and Catechin on *Lactobacillus hilgardii* 5w Growth and Metabolism of Organic Compounds // J. Agricult. Food Chem. 2001. Vol. 49. N 9. pp. 4359-4363.

4. Nurhayati N., Esyanti R.R., Lambangsari Kh. Analysis of Plant Growth and Gallic Acid Content for Cavendish Banana (*Musa acuminata*) Shoot Culture with Bubble Column Bioreactor // Journal of Intergrated and Advanced Engineering. 2022. Vol. 2. N 1. pp. 33-44.

5. Reigosa M.J., Souto X.C., Conzakes L. Effect of phenolic compounds on the germination of six weeds species // Plant Growth Regulation. 1999. Vol. 28. pp. 83-88.

6. Zeid I.M., Lateef Gharib F.A., Mohamad S., Zakaria A. Promotive Effect of Ascorbic Acid, Gallic Acid, Selenium and Nano-Selenium on Seed Germination, Seedling Growth and Some Hydrolytic Enzymes Activity of Cowpea (*Vigna unguiculata*) Seedling // J. Plant Physiol. Pathol. 2019. Vol. 7. N 1. pp. 132-138.

7. Gharib F.A., Zeid I.M., Chazi S.M., Zakaria E.A. Physiological Effects of Ascorbic and Gallic Acids on Growth and Metabolic Activities of

Cowpea (*Vigna unguiculata* L.) Plants // J. Plant Physiol. Pathol. 2018. Vol. 6. N 4. pp. 192-201.

8. Shumaila I., Ullah S., Wadood Sh., Aqsa H. Biochar and Seed Priming Technique with Gallic Acid: An Approach toward Improving Morpho-Anatomical and Physiological Features of *Solanum melongena* L. under Induced NaCl and Boron Stresses // ACS Omega. 2023. Vol. 8. N 31. pp 28207-28232.

9. Shao Q., Ren L., Ramzan M., Hussain M. Combined effect of gallic acid and zinc ferrite nanoparticles on wheat growth and yield under salinity stress // Scientific Reports. 2024. Vol. 14. pp. 12854-12859.

10. Colak N., Kurt-Celebi A., Fauzan R., Torun H. The protective effect of exogenous salicylic and gallic acids ameliorates the adverse effects of ionizing radiation stress in wheat seedlings by modulating the antioxidant defence system // Plant Physiology and Biochemistry. 2021. Vol. 168. N 6. pp. 526-545.

11. Rahman A., Ul Alam M., Hossain M.Sh., Mahmud J.A. Exogenous Gallic Acid Confers Salt Tolerance in Rice Seedlings: Modulation of Ion Homeostasis, Osmoregulation, Antioxidant Defense, and Methylglyoxal Detoxification Systems // Agronomy. 2023. Vol. 13. N 1. pp. 16-27.

12. Babaei M., Sahbani L., Hashemi-Shahraki Sh. Improving the effects of salt stress by β -carotene and gallic acid using increasing antioxidant activity and regulating ion uptake in *Lepidium sativum* L. // Botanical Studies. 2022. Vol. 63. pp. 22-27.

13. Ozfidan-Konakci C., Yildiztugay E., Kucukoduk M. Protective roles of exogenously applied gallic acid in *Oryza sativa* subjected to salt and osmotic stresses – effects on the total antioxidant capacity // Plant Growth Regulation. 2015. Vol. 75. pp. 219-234.

14. Zhang X., Ran W., Xiwang L., Meng Y. Exogenous Application of Gallic Acid Induces the Direct Defense of Tea Plant Against *Ectropis obliqua* Caterpillars // Front. Plant Sci. 2022. Vol. 13. pp. 267-274.

15. Punia A., Chauhan N.S., Singh D., Kesavan A.K. Effect of gallic acid on the larvae of *Spodoptera litura* and its parasitoid *Bracon hebetor* // Scientific Reports. 2021. Vol. 11. pp. 531-539.

16. Likhanov A., Khuvadenko 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. 52-63.

17. Karamac M., Kosinska A., Pegg R.B. Content of gallic acid in selected plant extracts // Pol. J. Food Nutr. Sci. 2006. Vol. 56. N 1. pp. 55-58.

18. Cabral R.O., Borges L., Oliveira M.G., Romano C.A. Development and Validation of Analytical Method by HPLC-PDA and Seasonality from Gallic Acid, Catechin, and Epicatechin in Leaf Extracts from *Campomanesia adamantium* // J. Braz. Chem. Soc. 2024. Vol. 35. N 3. pp. 147-162.

REFERENCES

1. Zilian X., Yang B., Jing F., Yuan Q., Fu H. Qallovaya kislota reguliruet udlinenie pervichnogo kornya, modiliruya transport auksina I peredachu signalov. [Gallic acid regulates primary root elongation via modulating auxin transport and signal transduction] // Front. Plant Sci. 2024. Vol. 15. pp. 132-139.

2. Negi S., Darokar M.P., Chattopadhyay S.K., Garg A. Sintez novogo stimulyatora rosta rastenii iz gallovoi kisloty. [Synthesis of a Novel Plant Growth Promoter from Gallic Acid] // Bioorganic and Medicinal Chemistry Letters. 2005. Vol. 15. N 4. pp. 1243-1247.

3. Alberto M., Farias M.E., Manca de Nadra M.C. Vliyanie gallovoi kisloty I katechina na rost *Lactobacillus hilgardii* 5w I metabolism organicheskikh soedinanii [Effect of Gallic Acid and Catechin on *Lactobacillus hilgardii* 5w Growth and Metabolism of Organic Compounds] // J. Agricult. Food Chem. 2001. Vol. 49. N 9. pp. 4359-4363.

4. Nurhayati N., Esyanti R.R., Lambangsari Kh. Analiz rosta rastenii I sodержaniya qallovoy kisloty v culture pobegov banana sorta Kavendish (*Musa acuminata*), vyrashennoi v barbotazhnom bioreaktore [Analysis of plant growth and gallic acid content in Cavendish banana (*Musa acuminata*) shoot culture grown in a bubble bioreactor] // Journal of Intergrated and Advanced Engineering. 2022. Vol. 2. N 1. pp. 33-44.

5. Reigosa M.J., Souto X.C., Conzakes L. Vliyanie fenolnykh soedinanii na prorastanie shesti vidov sornyakov [Effect of phenolic compounds on the germination of six weeds species] // Plant Growth Regulation. 1999. Vol. 28. pp. 83-88.

6. Zeid I.M., Lateef Gharib F.A., Mohamad S., Zakaria A. Stimuliruyushee deystvie askorbinovoi kisloty, qallovoy kisloty, seleno i nanoselena na prorastanie semyan, rost seyantsev i aktivnost nekotorykh hidroliticheskikh fermentov u seyantsev vigny (*Vigna unguiculata*). [Promotive Effect of Ascorbic Acid, Gallic Acid, Selenium and Nano-Selenium on Seed Germination, Seedling Growth and Some Hydrolytic Enzymes Activity of Cowpea (*Vigna unguiculata*) Seedling] // J. Plant Physiol. Pathol. 2019. Vol. 7. N 1. pp. 132-138.

7. Gharib F.A., Zeid I.M., Chazi S.M., Zakaria E.A. Fizologicheskoe vozdeystvie askorbinovoi I qallovoy kisloty na rost I metabolicheskuyu aktivnost rasteniy vigny (*Vigna unguiculata* L.) [Physiological Effects of Ascorbic and Gallic Acids on Growth and Metabolic Activities of Cowpea

(*Vigna unguiculata* L.) Plants] // J. Plant Physiol. Pathol. 2018. Vol. 6. N 4. pp. 192-201.

8. Shumaila I., Ullah S., Wadood Sh., Aqsa H. Primenenie biouglya I predposevnoi obrabotki semyan qallovoi kislotoi – podkhod k uluchsheniyu morfoanatomicheskikh I fiziologicheskikh kharakteristik *Solanum melongena* L. v usloviyakh indutsirovannogo stressa, vysvannogo NaCl i borom [Biochar and Seed Priming Technique with Gallic Acid: An Approach toward Improving Morpho-Anatomical and Physiological Features of *Solanum melongena* L. under Induced NaCl and Boron Stresses] // ACS Omega. 2023. Vol. 8. N 31. pp 28207-28232.

9. Shao Q., Ren L., Ramzan M., Hussain M. Sovmestnoe vozdeistvie qallovoi kisloty I nanochastic ferrite tsinka na rost I urozhainost pshenitsy v usloviyakh zasoleniya pochvy. [Combined effect of gallic acid and zinc ferrite nanoparticles on wheat growth and yield under salinity stress] // Scientific Reports. 2024. Vol. 14. pp. 12854-12859.

10. Colak N., Kurt-Celebi A., Fauzan R., Torun H. Zashitnoe deistvie ekzogennykh salitsilovoi kisloty I qallovoy kisloty smygachaet neblagopriyatnye posledstviya stressa, vyzvannogo ioniziruyushim izlucheniem u vskhodov pshenitsy za chet modulyatsii antioksidantnoi zashitnoi systemy [The protective effect of exogenous salicylic and gallic acids ameliorates the adverse effects of ionizing radiation stress in wheat seedlings by modulating the antioxidant defence system] // Plant Physiology and Biochemistry. 2021. Vol. 168. N 6. pp. 526-545.

11. Rahman A., Ul Alam M., Hossain M.Sh., Mahmud J.A. Ekzogennaya qallovaya kislota povyshayet soleustoichivost rassady risa – modultatsiya ionnogo gomeostaza, osmoregulatsii, antioksidantnoi zashity I system detoksikatsii metilglioksalya. [Exogenous Gallic Acid Confers Salt Tolerance in Rice Seedlings: Modulation of Ion Homeostasis, Osmoregulation, Antioxidant Defense, and Methylglyoxal Detoxification Systems] // Agronomy. 2023. Vol. 13. N 1. pp. 16-27.

12. Babaei M., Sahbani L., Hashemi-Shahraki Sh. Uluchshenie vozseistviya solevogo stressa s pomoshyu β -karotina I qallovoi kisloty putem povysheniya antioksidantnoi aktivnosti I regulirovaniya poglosheniya ionov u *Lepidium sativum* L. [Improving the effects of salt stress by β -carotene and gallic acid using increasing antioxidant activity and regulating ion uptake in *Lepidium sativum* L]. // Botanical Studies. 2022. Vol. 63. pp. 22-27.

13. Ozfidan-Konakci C., Yildiztugay E., Kucukoduk M. Zashitnaya rol ekzogenno primenyaemoi qallovoi kisloty v rasteniyakh *Oryza sativa*, podverzhennykh solevomu I osmoticheskomu stress – vliyanie na obshuyu antioksidantnuyu aktivnost. [Protective roles of exogenously applied gallic acid in *Oryza sativa* subjected to salt and osmotic stresses – effects on the

total antioxidant capacity] // Plant Growth Regulation. 2015. Vol. 75. pp. 219-234.

14. Zhang X., Ran W., Xiwang L., Meng Y. Ekzogennoe primeneniye qallovoi kisloty vyzyvaet pramuyu zashitu chaynogo rasteniya ot gusenits *Ectropis obliqua*. [Exogenous Application of Gallic Acid Induces the Direct Defense of Tea Plant Against *Ectropis obliqua* Caterpillars] // Front. Plant Sci. 2022. Vol. 13. pp. 267-274.

15. Punia A., Chauhan N.S., Singh D., Kesavan A.K. Vliyanie qallovoi kisloty na lichinok *Spodoptera litura* I eye parazitoida *Bracon hebetor* [Effect of gallic acid on the larvae of *Spodoptera litura* and its parasitoid *Bracon hebetor*] // Scientific Reports. 2021. Vol. 11. pp. 531-539.

16. Likhanov A., Khuvadenko A., Subin O., Shevchuk M. Qallovaya kislota kak nespetsificheskyy regul'yator sinteza phenola I rosta regenerirovannykh rastenii *Corylus avellana* (L.) H. Karst. i *Salix alba* L. in vitro [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. 52-63.

17. Karamac M., Kosinska A., Pegg R.B. Soderzhanie qalllovoi kisloty v otdelnykh rastitelnykh ekstraktakh [Content of gallic acid in selected plant extracts] // Pol. J. Food Nutr. Sci. 2006. Vol. 56. N 1. pp. 55-58.

18. Cabral R.O., Borges L., Oliveira M.G., Romano C.A. Razrabotka i validatsiya analiticheskogo metoda s ispolzovaniem VEZH-PDA I sezonnogo analiza qallovoi kisloty, katekhina I epikatekhina v ekstraktakh listyev *Campomanesia adamantium*. [Development and Validation of Analytical Method by HPLC-PDA and Seasonality from Gallic Acid, Catechin, and Epicatechin in Leaf Extracts from *Campomanesia adamantium*] // J. Braz. Chem. Soc. 2024. Vol. 35. N 3. pp. 147-162.

Информация об авторе

К.Ш. Алиева – младший научный сотрудник лаборатории «Химия и технология циклоалкилфенолов» ИНХП МНО Азербайджана.

Information about the author

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

Статья поступила в редакцию 05.02.2026; принята к публикации 09.03.2026.

The article was submitted 05.02.2025; accepted for publication 09.03.2026.

ХИМИЧЕСКИЕ НАУКИ

Научная статья

УДК 547.541.3

DOI 10.21510/3034-266X-2026-1-58-69

ФИТОСТИМУЛЯТОРЫ НА ОСНОВЕ ПРОИЗВОДНЫХ КУМАРОВЫХ КИСЛОТ

Фатима Иса гызы Гасымова

*Институт нефтехимических процессов Министерства Науки и
Образования Азербайджана, Баку, Азербайджан
fatimahuseynova89@gmail.com*

Аннотация. Кумаровые кислоты относятся к подклассу гидроксикоричных кислот. Они широко распространены в растениях. Они представляют собой фенольные кислоты, содержащие в своем составе ароматическое ядро и боковую цепь. Эти кислоты играют важную роль в биосинтезе целого ряда других соединений в растительных организмах. Наиболее распространенной формой является *пара*-кумаровая кислота. Цель данной статьи заключалась в исследовании результатов работ в области применения кумаровых кислот в качестве фитостимуляторов растительных организмов. Было установлено, что кумаровые кислоты обладают аллелопатическим действием (подавление роста, изменение микробиомасс); они принимают участие в процессе стимуляции роста и защите от стрессов (засоление, засуха); *п*-кумаровые кислоты играют весьма важную роль в процессе биосинтеза лигнина и развитии растений; кроме того, эти кислоты имеют биотехнологическое применение (микроводоросли, микробный синтез, биодизель). По своему агрегатному состоянию пара-кумаровая кислота представляет собой белое твердое вещество, которое лишь незначительно растворимо в воде, но очень хорошо растворимо в этаноле и диэтиловом эфире. Она является предшественником многих природных продуктов, особенно лигнолов, предшественников древесной массы, из которой состоят многие растения. Среди множества растений *п*-кумаровая кислота встречается в *Gnetum cleistostachyum*. В пищевых продуктах *п*-кумаровая кислота содержится в самых разных съедобных растениях и грибах, таких как арахис, фасоль, помидоры, морковь, базилик и чеснок. Она содержится в вине и уксусе, а также содержится в ячменном зерне. В работе осуществлена систематизация результатов проведенных исследований

в области применения кумаровых кислот в качестве фиторегуляторов роста растений.

Ключевые слова: кумаровые кислоты, стимуляторы роста растений, фитогормоны, регуляторы роста растений, фенольные соединения, абиотические стрессы

Для цитирования: Гасымова Ф.И. Фитостимуляторы на основе производных кумаровых кислот // Вестник Башкирского государственного педагогического университета им. М.Акмуллы. Серия: Естественные науки. 2026. № 1. С. 58-69.

CHEMICAL SCIENCES

Original article

FITOSTIMULATORS BASED ON DERIVATIVES OF COUMARIC ACIDS

Fatima Isa Qasymova

*Institute of Petrochemical Processes of the Ministry of Science and
Education of Azerbaijan, Baku, Azerbaijan*

fatimahuseynova89@gmail.com

Abstract. Coumaric acids belong to the subclass of hydroxycinnamic acids. They are widely distributed in plants. They are phenolic acids containing an aromatic nucleus and a side chain. These acids play an important role in the biosynthesis of a number of other compounds in plants. The most common form is p-coumaric acid. The aim of this article was to investigate the results of studies on the use of coumaric acids as phytostimulants in plants. It was found that coumaric acids have an allelopathic effect (growth suppression, changes in microbiomass); they participate in the process of growth stimulation and protection from stress (salinity, drought); p-coumaric acids play a very important role in the process of lignin biosynthesis and plant development; in addition, these acids have biotechnological applications (microalgae, microbial synthesis, biodiesel). In its physical state, p-coumaric acid is a white solid that is only slightly soluble in water but very soluble in ethanol and diethyl ether. It is a precursor to many natural products, especially lignols, the precursors of wood pulp, which is the constituent of many plants. Among many plants, p-coumaric acid is found in *Gnetum cleistostachyum*. In food, p-coumaric acid is found in a wide variety of edible plants and mushrooms, such as peanuts, beans, tomatoes, carrots, basil, and garlic. It is also found in wine and vinegar, and is also found in barley grain. This paper systematizes the results of research on the use of coumaric acids as plant growth phyto regulators.

Keywords: coumaric acids, plant growth stimulants, phytohormones, plant growth regulators, phenolic compounds, abiotic stress

For citing: Qasymova F.I. Fitostimulators based on derivatives of coumaric acids // Bulletin of Bashkir State Pedagogical University named after M. Akmully. Series: Natural Sciences. 2026. № 1. pp. 58-69.

Введение. Кумаровые кислоты относятся к подклассу гидроксикоричных кислот. Они широко распространены в растениях и по своей химической структуре представляют собой фенольные кислоты, содержащие в своем составе ароматическое ядро и боковую цепь. Эти кислоты играют важную роль в биосинтезе целого ряда других соединений в растительных организмах. Наиболее распространенной формой является *пара*-кумаровая кислота. Цель данной статьи заключалась в исследовании результатов работ в области применения кумаровых кислот в качестве фитостимуляторов растительных организмов.

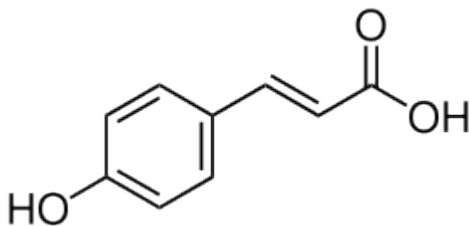


Рис. 1 Химическое строение *п*-кумаровой кислоты

Методология. Представленная работа включает результаты исследований, осуществленных в течение 2000-2025 гг в области применения ванилиновой кислоты и ее функционально-замещенных производных в качестве регуляторов роста растений с использованием широкой базы данных рецензируемых статей (Scopus, Web of Science, PubMed, eLibrary). На основании полученных результатов исследований осуществлена их систематизация по тематическим блокам

Результаты исследований. Исследования по определению фиторегуляторных свойств ванилиновой кислоты можно классифицировать по следующим основным направлениям:

1) **Аллелопатическое действие кумаровых кислот (подавление роста, изменение микробиома)**

Считается, что фенольные кислоты играют важную роль в создании препятствий для непрерывного возделывания табака, но сила и потенциальные механизмы действия различных фенольных кислот остаются неясными [1, 2]. В данном исследовании оценивались аллелопатические эффекты шести фенольных кислот, которые

проявили кумулятивный эффект в предыдущем исследовании. Фенольные кислоты с наиболее сильным аллелопатическим эффектом в различных концентрациях добавлялись в почву для изучения их влияния на рост и физиологические характеристики табака, а также на химические свойства почвы и структуру микробного сообщества. Результаты показали, что кумаровая кислота оказывает наиболее сильное прямое аллелопатическое действие. Экзогенная кумаровая кислота значительно снизила pH почвы и изменила состав микробного сообщества почвы с преобладания бактерий на преобладание грибов. Одновременно с этим постепенно снижалось обилие бактерий, связанных с усвоением питательных веществ (например, *Flavisolibacter*, *Methylobacterium*), и грибов, связанных с устойчивостью к болезням (например, *Fusicolla*, *Clonostachys*), а также снижалась активность почвенной каталазы, уреазы, инвертазы и кислой фосфатазы. Уровень МДА в листьях непрерывно увеличивался при повышении концентрации кумаровой кислоты, в то время как уровень гормона устойчивости корней (жасмоновой кислоты и комплекса жасмонат-изолейцин) демонстрировал противоположную тенденцию. Кумаровая кислота может подавлять рост табака, напрямую влияя на физиологические процессы в растениях табака и косвенно на более широкий микроэкологический баланс почвы.

Хлорсульфурон и имазетапир (гербициды, ингибирующие ацетолактатсинтазу; ALS, EC 4.1.3.18) вызывали значительное накопление гидроксикоричных кислот, что было связано с индукцией первого фермента шикиматного пути, 3-дезоксид-арабино-гептулозонат-7-фосфатсинтазы (EC 2.5.2.54) [3]. Экзогенное внесение двух гидроксикоричных кислот, феруловой и *n*-кумаровой, на растения гороха привело к их внутреннему накоплению, остановке роста, накоплению углеводов и хината в листьях и индукции этанольного брожения. Эти эффекты напоминают некоторые физиологические эффекты, наблюдаемые после ингибирования ацетолактатсинтазы, и указывают на важную роль феруловой и *n*-кумаровой кислот в механизме действия гербицидов, ингибирующих биосинтез аминокислот с разветвленной цепью.

2) Стимуляция роста и защита от стрессов (засоление, засуха)

Установлено, что ванилин и *n*-кумаровая кислота, используемые в концентрациях 10^{-8} - 10^{-5} М, стимулировали рост семян сосны [4]. Наиболее эффективными эти вещества были при использовании в концентрации 10^{-7} М. Оба фенольных соединения стимулировали удлинение, сырую и сухую массу у очень молодых семян (до 3-4 недель) и увеличивали сырую и сухую массу только у более взрослых (7 недель). Стимуляция ростовых процессов у семян сосны,

обработанных ванилином и *n*-кумаровой кислотой, совпадала с увеличением содержания ауксинов в корнях и снижением содержания свободных гиббереллинов в этих органах растения. Ни ванилин, ни *n*-кумаровая кислота не влияли на уровень АБК-подобного ингибитора как в побегах, так и в корнях сеянцев сосны.

p-Кумаровая кислота (*p*-СА) относится к семейству природных эфиров соединений гидроксиборичной кислоты, которые, как было показано, модулируют рост и метаболизм растений [5]. В этом исследовании авторы исследовали влияние экзогенной *p*-СА на рост растений, окислительное повреждение, вызванное активными формами кислорода (АФК), фотосинтетический метаболизм, содержание осмолитов и изменения ферментативной активности супероксиддисмутазы (СОД). Экзогенная *p*-СА улучшила рост *Salvia hispanica* (chia) за счет значительного увеличения длины побегов, сырой и сухой массы в сочетании с повышенным уровнем общего содержания хлорофилла и каротиноидов. Кроме того, *p*-СА также вызвала индукцию уровней пролина, глицинбетаина (ГБ) и супероксида (O_2^-), тогда как изменений содержания перекиси водорода (H_2O_2) и последующего малонового диальдегида (МДА) не наблюдалось. Также не наблюдалось изменений активности СОД при обработке *p*-СА по сравнению с контролем. Таким образом, результаты показывают, что экзогенный *p*-СА улучшает рост проростков chia, возможно, за счет активации сигнального пути ROS с участием O_2^- под контролем накопления пролина.

Автотоксичность корневых выделений огурца или разлагающихся остатков может быть причиной почвенной болезни огурца. Однако механизм воздействия автотоксинов на микробные сообщества почвы пока до конца не изучен [6]. Целью данного исследования было изучение влияния искусственно внесенного аутоксина огурца, *n*-кумаровой кислоты, на рост рассады огурца, микробные сообщества ризосферы почвы и рост *Fusarium oxysporum f.sp. cucumerinum* Owen (почвенного патогена огурца). Численность, структура и состав бактериальных и грибных сообществ ризосферы анализировались с помощью ПЦР в реальном времени, ПЦР-денатурирующего градиентного гель-электрофореза (DGGE) и методов клонирования. Активность почвенной дегидрогеназы и микробная биомасса С (МБС) определялись для оценки активности и размера почвенной микрофлоры. Результаты показали, что *n*-кумаровая кислота (0,1–1,0 мкмоль/г почвы) уменьшала площадь листьев огурца и увеличивала активность почвенной дегидрогеназы, МБК и численность ризосферных бактериальных и грибковых сообществ. *П*-кумаровая кислота также изменяла структуру и состав ризосферных бактериальных и грибковых сообществ, увеличивая относительную

численность бактериальных таксонов *Firmicutes*, *Betaproteobacteria*, *Gammaproteobacteria* и грибковых таксонов *Sordariomycete*, *Zygomycota*, а также снижая относительную численность бактериальных таксонов *Bacteroidetes*, *Deltaproteobacteria*, *Planctomycetes*, *Verrucomicrobia* и грибковых таксонов *Pezizomycete*. Кроме того, *n*-кумаровая кислота увеличивала плотность популяции *Fusarium oxysporum* в почве. Эти результаты указывают на то, что *n*-кумаровая кислота может играть роль в аутоксичности огурца, влияя на микробные сообщества почвы.

Засоление является важным фактором абиотического стресса, ограничивающим рост. Салициловая кислота (С.К.), бензойная кислота (Б.К.) и *n*-кумаровая кислота (*n*-КА) — это вещества, которые, как принято считать, играют решающую роль в повышении солеустойчивости и регуляции роста и развития растений [7]. Данное исследование было проведено для изучения влияния салициловой кислоты (СК), бензойной кислоты (БК) и *n*-кумаровой кислоты (*n*-КА) на рост, содержание хлорофилла, пролина и витамина С в растении табака (*Nicotiana tabacum*), подверженном засолению, выращенном *in vitro*. Результаты показали, что стресс засоления (NaCl) ухудшает рост растений и вызывает серьезные физиологические нарушения. В то время как добавление СК, БК и *n*-КА привело к значительному увеличению всех исследованных биохимических компонентов. По сравнению с контролем, высокая концентрация NaCl (150 мМ) значительно снизила общий свежий вес табака. Общее содержание хлорофилла значительно увеличилось при обработке СА и БА в условиях 100 мМ NaCl. Самое высокое содержание пролина в листьях и стеблях было зарегистрировано при обработке СА с добавлением 150 мМ NaCl, в то время как самое низкое значение наблюдалось при обработке *n*-КА + 0 мМ NaCl. Содержание витамина С значительно увеличилось при обработке СА и БА при концентрациях NaCl 100 мМ и 150 мМ. СА и БА восстановили повреждения, вызванные высокими концентрациями засоления, и повысили солеустойчивость у табака. Применение *n*-КА не показало существенных различий по сравнению с контролем. Это исследование предполагает, что СА и ее производные могут быть использованы для преодоления повреждений, вызванных солевым стрессом, повышения солеустойчивости и регулирования роста и развития растений.

3) Роль в биосинтезе лигнина и развитии растений

p-Кумаровая кислота (*p*-КК) — это фенольное соединение, играющее ключевую роль в опосредовании множества сигнальных путей. Она служит защитной стратегией от повреждающего воздействия на растения, а также, как предполагается, играет роль в развитии растений и биосинтезе лигнина [8]. Целью данного

исследования было изучение физиологического и ионного действия *p*-КК на проростки чиа в условиях солевого стресса. Для этого проростки чиа обрабатывались растворами Nitrosol®, содержащими 100 мкМ *p*-КК, 100 мМ NaCl и их комбинированными растворами (100 мМ NaCl + 100 мкМ *p*-КК) с интервалом в 2 дня в течение 14 дней, а также контрольным раствором, содержащим только Nitrosol®. Обработка проростков чиа 100 мМ NaCl снизила их ростовые параметры и содержание большинства необходимых макроэлементов (К, Р, Са и Mg), за исключением натрия (Na). Одновременное применение *p*-КК и обработки солевым стрессом (*p*-КК + NaCl) смягчило воздействие солевого стресса на побеги проростков чиа, о чем свидетельствовало увеличение биомассы чиа. Кроме того, эта комбинированная обработка значительно повысила уровни незаменимых микроэлементов Mg и Са. Подводя итог, можно сказать, что этот краткий отчет основан на основополагающей работе нашего предыдущего исследования, которое продемонстрировало, что *p*-КК стимулирует рост проростков чиа посредством активации O₂-. В этом кратком отчете мы дополнительно показываем, что *p*-КК не только стимулирует рост, но и смягчает воздействие солевого стресса на проростки чиа. Этот смягчающий эффект может быть обусловлен присутствием Mg и Са, которые являются жизненно важными питательными веществами, участвующими в регуляции метаболических путей, активности ферментов и синтеза аминокислот.

Гипергидратация (ГГ) возникает, когда растения сталкиваются с накоплением воды и уменьшением количества воздуха в апопласте листьев. Одной из характеристик гипергидратированных растений является снижение лигнификации клеточной стенки (гиполигнификация), но как это связано с аномалиями, пока неясно. Лигнин гидрофобен, и на основании этого можно предположить, что снижение уровня лигнина приводит к усилению капиллярности клеточной стенки и, следовательно, к увеличению количества воды в межклетниках. *n*-кумаровая кислота является гидроксипроизводным коричной кислоты и предшественником лигнина и флавоноидов у высших растений [9,10]. В настоящей работе было оценено относительное количество воды и воздуха в апопласте к общему объему апопласта листьев *Arabidopsis thaliana* дикого типа (Col-0). Экзогенно внесенная *n*-кумаровая кислота может быть направлена в фенилпропаноидный путь посредством действия фермента 4-гидроксициннамоил-КоА лигазы (4CL), что в конечном итоге приводит к увеличению общего содержания лигнина. Экзогенно внесенная *n*-кумаровая кислота привела к увеличению количества воздуха в апопласте и снижению содержания воды в апопласте у проростков, выращенных на среде, затвердевшей с помощью гелярита. Симптомы

ГГ также значительно ослабли. Эти результаты подтверждают нашу гипотезу о том, что лигнин играет роль в развитии ГГ и что увеличение продукции лигнина за счет экзогенного внесения *n*-кумаровой кислоты может привести к снижению содержания воды в апопласте и, таким образом, к снижению частоты возникновения ГГ.

4) Биотехнологическое применение (микроводоросли, микробный синтез, биодизель)

В исследовании [11] изучалось образование биомассы и липидов перспективной для производства биодизеля зеленой микроводоросли *Tetrademus obliquus BPL16* с использованием *n*-кумаровой кислоты в качестве нового регулятора роста, встречающегося преимущественно в богатых фенолами водотоках. Она использовалась в чистом виде вместе с двумя фитогормонами (жасмоновой кислотой и салициловой кислотой). Использование 100 мкМ жасмоновой кислоты, 10 мкМ салициловой кислоты и 1 мМ *n*-кумаровой кислоты увеличило образование биомассы на 85,4%, 54,9% и 34,1% соответственно по сравнению с контрольным вариантом. Кроме того, при указанных концентрациях было получено значительное увеличение содержания липидов на 22%, 105,6% и 145,4% соответственно по сравнению с контрольным вариантом. Содержание нейтральных липидов значительно улучшилось в условиях добавления элиситора. Более того, профиль метиловых эфиров жирных кислот (МЭЖК) также существенно изменился благодаря резкому увеличению доли олеиновой кислоты (C18:1) на 81,7% и 73,6% по сравнению с контрольным образцом при концентрации жасмоновой кислоты 10 мкМ и *n*-кумаровой кислоты 1 мМ соответственно. Применение *n*-кумаровой кислоты привело к расчетному выходу энергии при производстве биодизеля в размере 10,8 МДж/кг, что на 141% и 9,4% выше, чем в контрольном образце и при использовании жасмоновой кислоты соответственно. В заключение, настоящее исследование предлагает *n*-кумаровую кислоту в качестве нового регулятора роста для мгновенной синхронизации роста и накопления липидов в микроводорослях для повышения производства биодизеля.

Соединения, участвующие в метаболическом пути амидов гидроксикоричной кислоты (ГХАК), представляют собой важный класс метаболитов растений. Многочисленные исследования показали, что различные растительные гидроксикиннаматы, такие как *n*-кумароилагматин и феруловая кислота, играют ключевую роль во взаимодействии растений с патогенами [12]. Цель данного обзора — обсудить новые данные о функциях накопления амидов гидроксикоричной кислоты (ГХАК), связанных с защитой растений от патологий, антимикробной активности ГХАК и механизмах участия

ГХАК в иммунных реакциях растений (таких как активные формы кислорода (АФК), реакция клеточной стенки, защитные гормоны растений и устьичный иммунитет). Однако эти достижения также выявили сложность участия ГХАК в защитных реакциях растений, и многие тайны ещё предстоит раскрыть. В данном обзоре представлен обзор механистических и концептуальных представлений, полученных к настоящему времени, и обозначены направления для дальнейшего изучения фитохимических защитных метаболитов.

Заключение. Таким образом, представленный анализ результатов исследований в области применения *n*-кумаровых кислот в качестве фиторегулятора роста растений позволяет сделать однозначный вывод о наличии рост регулирующих свойств этих соединений. На основании представленных результатов можно заключить, что

- 1) кумаровые кислоты обладают аллелопатическим действием (подавление роста, изменение микробиомасс);
- 2) они принимают участие в процессе стимуляции роста и защите от стрессов (засоление, засуха);
- 3) *n*-кумаровые кислоты играют весьма важную роль в процессе биосинтеза лигнина и развитии растений;
- 4) кроме того, эти кислоты имеют биотехнологическое применение (микроводоросли, микробный синтез, биодизель).

Полученные результаты создают широкие перспективы для проведения дальнейших систематических исследований в области применения кумаровых кислот в качестве фитогормонов.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Meng J., Wang X., Xuanquan Zh., Du Y. Accumulation of coumaric acid is a key factor in tobacco continuous cropping obstacles // Front. Plant Sci. 2024. Vol. 15. pp. 312-318.
2. Chattha F.A., Nica M., Munawer M., Kousar S. Coumarin-Based Heteroaromatics as Plant Growth Regulators // Chapter in book Plant Growth. 2016. 213 p.
3. Orcaray L., Igal M., Zabalza A., Royuela M. Role of Exogenously Supplied Ferulic and *p*-Coumaric Acids in Mimicking the Mode of Action of Acetolactate Synthase Inhibiting Herbicides // J. Agricult. Food Chem. 2011. Vol. 59. N 18. pp. 10162-10168.
4. Michniewicz M., Galoch E. The role of vanillin and *p*-coumaric acid in the growth of Scotch pine seedlings // Acta Societatis Botanicorum Poloniae. 2015. Vol. 43. N 2. pp. 273-281.
5. Nkomo M., Gokul A., Keyster M., Klein A. Exogenous *p*-Coumaric Acid Improves *Salvia hispanica* L. Seedling Shoot Growth // Plants (Basel). 2019. Vol. 8. N 12. pp. 546-556.

6. Zhou X., Fengzhi W. *p-Coumaric* Acid Influenced Cucumber Rhizosphere Soil Microbial Communities and the Growth of *Fusarium oxysporum* f.sp. *cucumerinum* Owen // PLOS One. 2012. Vol. 7. N 10. pp. 48288-48294.

7. Khairy A.I., Kwang S.R. Effect of Salicylic Acid, Benzoic Acid, and *p*-Coumaric Acid on Growth, Chlorophyll, Proline, and Vitamin C of Salinity-Stressed Tobacco (*Nicotiana tabacum*) // International Journal of Plant and Soil Science. 2016. Vol. 9. N 4. pp. 1-10.

8. Nkomo M., Badiwe M., Niekerk L-A., Gokul A. *p*-Coumaric Acid Differential Alters the Ion-Omics Profile of Chia Shoots under Salt Stress // Plants. 2024. Vol. 13. N 11. pp. 1564-1571.

9. Ferreira P.S., Victorelli F.D., Fonseca-Santos B., Chorilli M. A Review of Analytical Methods for *p*-Coumaric Acid in Plant-Based Products, Beverages, and Biological Matrices // Critical Reviews in Analytical Chemistry. 2018. Vol. 49. N 4. pp. 1-11.

10. Kemat N., Visser R., Krens F. *p*-Coumaric acid increases lignin content and reduces hyperhydricity in in vitro-grown Arabidopsis seedlings // Acta Horticulturae. 2020. Vol. 1285. N 15. pp. 95-103.

11. Esakkimuthu S.K., Krishnamurthy V., Wang Sh., Xun H. Application of *p*-coumaric acid for extraordinary lipid production in *Tetrademus obliquus*: A sustainable approach towards enhanced biodiesel production // Renewable Energy. 2020. Vol. 157. pp. 368-376.

12. Saifei L., Jiang J., Zihui M., Xiao M. The Role of Hydroxycinnamic Acid Amide Pathway in Plant Immunity // Front. Plant Sci. 2022. Vol. 13. pp. 104-119.

REFERENCES

1. Meng J., Wang X., Xuanquan Zh., Du Y. Nakoplenie kumarovoi kisloty yavlyaetsya kluchevym faktorom, sozdayushim prepyatstviya dlya neprer; vnogo vyrashibaniya tabaka. [Accumulation of coumaric acid is a key factor in tobacco continuous cropping obstacles] // Front. Plant Sci. 2024. Vol. 15. pp. 312-318.

2. Chattha F.A., Nica M., Munawer M., Kousar S. Heteroaromaticeskies soedineniya na osnove kumarina kak regulatory rosta rastenii [Coumarin-Based Heteroaromatics as Plant Growth Regulators] // Chapter in book Plant Growth. 2016. 213 p.

3. Orcaay L., Igal M., Zabalza A., Royuela M. Rol ekzogenno vvodimyykh ferulovoi I *p*-kumarinovoi kislot v imitatsii mekhanizma deistviya herbitsidov, inhibiruyushikh atsetolaktatsintazu [Role of Exogenously Supplied Ferulic and *p*-Coumaric Acids in Mimicking the Mode of Action of Acetolactate Synthase Inhibiting Herbicides] // J. Agricult. Food Chem. 2011. Vol. 59. N 18. pp. 10162-10168.

4. Michniewicz M., Galoch E Rol vanilina I p-kumarovoi kisloty v roste [The role of vanillin and p-coumaric acid in the growth] // Acta Societatis Botanicorum Poloniae. 2015. Vol. 43. N 2. pp. 273-281.

5. Nkomo M., Gokul A., Keyster M., Klein A. Ekzogennno vvodimye p-kumarovaya kislota uluchshaet rost pobegov seyantsev *Salvia hispanica* L. [Exogenous p-Coumaric Acid Improves *Salvia hispanica* L. Seedling Shoot Growth] // Plants (Basel). 2019. Vol. 8. N 12. pp. 546-556.

6. Zhou X., Fengzhi W. Vliyanie p-kumarovoi kisloty na mikrobnnye soobshchestva rizosfernoy pochvy ogurtsa I rost *Fusarium oxysporum* f.sp. *cucumerinum* Owen [p-Coumaric Acid Influenced Cucumber Rhizosphere Soil Microbial Communities and the Growth of *Fusarium oxysporum* f.sp. *cucumerinum* Owen] // PLOS One. 2012. Vol. 7. N 10. pp. 48288-48294.

7. Khairy A.I., Kwang S.R. Vliyanie salitsilovoi kisloty, benzoinoi kisloty I p-kumarovoi kisloty na rost, sodержanie chlorofilla, prolina I vitamina C u tabaka (*Nicotiana tabacum*), podvershennomu zasoleniyu. [Effect of Salicylic Acid, Benzoic Acid, and p-Coumaric Acid on Growth, Chlorophyll, Proline, and Vitamin C of Salinity-Stressed Tobacco (*Nicotiana tabacum*)] // International Journal of Plant and Soil Science. 2016. Vol. 9. N 4. pp. 1-10.

8. Nkomo M., Badiwe M., Niekerk L-A., Gokul A. Razlichiya v sodержanii p-kumarovoi kisloty izmenyayut ion-omicheskii profil pobegov chia v usloviyakh stressa [p-Coumaric Acid Differential Alters the Ion-Omics Profile of Chia Shoots under Salt Stress] // Plants. 2024. Vol. 13. N 11. pp. 1564-1571.

9. Ferreira P.S., Victorelli F.D., Fonseca-Santos B., Chorilli M. Obzor analiticheskikh metodov opredeleniya p-kumarovoi kisloty v produltakh rastitelnogo proiskhozhdeniya, napitkakh I biologicheskikh matritsakh [A Review of Analytical Methods for p-Coumaric Acid in Plant-Based Products, Beverages, and Biological Matrices] // Critical Reviews in Analytical Chemistry. 2018. Vol. 49. N 4. pp. 1-11.

10. Kemat N., Visser R., Krens F. p-Kumarovaya kislota uvelichivaet sodержanie lignina I snizhaet gipergidratsiyu v prorostkakh arabidopsisa, vyrashennykh *in vitro*. [p-Coumaric acid increases lignin content and reduces hyperhydricity in *in vitro*-grown Arabidopsis seedlings] // Acta Horticulturae. 2020. Vol. 1285. N 15. pp. 95-103.

11. Esakkimuthu S.K., Krishnamurthy V., Wang Sh., Xun H. Primenenie p-kumarovoi kisloty dlya polucheniya neobychaino bolshogo kolichestva lipidov u *Tetrademus obliquus*: ustoichivyi podkhod k povysheniyu proizvodstva biodizelya. [Application of p-coumaric acid for extraordinary lipid production in *Tetrademus obliquus*: A sustainable approach towards enhanced biodiesel production] // Renewable Energy. 2020. Vol. 157. pp. 368-376.

12. Saifei L., Jiang J., Zihui M., Xiao M. Rol puti obrazovaniya amida hidroksikorichnoi kisloty v immunitete rasteniy [The Role of Hydroxycinnamic Acid Amide Pathway in Plant Immunity] // Front. Plant Sci. 2022. Vol. 13. pp. 104-119.

Информация об авторе

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

Information about the author

F.I. Qasymova – doctoral student of laboratory "Chemistry and technology of cycloalkylphenols" IPCP MES of Azerbaijan.

Статья поступила в редакцию 20.02.2026; принята к публикации 19.03.2026.

The article was submitted 20.02.2025; accepted for publication 19.03.2026.

ХИМИЧЕСКИЕ НАУКИ

Научная статья

УДК 547.541.3

DOI 10.21510/3034-266X-2026-1-70-84

ВАНИЛИНОВАЯ КИСЛОТА И ЕЕ ПРОИЗВОДНЫЕ ДЛЯ ПРИМЕНЕНИЯ В АГРОХИМИИ

Гюнай Заман гызы Гейдарли

*Институт нефтехимических процессов Министерства науки и
образования Азербайджана, Баку, Азербайджан
heyderligunayb@gmail.com*

Аннотация. Ванилиновая кислота представляет собой монометиловый эфир протокатехиновой кислоты. Она представляет собой порошкообразное или мелко-кристаллическое вещество, цвет которого варьирует от белого до светло-желтого. Ванилиновая кислота, также как и ванилин иногда используется в пищевой промышленности. Это встречающаяся в природе фенольная кислота, содержащаяся в съедобных растениях (рис, ваниль), ферментированных продуктах и являющаяся ключевым метаболитом зеленого чая. Используется в качестве ароматизатора пищевых продуктов и фармацевтического промежуточного продукта, обладает сильными антиоксидантными, противовоспалительными, противомикробными и потенциальными противораковыми свойствами. Известна своей ролью в снижении окислительного стресса и метаболических расстройств. Она защищает от окислительного повреждения, снижая количество активных форм кислорода и усиливая активность антиоксидантных ферментов. Исследования показывают, что она уменьшает воспаление, демонстрируя потенциал в лечении различных заболеваний. Однако в последние года ванилиновая кислота стали часто использовать в качестве фиторегуляторов. В представленной работе нами рассмотрены результаты исследований в области применения ванилиновой кислоты в агрохимической практике.

Ключевые слова: ванилиновая кислота, биологические функции, фитогормоны, регуляторы роста растений, естественные фитостимуляторы, фенольные соединения, фитогормоны

Для цитирования: Гейдарли Г.З. Ванилиновая кислота и ее производные для применения в агрохимии // Вестник Башкирского

государственного педагогического университета им. М.Акмуллы.
Серия: Естественные науки. 2026. № 1. С. 70-84.

CHEMICAL SCIENCES

Original article

VANILLIC ACID AND ITS DERIVATIVES FOR USE IN AGROCHEMISTRY

Gunay Zaman Heydarli

*Institute of Petrochemical Processes of the Ministry of Science and
Education of Azerbaijan, Baku, Azerbaijan
heyderligunay6@gmail.com*

Abstract. Vanillic acid is the monomethyl ester of protocatechuic acid. It is a powdery or finely crystalline substance, ranging in color from white to light yellow. Vanillic acid, like vanillin, is sometimes used in the food industry. It is a naturally occurring phenolic acid found in edible plants (rice, vanilla), fermented foods, and is a key metabolite of green tea. Used as a food flavoring and pharmaceutical intermediate, vanillic acid possesses potent antioxidant, anti-inflammatory, antimicrobial, and potential anticancer properties. It is known for its role in reducing oxidative stress and metabolic disorders. It protects against oxidative damage by reducing reactive oxygen species and enhancing the activity of antioxidant enzymes. Research shows that it reduces inflammation, demonstrating potential in the treatment of various diseases. However, in recent years, vanillic acid has become increasingly used as a phyto regulator. In the presented work, we reviewed the results of research in the field of application of vanillic acid in agrochemical practice.

Keywords: vanillic acid, biological functions, phytohormones, plant growth regulators

For citing: Heydarli G.Z. Vanillic acid and its derivatives for use in agrochemistry // Bulletin of Bashkir State Pedagogical University named after M. Akmully. Series: Natural Sciences. 2026. № 1. pp. 70-84.

Введение. Ванилиновая кислота представляет собой монометиловый эфир протокатехиновой кислоты. Она представляет собой порошкообразное или мелко-кристаллическое вещество, цвет которого варьирует от белого до светло-желтого. Ванилиновая кислота, также как и ванилин иногда используется в пищевой промышленности. Однако результаты исследований, осуществленных в последние годы, свидетельствуют о том, что ванилиновую кислоту стали часто использовать в качестве фиторегуляторов роста растений.

В представленной работе рассмотрены наиболее важные результаты исследований в области применения ванилиновой кислоты в агрохимической практике, показана ее роль в биохимических процессах, протекающих в растительных организмах, а также отмечены перспективы применения ванилиновой кислоты в агрохимии.

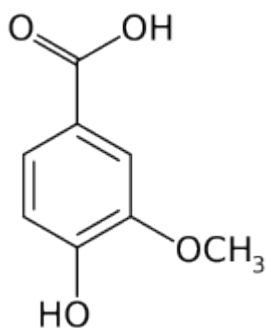


Рис. 1. Химическое строение ванилиновой кислоты

Методология. Представленная работа включает результаты исследований, осуществленных в течение 2000-2025 гг в области применения ванилиновой кислоты и ее функционально-замещенных производных в качестве регуляторов роста растений с использованием широкой базы данных рецензируемых статей (Scopus, Web of Science, PubMed, eLibrary). На основании полученных результатов исследований осуществлена их систематизация по тематическим блокам

Результаты исследований. Исследования по определению фиторегуляторных свойств ванилиновой кислоты можно классифицировать по следующим основным направлениям:

1) Влияние ванилиновой кислоты на рост корней и других частей растений

Для исследования влияния экзогенно вносимой ванилиновой кислоты (ВК) на смягчение негативных последствий засухи был проведен эксперимент в теплице на растениях гороха (*Pisum sativum* L.). Семена гороха обрабатывали в течение 14 часов в различных концентрациях ВК (0, 0,5, 1,0, 2,0, 3,0, 4,0, 5,0 и 6,0 мМ) [1]. Затем тридцатипятидневные растения гороха подвергали воздействию контрольных условий (100% полевой влагоемкости) и условий дефицита воды (60% от нормы). После тридцати дней воздействия водного стресса данные показали заметное снижение сырой и сухой массы побегов и корней, длины побегов и корней, а также содержания хлорофилла. Авторы наблюдали, что праймирование семян различными концентрациями ванилиновой кислоты привело к значительному увеличению сырой и сухой массы побегов и корней,

длины побегов и корней, содержания хлорофилла, пролина, общих фенолов, ГБ, АК и активности ферментов ПОД, СОД и КАТ растений гороха. Из различных концентраций ВК, 2,0 и 4,0 мМ ВК были более эффективны в улучшении морфологии растений и физико-биохимических метаболитов растений гороха. Таким образом, результаты настоящего исследования свидетельствуют о том, что улучшение роста и различных физико-биохимических характеристик можно отнести к вызванной ВК активации осмопротекторной и окислительной защитной системы растений гороха.

Основной целью исследования [2] была оценка влияния ванилиновой кислоты (ВК) наружного применения на рост, накопление осмопротекторов и окислительную защитную систему двух сортов капусты (*Cbs-174F1* и *Hcb-1040-B*) в условиях водного стресса. Дефицит воды в размере 60% от полевой влагоемкости привел к заметному снижению биомассы растений капусты и их длины. Кроме того, наблюдалось значительное снижение общего содержания хлорофилла и пигментов хлорофилла а и b как в листьях, так и в кочанах капусты в условиях дефицита воды. Одновременно с этим наблюдалось увеличение содержания свободного пролина в листьях, общих фенольных соединений, общих растворимых белков, перекиси водорода (H_2O_2) и активности пероксидазы (ПОД), каталазы (КАТ) и супероксиддисмутазы (СОД) в условиях засухи. Внекорневая подкормка ванилиновой кислотой (2,0 и 4,0 мМ) привела к значительному улучшению всех наблюдаемых показателей роста. Более того, наблюдалось улучшение содержания хлорофилла и аскорбиновой кислоты, а также активности ферментов ПОД, КАТ и СОД как в листьях, так и в кочанах капусты, особенно в условиях ограниченного доступа воды. Внекорневая подкормка ванилиновой кислотой также привела к увеличению накопления пролина, общих фенольных соединений и общих растворимых белков как в листьях, так и в кочанах обоих сортов капусты. Внесение ванилиновой кислоты также привело к снижению накопления перекиси водорода и относительной проницаемости мембран. В комплексном анализе положительное влияние внешней подкормки ванилиновой кислотой на рост растений капусты было обусловлено усилением накопления осмопротекторов и антиоксидантной защиты, особенно за счет снижения содержания H_2O_2 и МДА в условиях дефицита воды.

В исследовании [3] были изучены эффекты от применения протокатеховой кислоты (ПК) и ванилиновой кислоты (ВК) и их смеси на устойчивость риса к погружению. Обработка 0,01 мМ ПК и ВК не показала значительного увеличения роста риса по сравнению с контрольными образцами. Однако при более высоких концентрациях (0,1–1,0 мМ) побеги риса увеличились при погружении на 20,8–22,4%.

Процент выживания проростков риса при любой дозе ПК, ВК и их смеси был значительно выше, чем в контрольных образцах. В целом, смесь ПК и ВК была более активна в стимулировании удлинения побегов и выживания при погружении, чем обработка только ПК или ВК. Количество хлорофилла *b* под действием ПК значительно увеличилось, в то время как содержание хлорофилла *a* не изменилось. ВА значительно снизила количество малонового диальдегида через три дня погружения, в то время как существенной разницы между обработкой ПК, смесью и соответствующими контрольными образцами не наблюдалось. Две фенольные кислоты способствовали повышению содержания фенолов и флавоноидов в листьях и корнях риса, однако количество эндогенных ПА и ВК в рисе существенно не различалось после обработки ПА и ВК корней проростков риса. Активность аскорбатпероксидазы и супероксиддисмутазы была повышена, в то время как экспрессия генов, кодирующих антиоксидантные ферменты, была благоприятной. ВА увеличивала уровень экспрессии генов аскорбатпероксидазы в более высоких уровнях, чем ПА и их смесь, в то время как не наблюдалось значительной разницы в других генах, включая супероксиддисмутазу, каталазу, глутатионредуктазу и пероксидазу. Результаты этого исследования показали, что ПА и ВК повышали устойчивость риса к затоплению, стимулируя фотосинтетические и антиоксидантные процессы в проростках риса. Обработка корней проростков смесью ПА и ВК была эффективна для повышения устойчивости риса к затоплению.

Прорастание редиса и зернового сорго, а также рост сорго, были синергически подавлены комбинациями ванилиновой и *para*-гидроксibenзойной кислот [4]. При пороговых уровнях ингибирования семена редиса, обработанные ванилиновой кислотой в концентрации $2,5 \times 10^{-3}$ М, имели всхожесть 71% от контрольной через 24 часа, а семена редиса, обработанные *para*-гидроксibenзойной кислотой в концентрации $2,5 \times 10^{-3}$ М, имели всхожесть 95%. Смесь этих двух фитотоксинов в концентрации $2,5 \times 10^{-3}$ М показала всхожесть 52% через 24 часа. Эквимольные смеси 5×10^{-3} М ванилиновой и *p*-гидроксibenзойной кислот позволили сорго прорасти 60% необработанных семян через 24 часа, тогда как отдельная обработка индивидуальными фенолами дала 93% и 96% всхожести контрольных семян. Удлинение корней и побегов сорго и общий рост проростков были более чувствительны к обработке ванилиновой и *p*-гидроксibenзойной кислотой, чем прорастание, и также были очевидны синергетические эффекты. Сочетание 5×10^{-3} М ванилиновой с 5×10^{-3} М *p*-гидроксibenзойной кислотой уменьшило длину корней больше, чем каждая из них по отдельности, а смесь $5 \times$

10^{-4} М ванилиновой с 5×10^{-4} М р-гидроксибензойной кислотой снизила рост проростков сорго приблизительно до уровня, получаемого при концентрации 10^{-3} М каждого из фенолов по отдельности. Уровни фитотоксинов, ингибирующие рост сорго, вызвали небольшое увеличение диффузионного сопротивления нижней поверхности листьев, но не привели к закрытию устьиц, и этот эффект не был расценен как причина снижения роста сорго.

2) Защита от абиотических стрессов (засоление, бор, радиация, засуха)

Ванилиновая кислота (ВК) регулирует различные физиологические и биохимические процессы растений при различных стрессах окружающей среды, повышая их устойчивость [5]. Целью данного исследования была оценка защитного эффекта ВК на рост и физиологию, включая осмопротекторное действие и антиоксидантные защитные системы для повышения более высокой устойчивости путем снижения окислительного повреждения при стрессе дефицита воды у томатов (*Solanum lycopersicum* L. cv. *BARI Tomato-16*). Рассада томатов, выращенная на гидропонике (8 дней), была предварительно обработана 50 мкМ ВК в течение 2 дней, после чего подвергалась стрессу дефицита воды (вызванному изъятием воды и 12% полиэтиленгликолем; ПЭГ-6000) в течение 4 дней. Стресс засухи ингибировал рост сеянцев за счет снижения содержания воды и содержания фотосинтетических пигментов, смягчая окислительный стресс, вызванный активными формами кислорода и метилглиоксалем. Значительное усиление роста, накопления биомассы и содержания фотосинтетических пигментов наблюдалось в стрессовых условиях, предобработанных ВК. Кроме того, наблюдалось улучшение водного статуса и содержания пролина, а также модуляция активности антиоксидантных реакций, включая как неферментативные, так и ферментативные компоненты, в листьях проростков, обработанных ВК, при дефиците воды. Ванилиновая кислота значительно снижала образование активных форм кислорода и уменьшала повреждение клеточных мембран проростков томата, пострадавших от засухи. Детоксикация метилглиоксала в значительной степени обеспечивалась у проростков томата, подвергнутых стрессу, обработанных ВК, за счет усиления активности ферментов глиоксалазы. Следовательно, ВА может быть эффективна для защиты проростков томата, индуцируя антиоксидантную защиту растений, а также систему детоксикации метилглиоксала и осморегуляцию в условиях засухи.

Авторы работы [6] исследовали солеустойчивость томата, вызванную ванилиновой кислотой, путем изучения систем защиты растений. Десятидневные сеянцы томата (*Solanum lycopersicum* L. cv. *Pusa Ruby*) обрабатывали солью (NaCl; 150 мМ) и ванилиновой

кислотой (ВК; 40 и 50 мкМ) по отдельности и в сочетании с солью. Засоление ограничило рост сеянцев, накопление биомассы, содержание хлорофилла и каротиноидов. Осмотический стресс, вызванный солью, был отмечен по более низкому относительному содержанию воды в листьях (ОВЛ) и повышенному содержанию пролина (Pro), где более высокое соотношение Na^+/K^+ указывало на ионную токсичность. Сеянцы томата подверглись окислительному повреждению из-за острой продукции активных форм кислорода (АФК) и активности липоксигеназы (ЛОГ), что было подтверждено более высоким перекисным окислением липидов и повреждением мембран при засолении. Напротив, экзогенная ВК снизила осмотическую и ионную токсичность у проростков, подвергшихся стрессу, за счет повышения уровня RWC и Pro и снижения соотношения Na^+/K^+ соответственно. Экзогенная ВК повысила регуляцию компонентов системы антиоксидантной защиты у проростков, обработанных солью, что привело к снижению продукции ROS, активности LOX и повреждения мембран у проростков, подвергшихся стрессу. Кроме того, применение ВА вызвало снижение накопления токсичного метилглиоксала при солевом стрессе за счет усиления системы глиоксалаза. Таким образом, вызванное ВК смягчение осмотического, ионного и окислительного стрессов привело к улучшению роста растений и синтеза хлорофилла у проростков, подвергшихся стрессу. Таким образом, ВК значительно улучшает устойчивость к солености и производительность роста растений, вовлекая действия систем антиоксидантной защиты растений и глиоксалаза.

Было оценено влияние ванилиновой кислоты (ВК), применяемой на листьях, на биомассу, фотосинтез, окислительный стресс, активность антиоксидантных ферментов и поглощение хрома (Cr) растениями кукурузы при различных уровнях хромового стресса [7,8]. Эксперимент включал сорт кукурузы Малка-2016, три уровня хромового стресса (0, 100 и 500 мкМ) и ВК (0, 0,2 и 0,4 мг/л), применяемую в виде опрыскивания по листьям. Результаты показали, что хромовый стресс значительно снизил физиологические и морфологические характеристики, включая показатели газообмена, неферментативные соединения и активность ферментативных антиоксидантов. Однако внесение ВК на листья значительно увеличило сухую массу растений и улучшило показатели газообмена, такие как скорость транспирации, фотосинтез и устьичная проводимость растений кукурузы в стрессовых и нестрессовых условиях. Положительное влияние ВА также было обнаружено на активность ферментов супероксиддисмутазы, пероксидазы и каталазы, а также на уровни глицинбетаина и пролина. В целом, внекорневая подкормка ВА значительно повысила устойчивость растений кукурузы

к хромовому стрессу за счет улучшения характеристик газообмена и антиоксидантной защиты.

3) Роль ванилиновой кислоты в защите от насекомых и патогенов

Маш (*Vigna radiata* L.) очень уязвим к угольной гнили, вызываемой *Macrophomina phaseolina*, которая угрожает урожайности [9]. Ванилиновая кислота (ВК), природное фенольное соединение, демонстрирует потенциал в качестве устойчивой альтернативы синтетическим фунгицидам, повышая устойчивость растений и рост. В этом исследовании оценивалась противогрибковая эффективность и ростстимулирующее действие ванилиновой кислоты на маш, инфицированный *M. phaseolina*. Были проведены анализы *in vitro* для определения противогрибковой активности ВК в различных концентрациях (0,003, 0,013, 0,040 и 0,070%). Также были оценены минимальная ингибирующая концентрация (МИК) и эффективная концентрация (EC₅₀). Были проведены эксперименты *in vivo* в горшках для оценки влияния ВК на прорастание семян, рост растений и биомассу. Кроме того, был проведен анализ экспрессии генов с использованием q-ПЦР для изучения повышения регуляции полифенолоксидазы (ПФО), фермента, связанного с механизмами защиты растений. Данные были проанализированы с использованием анализа главных компонент (РСА) для выявления ключевых признаков роста, на которые повлияла обработка ВК. Тесты *in vitro* показали полное ингибирование роста мицелия *M. phaseolina* при концентрации ВК 0,070%, с EC₅₀ 0,039% и МИК 0,055%. *In vivo*, ВК значительно улучшила всхожесть, рост и биомассу маша до 2 раз при концентрациях от 0,045 до 0,060%. Примечательно, что растения, обработанные 0,055% ВК, демонстрировали более высокие уровни ПФО, что указывает на усиление антиоксидантной защиты. РСА дополнительно подчеркнул эффективность обработки ВК в стимуляции прорастания семян и роста растений. Результаты показали, что ВА является эффективным, экологически безопасным противогрибковым средством, которое повышает устойчивость маша к *M. phaseolina* и улучшает общее состояние растений. ВА может стать жизнеспособной альтернативой синтетическим фунгицидам для борьбы с угольной гнилью маша, способствуя более устойчивому ведению сельского хозяйства.

Почвенные микроорганизмы являются ключевыми факторами продуктивности растений в наземных экосистемах, однако механизмы контроля их разнообразия и численности до конца не изучены [10]. Фенольные кислоты, выделяемые корневыми экссудатами и разложением остатков, обычно называются автотоксинами некоторых сельскохозяйственных культур, включая огурцы. В данном

исследовании изучалось влияние ванилиновой кислоты (ВК) на микробные сообщества ризосферы огурцов путем обработки рассады огурцов ВК каждые два дня в течение пяти раз. Для анализа генов 16S рРНК общих бактериальных, *Pseudomonas* и *Bacillus spp.* использовались секвенирование ампликонов, ПЦР-денатурирующий градиентный гель-электрофорез и количественная ПЦР. Результаты показали, что ВК в концентрации 0,05 мкмоль/г почвы изменяла общее разнообразие и состав бактериального сообщества. В частности, ВК ингибировала относительное обилие родов с полезным для растений потенциалом, таких как *Bacillus* и *Lysobacter spp.* Более того, ВА изменила состав сообществ *Pseudomonas* и *Bacillus spp.*, изменив количество и/или относительную численность их ОТЕ; и снизила численность сообществ *Bacillus spp.* при концентрации 0,02–0,2 мкмоль/г почвы и численность сообществ *Pseudomonas spp.* при концентрации 0,2 мкмоль/г почвы. В целом, ВА изменила состав сообществ бактерий, *Pseudomonas* и *Bacillus spp.* в ризосфере рассады огурца, что может быть связано с неблагоприятным воздействием ВА на рост огурцов в почвенных условиях.

Искусственно внесенная ванильная кислота изменила микробные сообщества почвы в ризосфере огурца (*Cucumis sativus L.*) [11]. Фенольные кислоты (ФК) были признаны автотоксинами огурца (*Cucumis sativus L.*), но сомнения относительно важности этих соединений также существуют из-за их низких концентраций в полевых условиях. Физиологические изменения, вызванные ФК, зависят от концентрации, а диапазон биологической активности составляет от 0,1 до 1 мМ. В данном случае ванильная кислота (ВК) (0,02, 0,05, 0,1, 0,2 мкмоль/г почвы) вносилась в почву через день в течение пяти раз. Оценивалось влияние ВК на рост проростков *C. sativus* и микробные сообщества почвы в ризосфере. Структуры и размеры бактериальных и грибковых сообществ почвы анализировали методами полимеразной цепной реакции (ПЦР)-денатурирующего градиентного гель-электрофореза (ДГГЭ) и ПЦР в реальном времени, соответственно. Ванилиновая кислота значительно ингибировала рост проростков *C. sativus* при концентрациях $\geq 0,05$ мкмоль/г почвы и стимулировала активность почвенной дегидрогеназы, содержание углерода в микробной биомассе почвы и размеры бактериальных и грибковых сообществ почвы при всех исследованных концентрациях. Ванилиновая кислота также вызывала сдвиги в структурах бактериальных и грибковых сообществ почвы ризосферы. В целом, ВА могла изменять микробные сообщества почвы ризосферы, даже если концентрация ВК была ниже уровня, вызывающего значительный фитотоксический эффект у огурца.

Мировой спрос на более экологичное, безопасное и эффективное сельское хозяйство может быть удовлетворен путем применения биопестицидов. Ванилиновая кислота – это встречающаяся в природе универсальная фенольная молекула с перспективной противогрибковой активностью, однако исследований возможного использования ванилиновой кислоты в качестве противогрибкового средства против серьезного почвенного грибкового патогена растений, а именно *Sclerotium rolfsii*, не проводилось [12]. Данное исследование было проведено для оценки противогрибкового потенциала ванилиновой кислоты путем анализа роста, морфологических и биохимических изменений *S. rolfsii* в лабораторных условиях.

Результаты показали, что ванилиновая кислота (0,003–0,10 %) значительно замедляет рост грибов, искажает их морфологию (гифы и склероции), изменяет активность ферментов (каталазы, пероксидазы, полифенолоксидазы и фенилаланинаммонийлиазы). Однако концентрации 0,05 и 0,10% вызывали полное подавление роста грибка. Результаты, представленные в данной работе, служат основой для дальнейших исследований по разработке фунгицидов на основе ванилиновой кислоты.

Система секреции типа III (T3SS) является ключевым фактором, определяющим вирулентность в процессе инфицирования *Pseudomonas syringae* pv. томата DC3000 (Pst DC3000) [13]. Патоген конструирует аппарат типа III для транслокации эффекторных белков в клетки-хозяева, которые играют различную роль в патогенезе. 4-гидроксibenзойная кислота и ванилиновая кислота были идентифицированы из экстракта корня *Sedum middendorffianum* как оказывающие ингибирующее действие на промоторную активность гена *hrpA*, кодирующего структурный белок аппарата T3SS.

Фенольные кислоты в концентрации 2,5 мМ значительно подавляли экспрессию *hopP1*, *hrpA* и *hrpL* в кластере генов *hrp/hrc* без задержки роста Pst DC3000. Аутоагглютинация клеток Pst DC3000, которая индуцируется T3SS, была нарушена обработкой 4-гидроксibenзойной кислотой и ванилиновой кислотой.

Кроме того, 2,5 мМ каждой из двух фенольных кислот ослабляли симптомы заболевания, включая хлороз вокруг бактериальных пятен на листьях томатов. Эти результаты свидетельствуют о том, что 4-гидроксibenзойная кислота и ванилиновая кислота являются потенциальными противовирусными агентами, подавляющими T3SS Pst DC3000 для борьбы с бактериальными заболеваниями.

4) Роль ванилиновой кислоты в процессах ферментации

Ванилиновая кислота (ВК) — производное фенольной кислоты, обычно встречающееся в растениях и продуктах питания, с приятным сливочным запахом и фармакологической активностью, которое, как предполагается, помогает улучшить ферментацию силоса [14]. Был оценен профиль силоса стило-силоса, засилосованного с добавлением ВК. Результаты показали, что добавление ВК привело к снижению значения pH (5,22 против 4,33), потери сухого вещества (5,37 против 2,51% DM) и соотношения аммиака и азота (14,57 против 1,51% CP) стило-силоса, а также к увеличению концентрации молочной кислоты (0,51 против 1,17% DM), доли истинного протеина (51,18 против 58,47% CP) и выхода осаживания (113,64 против 126,40 мг/г DM). В то же время бактериальное сообщество стило-силоса изменилось: относительное обилие *Enterobacter*, *Clostridium* и *Kosakonia* снизилось, а *Commensalibacter* и *Methylobacterium* увеличилось. В заключение предлагается использовать ВК в качестве новой добавки к силосу для улучшения ферментации силоса и сохранения питательных веществ в стило-силосе.

Заключение. Таким образом, представленный анализ результатов исследований в области применения ванилиновой кислоты в качестве фиторегулятора роста растений позволяет сделать однозначный вывод о наличии роста регулирующих свойств этого соединения. На основании представленных результатов можно заключить, что

- 1) ванилиновая кислота в определенных концентрациях стимулирует рост корней, и некоторых других частей растений
- 2) экзогенная обработка ванилиновой кислотой снижает окислительный стресс при засолении и других стрессовых состояниях
- 3) ванилиновая кислота проявляет инсектицидную активность против различных насекомых и патогенов, что перспективно для биопестицидов;
- 4) перспективные направления — разработка препаративных форм и изучение синергии с другими регуляторами роста растений.

Полученные результаты создают широкие перспективы для проведения дальнейших систематических исследований в области применения ванилиновой кислоты в качестве фитогормонов.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Rahman A., Nudrat A., Ashraf M., Alsahli A. Deciphering the role of exogenously-applied vanillic acid in regulating drought stress tolerance in pea (*Pisum sativum* L.): Key growth and physio-biochemical attributes // Journal of King Saud University – Science. 2024. Vol. 36. N11. pp. 103544-103549.

2. Rahman A., Akram N.A., Iqbal M. Phenolic compound vanillic acid modulates growth and defence system of cabbage (*Brassica oleracea* var. *Capitata* L.) under drought stress // *Pakistan J. Bot.* 2024. Vol. 56. N 5. pp. 1631-1644.
3. Xuan T.D., Khang D.T. Effects of Exogenous Application of Protocatechuic Acid and Vanillic Acid to Chlorophylls, Phenolics and Antioxidant Enzymes of Rice (*Oryza sativa* L.) in Submergence // *Molecules.* 2018. Vol. 23. N 3. pp. 620-627.
4. Einhellig F., Rasmussen J.A. Synergistic inhibitory effects on vanillic and p-hydroxybenzoic acids on radish and grain sorghum // *Journal of Chemical Ecology.* 1978. Vol. 4. pp. 425-436.
5. Parvin Kh., Hasanuzzaman M., Mohsin S.M., Nahar K. Vanillic Acid Modulates Antioxidant Defense and Methylglyoxal Detoxification Systems to Combat Drought Stress in Tomato Seedlings // *Plants.* 2024. Vol. 13. N 22. pp. 3114-3121.
6. Khursheda P., Nahar K., Hasannuzzaman M., Bhuyan B. Exogenous vanillic acid enhances salt tolerance of tomato: Insight into plant antioxidant defense and glyoxalase systems // *Plant Physiology and Biochemistry.* 2020. Vol. 150. pp. 109-120.
7. Razzaq M., Akram N.A., Shafagat A., Ashraf M. Induction of chromium (Cr) stress tolerance in Maize by foliar applied vanillic acid – growth, gas exchange characteristics and antioxidants // *Pakistan J. Bot.* 2023. Vol. 55. N 2. pp. 419-428.
8. Peiwen G., Wang K., Chang Q., Keming Ch. A New Method for Discovering Plant Biostimulants // *Plants.* 2024. Vol. 13. N 1. pp. 56-64.
9. Numan A., Shoaib A., Rafiq M., Barizah M. Vanillic Acid Enhances Mung Bean Resistance and Growth Against *Macrophomina phaseolina* as a Sustainable Antifungal Approach // *Journal of Crop Health.* 2024. Vol. 76. N 6. pp. 1473-1480.
10. Zhou X., Fengzhi W. Vanillic acid changed cucumber (*Cucumis sativus* L.) seedling rhizosphere total bacterial, *Pseudomonas* and *Bacillus* spp. Communities // *Scientific Reports.* 2018. Vol. 8. pp. 4929-4938.
11. Zhou X., Fengzhi W. Artificially applied vanillic acid changed soil microbial communities in the rhizosphere of cucumber (*Cucumis sativus* L.) // *Canadian Journal of Soil Science.* 2013. Vol. 93. N 1. pp. 36-42.
12. Yousaf M., Shoaib A., Qudsia F., Bukhari S. In vitro antifungal potential of vanillic acid against *Sclerotium rolfsii* // *J. Biores. Management.* 2023. Vol. 10. N 2. pp. 1-8
13. Kang J.E., Byeong J.J., Park M.Y., Kim B.S. Inhibitory Activity of *Sedum middendorffianum*-Derived 4-Hydroxybenzoic Acid and Vanillic Acid on the Type III Secretion System of *Pseudomonas syringae* pv. *Tomato* DC3000 // *Plant Pathology Journal.* 2020. N 2. pp. 247-252.

14. Liwen H., Sen L., Cheng W., Xiaoyang Ch. Effects of Vanillic Acid on Dynamic Fermentation Parameter, Nitrogen Distribution, Bacterial Community, and Enzymatic Hydrolysis of Stylo Silage // Front. Microbiol. 2021. Vol. 12. pp. 13-27.

REFERENCES

1. Rahman A., Nudrat A., Ashraf M., Alsahli A. Rasshifrovka roli ekzogenno primenyaemoi vanilinovoi kisloty v regulirovanii ustoichivosti gorokha (*Pisum sativum* L.) k zasukhe: kluchebye pokazateli rosta i zisiko-biokhimicheskije kharakteristiki. [Deciphering the role of exogenously-applied vanillic acid in regulating drought stress tolerance in pea (*Pisum sativum* L.): Key growth and physio-biochemical attributes] // Journal of King Saud University – Science. 2024. Vol. 36. N 11. pp. 103544-103549.

2. Rahman A., Akram N.A., Iqbal M. Fenolnoe soedinenie vanilinovaya kislota moduliruet rost i zashitnyuyu sistemu kapusty (*Brassica oleracea* var. *Capitata* L.) v usloviyakh zasukhi. [Phenolic compound vanillic acid modulates growth and defence system of cabbage (*Brassica oleracea* var. *Capitata* L.) under drought stress] // Pakistan J. Bot. 2024. Vol. 56. N 5. pp. 1631-1644.

3. Xuan T.D., Khang D.T. Vliyanie ekzogenogo primeneniya protokatekhovoi i vanilinovoi kislota na chlorofilly, phenoly i antioksidantnye fermenty risa (*Oryza sativa* L.) v usloviyakh zayopleniya [Effects of Exogenous Application of Protocatechuic Acid and Vanillic Acid to Chlorophylls, Phenolics and Antioxidant Enzymes of Rice (*Oryza sativa* L.) in Submergence] // Molecules. 2018. Vol. 23. N 3. Pp. 620-627

4. Einhellig F., Rasmussen J.A. Sinergicheskoe ingibiruyushee deistvie vanilinovoi i p-hidroksibenzoinoi kislota na redis i zernovoe sorgo [Synergistic inhibitory effects on vanillic and p-hydroxybenzoic acids on radish and grain sorghum] // Journal of Chemical Ecology. 1978. Vol. 4. pp. 425-436.

5. Parvin Kh., Hasanuzzaman M., Mohsin S.M., Nahar K. Vanilinovaya kislota moduliruet antioksidantnyuyu zashitu i sistemy detoksikatsii metilglioksalya dlya borby s zasukhoi u rassady tomatov. [Vanillic Acid Modulates Antioxidant Defense and Methylglyoxal Detoxification Systems to Combat Drought Stress in Tomato Seedlings] // Plants. 2024. Vol. 13. N 22. pp. 3114-3121.

6. Khursheda P., Nahar K., Hasannuzzaman M., Bhuyan B. Elzognennaya vanilinovaya kislota povyshayet soleustoichivost tomatov: ponimanie antioksidantnoi zashity rastenii i sistem gliksilazy. [Exogenous vanillic acid enhances salt tolerance of tomato: Insight into plant antioxidant defense and glyoxalase systems] // Plant Physiology and Biochemistry. 2020. Vol. 150. pp. 109-120.

7. Razzaq M., Akram N.A., Shafagat A., Ashraf M. Povyshenie ustoichivosti kukuruzy k stress, vyzvannomu chromom (Cr), putem vnekornevoi podkormki vanilinovoi kislotoi – kharakteristiki rosta, qazoobmena I antioksidantnyke svoistva. [Induction of chromium (Cr) stress tolerance in Maize by foliar applied vanilic acid – growth, gas exchange characteristics and antioxidants] // Pakistan J. Bot. 2023. Vol. 55. N 2. pp. 419-428.
8. Peiwen G., Wang K., Chang Q., Keming Ch. Novyi metod obnaruzheniya rastitelnykh biostimulyatorov [A New Method for Discovering Plant Biostimulants] // Plants. 2024. Vol. 13. N 1. pp. 56-64.
9. Numan A., Shoaib A., Rafiq M., Barizah M. Vanilinovaya kislota povyshaet ustoichivost I rost masha protiv *Macrophomina phaseolina* kak ustichivyi protivogribkovyi podkhod. [Vanillic Acid Enhances Mung Bean Resistance and Growth Against *Macrophomina phaseolina* as a Sustainable Antifungal Approach] // Journal of Crop Health. 2024. Vol. 76. N 6. pp. 1473-1480.
10. Zhou X., Fenqzhi W. Vanilinovaya kislota izmenila obshee kolichestvo bakterii, a takzhe soobshestv *Pseudomonas* u *Bacillus* spp. V rizosphere rassady ogurtsa (*Cucumis sativus* L.). [Vanillic acid changed cucumber (*Cucumis sativus* L.) seedling rhizosphere total bacterial, *Pseudomonas* and *Bacillus* spp. Communities] // Scientific Reports. 2018. Vol. 8. pp. 4929-4938.
11. Zhou X., Fengzhi W. Iskusstvenno vvedennaya vanilinovaya kislota izmenila mikrobye soobshestva pochvy v rizosphere ogurtsa (*Cucumis sativus* L.) [Artificially applied vanillic acid changed soil microbial communities in the rhizosphere of cucumber (*Cucumis sativus* L.)] // Canadian Journal of Soil Science. 2013. Vol. 93. N 1. pp. 36-42.
12. Yousaf M., Shoaib A., Qudsia F., Bukhari S. Protivogribkovyi potentsial vanilinovoi kisloty *in vitro* protiv *Sclerotium rolfsii* [In vitro antifungal potential of vanillic acid against *Sclerotium rolfsii*] // J. Biores. Management. 2023. Vol. 10. N 2. pp. 1-8.
13. Kang J.E., Byeong J.J., Park M.Y., Kim B.S. Ingibiruyushee deistvie 4-hidroksobenzoinoi kisloty I vanilinovoi kisloty, poluchennykh iz *Sedum middendorffianum*, na sistemu sekretsii III tipa *Pseudomonas syringae* pv. *tomato* DC3000 [Inhibitory Activity of *Sedum middendorffianum*-Derived 4-Hydroxybenzoic Acid and Vanillic Acid on the Type III Secretion System of *Pseudomonas syringae* pv. *tomato* DC3000] // Plant Pathology Journal. 2020. N 2. pp. 247-252.
14. Liwen H., Sen L., Cheng W., Xiaoyang Ch. Vliyanie vanilinovoi kisloty na dinamicheskie parametry fermentatsii, raspredelenii azota, bakterialnoe soobshestvo I fermentativnyi hidroliz silosa iz stilo. [Effects of

Vanillic Acid on Dynamic Fermentation Parameter, Nitrogen Distribution, Bacterial Community, and Enzymatic Hydrolysis of Stylo Silage] // Front. Microbiol. 2021. Vol. 12. pp. 13-27.

Информация об авторах

Г.З. Гейдарли – докторант, вед 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.

Статья поступила в редакцию 05.02.2026; принята к публикации 15.03.2026.

The article was submitted 05.02.2025; accepted for publication 15.03.2026.

ХИМИЧЕСКИЕ НАУКИ

Научная статья

УДК 662.749.33

DOI 10.21510/3034-266X-2026-1-85-96

ВЛИЯНИЕ ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ ЭЛЕКТРОДНОГО ПЕКА НА ВЫХОД И ПРОЧНОСТНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ КАРБОНИЗАТА ПЕКО-КОКСОВОЙ МАССЫ

Родион Юрьевич Ковалев

*Федеральный исследовательский центр угля и углехимии СО
РАН, Кемерово, Российская Федерация*

kovaleviuhm@yandex.ru,

<https://orcid.org/0009-0001-7776-7440>

Аннотация. Каменноугольный пек, в основном является продуктом переработки каменноугольной смолы. Основным способом получения каменноугольного пека, является метод разделения каменноугольной смолы на фракции (легкая – температура до 170°C, фенольная – 170-210°C, нафталиновая – 210-230°C, 230-270°C – поглотительная фракция, 270-360°C – антраценовая фракция, после 360°C – пек). Однако полученные пеки, могут не удовлетворять требованиям, как связующее по своим характеристикам, таким как содержание нерастворимых веществ в толуоле – α фракция или низкими коксующимися свойствами. В данной статье представлены результаты модельных экспериментов по карбонизации пеко-коксовой массы на основе электродного пека и пеков, полученных после его термической обработки. Рассмотрено влияние термической обработки электродного пека марки В, в различных средах, на выход карбонизата пеко-коксовой массы. Установлено, что термическая обработка электродного пека марки В, увеличивает выход карбонизата пеко-коксовой массы на основе термообработанных пеков и нефтяного кокса, а также повышает прочность получаемого карбонизата. Показано, что высокотемпературное термоокисление существенно увеличивает выход карбонизата пеко-коксовой массы на основе получаемого высокотемпературного пека. Также эффективной, является термическая обработка электродного пека марки В, в восстановительной среде при 300 °C в течение 5-часов, для полученного пека, возрастает выход карбонизата пеко-коксовой массы на 5 % и его прочность на 12 %. Термическая обработка электродного пека марки В, в восстановительной среде при 350 °C в течение 5-часов,

для полученного пека, не увеличивает выход карбонизата пеко-коксовой массы как монолитного продукта, но повышает его прочность на 9 %. Термическая обработка в СВЧ – печи увеличивает выход карбонизата пеко-коксовой массы на 3 % и прочность на 10 %. Карбонизат пеко-коксовой массы на основе высокотемпературного пека, имел механическую стойкость при сбрасывании, данный факт определяет перспективу использования термоокисления как способ для повышения коксующихся свойств пеков – связующих, так и повышения прочностных характеристик получаемых углеродных материалов на его основе.

Ключевые слова: электродный пек, пек связующее, термическая обработка пека, термоокисление, высокотемпературный пек, пековый карбонизат, пеко-коксовая масса.

Благодарности: работа выполнена в рамках реализации государственного задания ИУХМ ФИЦ УУХ СО РАН (временный номер регистрации проекта № 1023032300042-4-1.4.3),

Для цитирования: Ковалев Р.Ю. Влияние термической обработки электродного пека на выход и прочностные характеристики карбонизата пеко-коксовой массы// Вестник Башкирского государственного педагогического университета им. М.Акумлы. Серия: Естественные науки. 2026. №1. С. 85-96.

CHEMICAL SCIENCES

Original article

TREATMENT OF ELECTRICAL SAND ON THE OUTPUT AND STRENGTH CHARACTERISTICS OF CARBONIZATE OF PITCH-COKE MASS

Rodion Yurievich Kovalev

Federal Research Center of Coal and Coal Chemistry of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Kemerovo, Russian Federation, kovaleviuhm@yandex.ru, <https://orcid.org/0009-0001-7776-7440>

Abstract. Coal tar pitch is mainly a product of coal tar processing. The main method of producing coal tar pitch is the method of separating coal tar into fractions (light fraction up to 170°C, phenolic fraction 170-210°C, naphthalene fraction 210-230°C, absorption fraction 230-270°C, anthracene fraction 270-360°C, and pitch after 360°C). However, the resulting pitches may not meet the requirements for binder properties, such as the content of insoluble substances in toluene α or low coking properties.

This article presents the results of model experiments on the carbonization of pitch-coke mass based on electrode pitch and pitch obtained after its thermal treatment. The article examines the effect of thermal treatment of electrode pitch grade C in various media on the yield of carbonized pitch-coke mass. It has been established that the thermal treatment of electrode pitch grade C increases the yield of carbonizate of the pitch-coke mass based on thermally treated pitches and petroleum coke, and also increases the strength of the resulting carbonizate. It has been shown that high-temperature thermal oxidation significantly increases the yield of carbonizate of the pitch-coke mass based on the resulting high-temperature pitch. It is also effective to heat-treat electrode pitch grade C in a reducing environment at 300 °C for 5 hours, for the resulting pitch, increases the yield of carbonization of the pitch-coke mass by 5% and its strength by 12%. Heat treatment of electrode pitch grade C in a reducing environment at 350 °C for 5 hours, for the resulting pitch, does not increase the yield of carbonization of the pitch-coke mass as a monolithic product, but increases its strength by 9%. Thermal treatment in a microwave oven increases the yield of pitch-coke carbonizate by 3% and the strength by 10%. The carbonizate of pitch-coke mass based on high-temperature pitch had mechanical resistance during dumping, which determines the prospect of using thermo-oxidation as a method for improving the coking properties of peck binders and increasing the strength characteristics of the resulting carbon materials based on it.

Keywords: electrode pitch, pitch binder, thermal processing of pitch, thermooxidation, high-temperature pitch, pitch carbonizate, and pitch-coke mass.

Acknowledgements: The work was carried out as part of the implementation of the state assignment by the Institute of Automation and Mathematical Modeling of the Federal Research Center of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences (temporary project registration number 1023032300042-4-1.4.3).

For citation: Kovalev R.Yu. Influence of the thermal treatment of electrode pitch on the yield and strength characteristics of the carbonization of the pecko-coke mass// Bulletin of the Bashkir State Pedagogical University named after M.Akmulla. Series: Natural Sciences. 2026. No. 1. pp. 85-96.

Введение. Существует множество работ [1-5] по влиянию термической обработки пеков на его основные характеристики. Однако отсутствуют результаты по влиянию термической обработки в различных средах электродного пека марки В, на выход карбонизата пеко-коксовой массы. Приведенное утверждение и определяет научную проблему, связанную с установлением влияния термической

обработки электродного пека марки В, на выход карбонизата пеко-коксовой смеси.

В данной работе представлены результаты по влиянию термической обработки в различных средах электродного пека марки В, на выход карбонизата пеко-коксовой массы и на его прочностные характеристики. Полученные данные определяют перспективу термической обработки для повышения вяжущих и коксующих свойств пека, что и определяет актуальность данной работы. Данная экспериментальная работа является продолжением работ [5-8], по установлению влияния термической обработки пека на улучшения качества получаемого связующего.

Пеки получают из каменноугольной смолы [9], нефтяного сырья [10-11], методом экстрагирования из углей [12]. Основное применение пеков – связующее в получении электродов, анодной массы, доменных огнеупоров [13-14]. Для уменьшения выброса бенз[а]пирена при производстве анодной массы предлагается помимо пека применять продукты переработки тяжелых нефтяных остатков [15-16].

Особый интерес представляет рассмотрение технологий применения пека в получении анодной массы. В работе [17] предложен способ производства анодной массы, включающий предварительный раздельный нагрев коксовой шихты, коксовой пыли и пека, расплавленный пек перед введением в смеситель разнополярно заряжали в высоковольтных зарядных установках, коксовой пыли придавали положительный заряд, а пеку придавали отрицательный, затем разнополярно заряженную коксовую пыль и пек подавали в смеситель и перемешивали с коксовой шихтой. В работе [18] добавление среднетемпературного пека или нефтекаменноугольного пека при производстве огнеупоров позволяет получить материал с высокими прочностными характеристиками. В работе [19], показано, что добавление каменноугольного пека (содержание класса $< 0,08$ мм, - 55 %) – 31 % как связующего, дает анод с пределом прочности на сжатие (36 мПа), и высоким значением разрушаемости в CO_2 (48,6). Смесь каменноугольного и нефтяного пека – 28 % как связующего дает анод с высоким пределом прочности на сжатие (37 мПа) и низким значением разрушаемости в CO_2 (32,7) [19].

Рассмотрим результаты работ по установлению влияния термической обработки на характеристики связующего. В работе [5], показано, что термическая обработка электродных пеков при 300 °С повышает коксующие свойства, что может быть следствием увеличения α -фракции. Термическая обработка в окислительной среде (термоокисление) позволяет увеличить выход карбонизата пека и пеко-коксовой смеси [6-7]. Показано, что термоокисление увеличивает прочностные характеристики пека и пеко-коксовой массы [6,8].

Цель работы: определение влияния различных типов термической обработки электродного пека марки В, на выход и прочностные характеристики карбонизата пеко-коковой массы.

Материалы и методы исследования. В качестве исходного материала использовали электродный пек марки В ($T_p=91\text{ }^{\circ}\text{C}$, выход летучих веществ 53 %), полученный на АО Алтай-Кокс. Термическую обработку пека проводили в сушильном шкафу при $T=300\text{ }^{\circ}\text{C}$ и $350\text{ }^{\circ}\text{C}$ в течение 5 часов, в СВЧ –печи (мощность 385 Вт) в течение 30 мин. Также использовали высокотемпературный пек с $T_p=148\text{ }^{\circ}\text{C}$, (выход летучих веществ 42,6%) полученный путем высокотемпературного ($260\text{--}360\text{ }^{\circ}\text{C}$) термоокисления пека марки В, в работе [20]. В качестве кокса использовался прокаленный промышленный нефтяной кокс. Пек и кокс размешивали (соотношение пек/кокс =1/2) до однородной массы и карбонизировали в тиглях, помещенных в муфельную печь. Карбонизацию проводили путем нагрева со скоростью $7,4\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{мин}$ тиглей в муфельной печи до $1050\text{ }^{\circ}\text{C}$. Определяли выход карбонизата пеко-коковой смеси СР как процентное отношение массы карбонизата к массе смеси пека и кокса. Индекс сбрасывания S_{10} и S_{25} (доля фракции $>10\text{ мм}$ и фракции $>25\text{ мм}$ материала после механического воздействия (сбрасывание с $h = 1,8\text{ м}$). Данная методика определения прочности при сбрасывании отработана в работах [6,8].

Результаты эксперимента и обсуждение. Результаты эксперимента представлены в таблице.

Таблица 1

Характеристики получаемых карбонизатов пеко-коковой массы

№	Название	СР, %	СР*, %	S_{10} , %
1	Пек В	66,0	63,2	78,0
2	Пек ВТО-1	87,5	68,3	90,6
3	Пек ВТО-2	82,5	62,3	87,5
4	Пек ВТО-3	73,9	66,1	88,6
5	ВТП	84,33	84,0	98,6

СР* - выход пеко-коковой массы или смеси в виде спекшейся монолитной массы. Разность СР и СР* определяет выход коксовой мелочи, не входящей в состав монолитной массы карбонизата, и представлена в виде частиц с размером менее 3 мм. Пек ВТО-1 (пек марки В, после термической обработки при $300\text{ }^{\circ}\text{C}$ в течение 5 ч.), пек ВТО-2 (пек марки В, после термической обработки при $350\text{ }^{\circ}\text{C}$ в течение 5 ч., выход летучих веществ 39,2 %), пек ВТО-3 (пек марки В, после термической обработки в СВЧ печи в течение 30 мин., выход летучих веществ 53 %). Из таблицы видно, что термическая обработка увеличивает СР и СР* (за исключением ВТО-2), и также увеличивала

S_{10} . В случае карбонизата пеко-коксовой массы на основе пека ВТО-1, для него $S_{10}=S_{25}$, при повторном сбрасывании $S_{10}=S_{25}=93,7$ %. Высокие значения для карбонизата пеко-коксовой массы на основе пека ВТО-1 могут быть связаны с тем что при низкотемпературной термической обработки (300°C) происходит рост α -фракции, вызванный ростом вяжущей α_2 -фракции [21-22]. Данный факт и приводил к увеличению CP^* . В случае для пека ВТО-2, для карбонизата пеко-коксовой массы на его основе, характерно низкое значение CP^* , данный факт может быть связан с тем, что что при высокотемпературной термической обработки (350°C) происходил рост α -фракции, вызванный также ростом α_1 -фракции-снижающей вяжущие свойства пека [21-22]. Для карбонизата пеко-коксовой массы на основе пека ВТО-3, термическая обработка в СВЧ –печи увеличивала CP и CP^* , однако в ранней работе [23], показано, что данная термическая обработка не увеличивает коксующие свойства пеков. Для карбонизата пеко-коксовой массы на основе ВТП-характерны высокие значения CP и CP^* , также для него $CP \approx CP^*$, что говорит о низком содержании коксовой мелочи. Можно предположить, что в случае термоокисления помимо роста α_1 -фракции, происходил рост вяжущих β и α_2 -фракций, что и увеличивало CP и CP^* . Также для карбонизата пеко-коксовой массы на основе ВТП характерно высокое значение S_{10} .

Для всех случаев увеличение прочности S_{10} , может быть связано с химическими реакциями в пеке во время термической обработки, которые позволяют после карбонизации увеличить прочностные характеристики карбонизата пеко-коксовой массы, как и в случае пекового карбонизата [8]. Рассмотрим изменение прочности S_{10} при повторных сбрасываниях для карбонизата пеко-коксовой массы на основе ВТП.

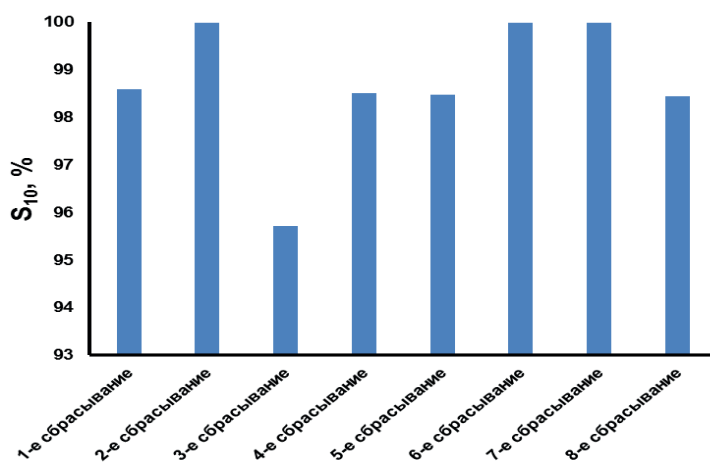


Рис.1 – Распределение прочности S_{10} при повторных сбрасываниях карбонизата пеко-коксовой массы на основе ВТП

Из рис.1 видно, что при всех сбрасываниях $S_{10} > 90$ %, также следует отметить, что при первом и втором сбрасывании $S_{10}=S_{25} > 98$ %. При 3-м сбрасывании, $S_{25}=0$ %, и происходило уменьшение S_{10} до 95,7 %. При 4-8 сбрасываниях значения $S_{10} > 98$ %. Полученные данные определяют механическую стойкость карбонизата пеко-коксовой массы на основе ВТП при сбрасывании. Карбонизат пеко-коксовой массы на основе ВТП и нефтяного кокса показала высокие прочностные характеристики, как и для случая ВТП и пекового кокса в [6].

Выводы. Термическая обработка электродного пека марки В, повышает выход карбонизата пеко-коксовой массы. Термическая обработка электродного пека марки В, повышает прочность карбонизата пеко-коксовой массы. Показано, что термоокисление существенно повышает выход и прочность карбонизата пеко-коксовой массы.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Галигузов А.А., Малахо А.П., Авдеев В.В., Рогозин А.Д. Сравнительные характеристики каменноугольных пеков: качественный анализ, стабильность свойств при хранении и термическая стабильность // Изв. высш. учеб. заведений. Сер. Химия и хим. технология. – 2015. – Т. 58, № 12. – С. 55-57.
2. Чистяков А.Н. Кинетика термического и термоокислительного превращения каменноугольного пека // Кокс и химия. – 1978. – № 11. – С. 38-40.
3. Lü X., Jian X., Yanqing L., Jie L., Zhao F., Yan S., Liu Y. Effects of pitches modification on properties of TiB₂-C composite cathodes // TMS Light Metals. – 2009. – No.1. – P. 1-5.
4. Толмачева Т.В., Бервено В.П., Григорьев В.М. Связь значения температуры размягчения смеси и компонентов каменноугольного пека связующего // Ползуновский вестн. – 2011. – № 4-1. – С. 206-208.
5. Ковалев Р.Ю., Никитин А.П. Исследование влияния термообработки электродных пеков на выход продуктов карбонизации // Химия в интересах устойчивого развития. – 2024. – Т. 32, № 6. – С. 839-844.
6. Ковалев Р.Ю. Оценка перспектив использования термоокисления электродного пека для получения высокотемпературного пека связующего // От химии к технологии шаг за шагом. – 2025. – Т. 6, № 4. – С. 35-49.
7. Ковалев Р.Ю., Никитин А.П. Исследование низкотемпературного термоокисления в тонком слое каменноугольных пеков // Кокс и химия. – 2025. – № 6. – С. 45-52.

8. Ковалев Р.Ю., Никитин А.П. Влияние термоокисления на прочностные характеристики продуктов низкотемпературной карбонизации электродного пека // Инженерные технологии. – 2025. – № 4(12). – С. 111-118.
9. Черкасова Т.Г., Неведров А.В., Папин А.В. Каменноугольный пек атмосферно-вакуумной перегонки каменноугольной смолы // Уголь. – 2024. – № 4(1179). – С. 27-30.
10. Долматов Л.В., Ахметов А.Ф., Долматов А.В. Получение вакуумотогнанного пека, сырья для техуглерода и нефтяного антисептика с применением активирующей добавки // Башкирский химический журнал. – 2013. – Т. 20, № 4. – С. 72-75.
11. Мартюшева Е.П., Абатуров А.Л., Кисельков Д.М., Москалев И.В. Влияние одностенных нанотрубок на свойства синтетических пеков из тяжелой смолы пиролиза // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Химическая технология и биотехнология. – 2019. – № 4. – С. 73-86.
12. Бурюкин Ф.А., Сафин В.А., Кузнецов П.Н., Косицына С.С., Обухова А.В., Кузнецова Л.И., Исмагилов З.Р. Сравнительный анализ свойств экстрактивных и каменноугольных пеков // Химия в интересах устойчивого развития. – 2019. – Т. 27, № 6. – С. 568-575.
13. Уткин Ю.А., Янко Э.А., Соловейчик Э.Я., Страхов В.М. Об оценке качества каменноугольного пека как связующего в производстве анодов // Кокс и химия. – 2012. – № 9. – С. 17-21.
14. Базегский А.Е., Школлер М.Б. Исследование процесса термического растворения угля с целью получения связующего для огнеупорных масс. Сообщение 1. Получение связующего // Известия высших учебных заведений. Черная металлургия. – 2016. – Т. 59, № 8. – С. 517-522.
15. Глушкевич М.А., Пинаев А.А., Дошлов И.О., Матренинский К.Е., Кочеткова Д.А., Зельберг А.Б. Возможность применения продуктов переработки тяжелых нефтяных остатков при производстве анодной массы // Вестник МАНЭБ. – 2018. – Т. 23, № 2. – С. 134-135.
16. Куks И.В., Дошлов О.И., Лубинский М.И., Дошлов И.О., Ёлшин Н.А. Современные тенденции применения тяжелой смолы пиролиза в производстве анодной массы // Нефтепереработка и нефтехимия. Научно-технические достижения и передовой опыт. – 2010. – № 6. – С. 33-36.
17. Лапаев И.И., Шахрай С.Г., Шарыпов Н.А., Будник Е.В. Пат. РФ № 2464360. Способ производства анодной массы. – Оpubл. 20.10.2012.
18. Суворов С.А., Бочаров С.В., Алексеева Н.В., Можжерин А.В., Сакулин А.В., Новиков А.Н., Салагина Г.Н., Штерн Е.А. Пат. №

2171243 РФ. Состав и способ образования массы карбонированных огнеупоров. – Оpubл. 27.07.2001.

19. Лазарев В.Д., Махалова Н.П., Тарасевич Н.И., Петрушева Е.Л., Кравченко В.И., Громов Б.С., Пак Р.В. Патент № 2116383 РФ. Способ производства анодной массы. – Оpubл. 27.07.1998.

20. Гаврилюк О.М., Ковалев Р.Ю., Исмагилов З.Р. Оработка технологии получения высокотемпературного пека // ХимРеактор-25: сборник тезисов XXV международной конференции по химическим реакторам. – Новосибирск: Институт катализа им. Г.К. Борескова СО РАН, 2023. – С. 306-307.

21. Гайсаров М.Г., Мальцев Л.Д., Мочалов (Вухин) В.В. О природе $\alpha 1$ -фракции пека и ее влиянии на качество углеродистых изделий // Кокс и химия. – 1981. – № 10. – С. 37-40.

22. Сидоров О.Ф., Селезнев А.Н. Перспективы производства и совершенствования потребительских свойств каменноугольных электродных пеков // Российский химический журнал. – 2006. – Т. L, № 1. – С. 16-24.

23. Ковалев Р.Ю. Влияние термообработки на выход карбонизатов среднетемпературных электродных пеков // Химия и химическая технология: достижения и перспективы: материалы I международной VII Всероссийской конференции, Кемерово, 27–29 ноября 2024 года. – Кемерово: Кузбасский государственный технический университет им. Т.Ф. Горбачева, 2025. – С. 222.1-222.5.

REFERENCES

1. Galiguzov A.A., Malakho A.P., Avdeev V.V., Rogozin A.D. Sravnitel'nye kharakteristiki kamennougol'nykh pekov: kachestvennyy analiz, stabil'nost' svoystv pri khraneni i termicheskaya stabil'nost' [Comparative characteristics of coal tar pitches: qualitative analysis, storage stability and thermal stability] // Izv. vyssh. ucheb. zavedeniy. Ser. Khimiya i khim. tekhnologiya. – 2015. – T. 58, № 12. – S. 55-57.

2. Chistyakov A.N. Kinetika termicheskogo i termookislitel'nogo prevrashcheniya kamennougol'nogo peka [Kinetics of thermal and thermooxidative conversion of coal tar pitch] // Koks i khimiya. – 1978. – № 11. – S. 38-40.

3. Lü X., Jian X., Yanqing L., Jie L., Zhao F., Yan S., Liu Y. Effects of pitches modification on properties of TiB₂-C composite cathodes // TMS Light Metals. – 2009. – No. 1. – P. 1-5.

4. Tolmacheva T.V., Berveno V.P., Grigor'ev V.M. Svyaz' znacheniya temperatury razmyagcheniya smesi i komponentov kamennougol'nogo peka svyazuyushchego [Relationship between the softening point of the mixture and the components of coal tar pitch binder] // Polzunovskiy vestn. – 2011. – № 4-1. – S. 206-208.

5. Kovalev R.Yu., Nikitin A.P. Issledovanie vliyaniya termoobrabotki elektrodnykh pekov na vykhod produktov karbonizatsii [Study of the effect of heat treatment of electrode pitches on the yield of carbonization products] // Khimiya v interesakh ustoychivogo razvitiya. – 2024. – T. 32, № 6. – S. 839-844.
6. Kovalev R.Yu. Otsenka perspektiv ispol'zovaniya termookisleniya elektrodnogo peka dlya polucheniya vysokotemperaturnogo peka svyazuyushchego [Evaluation of the prospects for using electrode pitch thermo-oxidation to obtain high-temperature binder pitch] // Ot khimii k tekhnologii shag za shagom. – 2025. – T. 6, № 4. – S. 35-49.
7. Kovalev R.Yu., Nikitin A.P. Issledovanie nizkotemperaturnogo termookisleniya v tonkom sloe kamennougol'nykh pekov [Study of low-temperature thermooxidation in a thin layer of coal tar pitches] // Koks i khimiya. – 2025. – № 6. – S. 45-52.
8. Kovalev R.Yu., Nikitin A.P. Vliyanie termookisleniya na prochnostnye kharakteristiki produktov nizkotemperaturnoy karbonizatsii elektrodnogo peka [Influence of thermo-oxidation on the strength characteristics of low-temperature carbonization products of electrode pitch] // Inzhenernye tekhnologii. – 2025. – № 4(12). – S. 111-118.
9. Cherkasova T.G., Nevedrov A.V., Papin A.V. Kamennougol'nyy pek atmosferno-vakuumnoy peregonki kamennougol'noy smoly [Coal tar pitch of atmospheric-vacuum distillation of coal tar] // Ugol'. – 2024. – № 4(1179). – S. 27-30.
10. Dolmatov L.V., Akhmetov A.F., Dolmatov A.V. Poluchenie vakuumotognannogo peka, syr'ya dlya tekhnologicheskoy i neftyanogo antiseptika s primeneniem aktiviruyushchey dobavki [Production of vacuum-distilled pitch, raw material for carbon black and petroleum antiseptic using an activating additive] // Bashkirskiy khimicheskii zhurnal. – 2013. – T. 20, № 4. – S. 72-75.
11. Martysheva E.P., Abaturov A.L., Kisel'kov D.M., Moskalev I.V. Vliyanie odnostennykh nanotrubok na svoystva sinteticheskikh pekov iz tyazheloy smoly piroliza [Influence of single-walled nanotubes on the properties of synthetic pitches from heavy pyrolysis tar] // Vestnik Permskogo natsional'nogo issledovatel'skogo politekhnicheskogo universiteta. Khimicheskaya tekhnologiya i biotekhnologiya. – 2019. – № 4. – S. 73-86.
12. Buryukin F.A., Safin V.A., Kuznetsov P.N., Kositsyna S.S., Obukhova A.V., Kuznetsova L.I., Ismagilov Z.R. Sravnitel'nyy analiz svoystv ekstraktivnykh i kamennougol'nykh pekov [Comparative analysis of the properties of extractive and coal tar pitches] // Khimiya v interesakh ustoychivogo razvitiya. – 2019. – T. 27, № 6. – S. 568-575.
13. Utkin Yu.A., Yanko E.A., Soloveychik E.Ya., Strakhov V.M. Ob otsenke kachestva kamennougol'nogo peka kak svyazuyushchego v

proizvodstve anodov [On the quality assessment of coal tar pitch as a binder in the production of anodes] // Koks i khimiya. – 2012. – № 9. – S. 17-21.

14. Bazegskiy A.E., Shkoller M.B. Issledovanie protsessa termicheskogo rastvoreniya uglya s tsel'yu polucheniya svyazuyushchego dlya огнеупорных масс. Soobshchenie 1. Poluchenie svyazuyushchego [Research on the process of thermal dissolution of coal in order to obtain a binder for refractory masses. Message 1. Obtaining a binder] // Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Chernaya metallurgiya. – 2016. – T. 59, № 8. – S. 517-522.

15. Glushkevich M.A., Pinaev A.A., Doshlov I.O., Matreninskiy K.E., Kochetkova D.A., Zel'berg A.B. Vozmozhnost' primeneniya produktov pererabotki tyazhelykh neftyanykh ostatkov pri proizvodstve anodnoy massy [The possibility of using heavy oil residue processing products in the production of anode paste] // Vestman MANEB. – 2018. – T. 23, № 2. – S. 134-135.

16. Kuks I.V., Doshlov O.I., Lubinskiy M.I., Doshlov I.O., Yolshin N.A. Sovremennye tendentsii primeneniya tyazheloy smoly piroliza v proizvodstve anodnoy massy [Modern trends in the use of heavy pyrolysis resin in the production of anode paste] // Neftepererabotka i neftekhimiya. Nauchno-tehnicheskie dostizheniya i peredovoy opyt. – 2010. – № 6. – S. 33-36.

17. Lapaev I.I., Shakhrai S.G., Sharypov N.A., Budnik E.V. Pat. RF № 2464360. Sposob proizvodstva anodnoy massy. – Opubl. 20.10.2012.

18. Suvorov S.A., Bocharov S.V., Alekseeva N.V., Mozhzherin A.V., Sakulin A.V., Novikov A.N., Salagina G.N., Shtern E.A. Pat. № 2171243 RF. Sostav i sposob obrazovaniya massy karbonirovannykh огнеупоров. – Opubl. 27.07.2001.

19. Lazarev V.D., Makhalova N.P., Tarasevich N.I., Petrusheva E.L., Kravchenko V.I., Gromov B.S., Pak R.V. Patent № 2116383 RF. Sposob proizvodstva anodnoy massy. – Opubl. 27.07.1998.

20. Gavrilyuk O.M., Kovalev R.Yu., Ismagilov Z.R. Otrabotka tekhnologii polucheniya vysokotemperaturnogo peka [Development of technology for producing high-temperature pitch] // KhimReaktor-25: sbornik tezisov XXV mezhdunarodnoy konferentsii po khimicheskim reaktoram. – Novosibirsk: Institut kataliza im. G.K. Boreskova SO RAN, 2023. – S. 306-307.

21. Gaysarov M.G., Mal'tsev L.D., Mochalov (Vukhin) V.V. O prirode a1-frazksii peka i ee vliyanii na kachestvo uglerodistykh izdeliy [On the nature of the a1 fraction of pitch and its effect on the quality of carbon products] // Koks i khimiya. – 1981. – № 10. – S. 37-40.

22. Sidorov O.F., Seleznev A.N. Perspektivy proizvodstva i sovershenstvovaniya potrebitel'skikh svoystv kamennougol'nykh elektrodnykh pekov [Prospects for the production and improvement of

consumer properties of coal-based electrode tars] // Rossiyskiy khimicheskiy zhurnal. – 2006. – T. L, № 1. – S. 16-24.

23. Kovalev R.Yu. Vliyanie termoobrabotki na vykhod karbonizatorov srednetemperaturnykh elektrodnykh pekov [Effect of heat treatment on the yield of carbonizates of medium-temperature electrode pitches] // Khimiya i khimicheskaya tekhnologiya: dostizheniya i perspektivy: materialy I mezhdunarodnoy VII Vserossiyskoy konferentsii, Kemerovo, 27–29 noyabrya 2024 goda. – Kemerovo: Kuzbasskiy gosudarstvennyy tekhnicheskii universitet im. T.F. Gorbacheva, 2025. – S. 222.1-222.5.

Информация об авторах

Р.Ю. Ковалев – кандидат физико-математических наук, научный сотрудник.

Information about the authors

R.Yu. Kovalev – Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Research Fellow.

Статья поступила в редакцию 00.00.2026; принята к публикации 00.00.2026.

The article was submitted 00.09.2026; accepted for publication 00.00.2026.

ХИМИЧЕСКИЕ НАУКИ

Научная статья

УДК 547.541.3

DOI 10.21510/3034-266X-2026-1-97-109

ЭЛЛАГОВАЯ КИСЛОТА КАК РЕГУЛЯТОР РОСТА РАСТЕНИЙ

*Айтакин Халидшах гызы Мовсумова¹, Чингиз Князь оглу
Расулов², Айнура Миргасан гызы Мамедова³, Гюнай Заман
гызы Гейдарли⁴*

*^{1,2,3,4}Институт нефтехимических процессов Министерства
науки и образования Азербайджана, Баку, Азербайджан
rchk49@mail.ru*

Аннотация. Эллаговая кислота по своей химической структуре представляет собой дилактон гексагидроксидифеновой кислоты, и относится к группе низкомолекулярным фенольных соединений, Она играет очень важную роль в биологических процессах, протекающих в растительных организмах. Эллаговая кислота встречается более чем в 700 видах высших растений. Основными растительными источниками получения этой кислоты могут быть растения рода ольха, берёза, грецкий орех, каштан, дуб. Эллаговая кислота играет важную роль и выполняет различные функции в процессе жизнедеятельности растительных организмов. Анализ результатов исследований в области применения эллаговой кислоты в качестве фиторегулятора роста растений позволяет сделать однозначный вывод о наличии рост регулирующих свойств этого соединения. На основании представленных результатов можно заключить, что эллаговая кислота играет важную роль для преодоления стрессовых состояний у растений (солевой стресс, засуха, осмотический стресс и др); эта кислота выполняет важные функции в процессе гравитропизма; с другой стороны, эллаговая кислота оказывает непосредственное влияние на экспрессию белка; в формировании эллаговой кислоты могут принимать непосредственное участие микроорганизмы; различное содержание эллаговой кислоты в конкретном растении может оказывать влияние на его свойства; кроме того, эллаговая кислота играет важную роль в процессе замедления старения семян. Полученные результаты создают широкие перспективы для проведения дальнейших систематических исследований в области

применения эллаговой кислоты в качестве фиторегулятора растительных организмов.

Ключевые слова: фиторегуляторы роста растений, стимуляторы роста, фитогормоны, эллаговая кислота, фенольные соединения, рост регулирующие свойства

Для цитирования: Мовсумова А.Х., Расулов Ч.К., Мамедова А.М., Гейдарли Г.З. Эллаговая кислота как регулятор роста растений // Вестник Башкирского государственного педагогического университета им. М.Акмиллы. Серия: Естественные науки. 2026. № 1. С. 97-109.

CHEMICAL SCIENCES

Original article

ELLAGIC ACID AS A PLANT GROWTH REGULATOR

Aytakin Kh. Movsumova¹, Chingiz Q. Rasulov², Aynura M. Mammadova³, Gunay Z. Heydarli⁴

*^{1,2,3,4}Institute of Petrochemical Processes of the Ministry of Science and Education of Azerbaijan, Baku
rchk49@mail.ru*

Abstract. Ellagic acid, by its chemical structure, is a dilactone of hexahydroxydiphenic acid and belongs to the group of low-molecular phenolic compounds. It plays a very important role in biological processes occurring in plant organisms. Ellagic acid is found in more than 700 species of higher plants. The main plant sources of this acid can be plants of the genus alder, birch, walnut, chestnut, oak. Ellagic acid plays an important role and performs various functions in the life process of plants. Analysis of the results of studies in the field of ellagic acid use as a plant growth phyto regulator allows us to make an unambiguous conclusion about the presence of growth-regulating properties of this compound. Based on the presented results, it can be concluded that ellagic acid plays an important role in overcoming stressful conditions in plants (salt stress, drought, osmotic stress, etc.); this acid performs important functions in the process of gravitropism; on the other hand, ellagic acid has a direct effect on protein expression; Microorganisms may be directly involved in the formation of ellagic acid; varying ellagic acid levels in a given plant may influence its properties; furthermore, ellagic acid plays an important role in slowing seed aging. The obtained results open up broad prospects for further systematic research into the use of ellagic acid as a plant phyto regulator.

Keywords: acylation reaction, alcohols, primary, secondary and tertiary alcohols, application of acylated derivatives

For citing: Movsumova A.Kh., Rasulov Ch.Q., Mammadova A.M., Heydarli G.Z. Ellagic acid as plant growth regulator // Bulletin of Bashkir State Pedagogical University named after M. Akmully. Series: Natural Sciences. 2026. №1. pp. 97-109.

Эллаговая кислота по своей химической структуре представляет собой дилактон гексагидроксидифеновой кислоты, и относится к группе низкомолекулярным фенольных соединений, Она играет очень важную роль в биологических процессах, протекающих в растительных организмах. Эллаговая кислота встречается более чем в 700 видах высших растений. Основными растительными источниками получения этой кислоты могут быть растения рода ольха, берёза, грецкий орех, каштан, дуб.

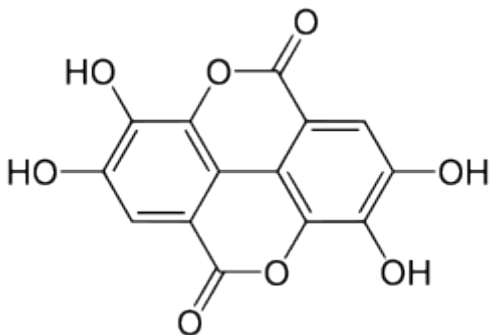


Рис. 1. – Химическое строение эллаговой кислоты

В последние годы в научной литературе появляются сообщения о роли эллаговой кислоты в качестве регулятора роста растений, об ее участии в различных физиологических процессах, имеющих место в растительных организмах. В этой работе нами проанализированы результаты исследований, проведенных в этой области

Методология. Представленная работа включает результаты исследований, осуществленных в течение 2000-2025 гг в области применения эллаговой кислоты и ее функционально-замещенных производных в качестве регуляторов роста растений с использованием широкой базы данных рецензируемых статей (Scopus, Web of Science, PubMed, eLibrary). На основании полученных результатов исследований осуществлена группировка по тематическим блокам

Результаты исследований.

Исследования по определению фиторегуляторных свойств галловой кислоты можно классифицировать по следующим основным направлениям:

1) Влияние эллаговой кислоты на преодоление стрессовых состояний (солевой стресс, засуха, затопление, осмотический стресс)

Целью исследования [1] является оценка эффективности эллаговой кислоты (ЭА) в смягчении стресса, вызванного солью, и повышении устойчивости пшеницы (однодольного растения) и нута (двудольного растения). Эксперимент включал четыре группы обработки: контрольную (К), обработку 12,5 мкМ ЭА, обработку 100 мМ солью (NaCl-S) и комбинированную обработку 12,5 мкМ ЭА и 100 мМ солью (S + ЭА). Для определения роли экзогенной ЭА в смягчении солевого стресса оценивались ключевые физиологические (например, эффективность фотосинтеза: F_v/F_m , F_v/F_o , F_o/F_m), ростовые и биохимические реакции, включая активность антиоксидантных ферментов. Применение ЭА эффективно смягчило солевой стресс у пшеницы и нута за счет повышения относительной скорости роста (RGR) и относительного содержания воды (RWC). ЭА снизил маркеры окислительного стресса, снизив уровни H_2O_2 на 16 % у пшеницы и на 26 % у нута, и снизил содержание ТБК, особенно у пшеницы. Эффективность фотосинтеза стабилизировалась, особенно у пшеницы, о чем свидетельствует улучшение параметров OJIP. Активность антиоксидантных ферментов (CAT, POX) увеличилась в ответ на ЭА, причем пшеница показала большую активность в условиях стресса. ЭА частично восстановил метаболизм азота, при этом активность GS и GOGAT улучшилась при комбинированной обработке ЭА и солью, более выражено у пшеницы. ЭА усилил окислительно-восстановительный гомеостаз, при этом пшеница показала значительное увеличение tAsA/DHA (76 %) и GSH/GSSG (8 %), в то время как нут не показал никаких изменений в tAsA/DHA и снижение GSH/GSSG при обработке солью + ЭА. В целом ЭА повысила устойчивость к соли за счет усиления антиоксидантной защиты, улучшения усвоения азота и стабилизации фотосинтеза, при этом наблюдались видоспецифические различия в характере реакции.

В исследовании [2] изучается потенциал эллаговой кислоты (ЭА) для смягчения последствий засухи и стрессов, связанных с алюминием (Al^{3+}), у кукурузы путем изучения различных морфофизиохимических параметров и экспрессии генов. Кукуруза (*Zea mays L.*) служит важнейшим мировым источником продовольствия, но ее рост и продуктивность существенно сдерживаются засухой и стрессами, связанными с алюминием (Al^{3+}), которые приводят к нарушению развития корней, повышению уровня активных форм кислорода (АФК), снижению эффективности фотосинтеза и снижению поглощения воды и минералов. Недавно была идентифицирована эллаговая кислота (ЭА), полифенольное соединение с мощными

антиоксидантными свойствами, которая играет роль в регуляции роста растений и усилении механизмов устойчивости к стрессу. Однако конкретные механизмы, посредством которых ЭА способствует устойчивости к Al^{3+} и/или засухе у растений, остаются в значительной степени неизвестными. Настоящее исследование было проведено с целью изучения защитной роли ЭА (100 мкг/мл) в некоторых морфо-физиохимических параметрах и профилях экспрессии некоторых генов, связанных со стрессом (ZmCPK22, ZmXTH1, ZmHIPP4, ZmSGR, Zmpsba, ZmAPX1 и ZmGST1) при засухе (полиэтиленгликоль-6000 (ПЭГ-6000), - 0,6 МПа) и стрессе хлорида алюминия ($AlCl_3$, 60 мкМ) на *Zea mays* Ada 523, выращиваемой в питательном растворе. Эти результаты показали, что стрессы, вызванные засухой и хлоридом алюминия, повлияли на длину корней, высоту побегов, содержание H_2O_2 , содержание хлорофилла (SPAD), утечку электролитов (EL) и относительное содержание воды (RWC) кукурузы с несколькими значительными ($P < 0,05$) сдвигами вверх и вниз. Напротив, обработка ЭА (100 мкг/мл) оказывала смягчающее действие на эти параметры. Более того, ЭА также снижал активность антиоксидантных ферментов (супероксиддисмутазы (СОД), пероксидазы (ПОД) и аскорбатпероксидазы (АПР)) и регулировал экспрессию вышеупомянутых генов. Полученные данные свидетельствуют о том, что обработка ЭА может эффективно улучшать экспрессию генов и морфо-физиохимические параметры в условиях засухи и/или воздействия Al^{3+} , тем самым повышая адаптивность проростков к этим стрессам.

Соленый стресс ограничивает рост и продуктивность растений во многих регионах мира. Растения используют различные стратегии, чтобы минимизировать эффект солевого стресса [3]. Был проведен эксперимент в горшке, чтобы изучить морфологические и физиологические изменения, вызванные у рапса (*Brassica napus*) экзогенным внесением эллаговой кислоты (ЭА) в условиях засоления. ЭА является антиоксидантом, который, как ожидается, снижает эффект солевого стресса. Семена двух сортов рапса, *Rainbow* и *Oscar*, замачивали в течение 6 часов с различными концентрациями ЭА (0, 55 и 110 мкг/мл). Замоченные семена высевали в небольшие горшки. Солевой стресс был вызван на растениях путем применения растворов NaCl различной концентрации (0, 60 и 120 мМ), а продолжительность стресса составила четыре недели. Соленый стресс снизил всхожесть семян и нарушил морфологические и физиологические признаки *B. napus*. Применение ЭА для замачивания семян снижало влияние засоления и усиливало рост растений. В целом, можно подтвердить значительную роль ЭА в повышении солеустойчивости *B. napus*.

Исследование [4] посвящено изучению влияния эллаговой кислоты (ЭА) на снижение солевого стресса у растений пшеницы и нута. Засоление представляет собой серьезную проблему для мирового сельского хозяйства, поскольку оно нарушает жизненно важные физиологические функции растений, особенно фотосинтез, вызывая ионный дисбаланс и окислительные повреждения. В данном исследовании изучается ЭА, фенольное соединение, известное своими антиоксидантными свойствами, и его способность противодействовать пагубному воздействию солевого стресса. В этом эксперименте растения пшеницы и нута выращивались в контролируемых условиях и подвергались воздействию засоления (100 мМ NaCl) как с внесением ЭА (12,5 мкМ), так и без него. Регистрировались различные параметры, такие как сырая и сухая биомасса, концентрация пролина и скорость газообмена. Результаты показали, что солевой стресс резко снижал как биомассу, так и газообмен растений, но внесение ЭА частично смягчало эти негативные эффекты. ЭА увеличил как сырую, так и сухую массу, минимизировал утечку электролитов и повысил уровень пролина, особенно у растений нута. Кроме того, параметры газообмена, включая усвоение углерода (A), устьичную проводимость (gs) и скорость транспирации (E), улучшились при комбинированной обработке ЭА и солями по сравнению с одним солевым стрессом. Исследование приходит к выводу, что ЭА служит защитным средством от окислительного повреждения, вызванного засолением, улучшая параметры роста и повышая производительность фотосинтеза. Это говорит о том, что ЭА может быть ценным подходом к повышению устойчивости растений к засолению в сельскохозяйственных системах.

Проращение семян и рост сеянцев являются критическими фазами жизни растений, на которые неблагоприятно влияют различные факторы окружающей среды. Доступность воды является одним из основных факторов, ограничивающих продуктивность многих сельскохозяйственных культур [5]. Данное исследование было проведено для оценки изменений чувствительности сеянцев нута к осмотическому стрессу путем предварительной обработки семян нута низкой концентрацией (50 ppm) эллаговой кислоты. Эллаговая кислота была выделена и очищена из *Padina boryana* Thivy с помощью хроматографических методов. После обработки эллаговой кислотой семена проращивали в течение 10 дней при различных осмотических потенциалах (0, -0,2, -0,4, -0,6 и -0,8 МПа) растворов полиэтиленгликоля (ПЭГ). Обработка эллаговой кислотой ускорила проращение и рост сеянцев нута в условиях осмотического стресса. В соответствии с ускоренным ростом, обработанные эллаговой кислотой сеянцы также показали значительное увеличение общей антиоксидантной емкости (FRAP), а также увеличение содержания

совместимых растворенных веществ (пролина и глицинбетаина). Кроме того, обработанные сеянцы показали более низкие уровни перекисного окисления липидов (MDA), утечки электролитов (EL) и H_2O_2 . Содержание флавоноидов и восстановленного глутатиона (GSH), а также активность антиоксидантных ферментов [каталаза (CAT), пероксидаза (POX), супероксиддисмутаза (SOD), глутатионредуктаза (GR)] и ферментов пути шикимовой кислоты [фенилаланинаммиаклиаза (PAL) и халконсинтаза (CHS)] показали значительное увеличение при предварительной обработке эллаговой кислотой по сравнению с необработанными сеянцами, особенно при умеренных значениях осмотического стресса (-0,2 и -0,4 МПа). Полученные результаты свидетельствуют о том, что обработка эллаговой кислотой может повысить устойчивость проростков нута к осмотическому стрессу за счет снижения уровня H_2O_2 и повышения антиоксидантной активности.

2) Роль эллаговой кислоты в процессе замедления старения семян

Чтобы уменьшить эффекты старения семян, можно использовать антиоксиданты и фенольные соединения [6]. В этот список химических веществ включена эллаговая кислота. Экспериментальная стратегия использовалась в 2019 и 2020 годах, чтобы выяснить, как эллаговая кислота влияет на качество соевых бобов. Факторный эксперимент был проведен в рандомизированном полном блочном дизайне (RCBD) с тремя повторениями. Обработки включали два начальных качества семян (несостаренные и состаренные семена) и эллаговую кислоту на четырех уровнях (контроль (ноль), праймирование семян, опрыскивание листьев и праймирование семян + опрыскивание листьев в концентрации 50 мг/л). Процент белка, процент масла и семенная продуктивность у растений снижались при старении семян. Растения, выращенные из семян, обработанных эллаговой кислотой, показали увеличение урожайности семян на 39,2 процента. Урожайность семян увеличилась на 45,3% после обработки листьев эллаговой кислотой. Кроме того, праймирование и опрыскивание листьев эллаговой кислотой увеличили выход белка на 60,6%. В заключение, согласно результатам данного исследования, можно предположить, что использование эллаговой кислоты в качестве праймирования и опрыскивания листьев может снизить негативное воздействие старых семян.

3) Определение взаимосвязи между содержанием эллаговой кислоты в растении и другими факторами

В исследовании [7], проведенном в провинции Испарта (Турция) в 2005 и 2006 годах, было определено, как некоторые внесения удобрений, применяемые при органическом и традиционном

выращивании клубники, влияли на содержание эллаговой кислоты и нитратов в плодах. В исследовании было проведено 18 различных обработок на клубнике сорта Камароза. Растения были высажены как рассада фриго в третью неделю июля и политы методом капельного орошения. Согласно результатам, содержание эллаговой кислоты варьировалось от 0,487 до 0,498 мг/100 г, и не было выявлено существенных различий между значениями. Содержание нитратов варьировалось от 1,43 до 4,57 мг/кг, и были выявлены существенные различия между значениями.

Эллаговая кислота (ЭА) – это полифенольная кислота природного происхождения, встречающаяся в 46 различных фруктах и других растительных продуктах питания [8]. Большая часть коры, включая кору каштанов, богата полифенольными соединениями, которые могут защищать деревья от патогенов и вредителей. В настоящем исследовании была отобрана древесина каштана из пяти регионов Греции, и количество эллаговой кислоты (ЭА), присутствующей до и после гидролиза, было проанализировано с помощью ВЭЖХ и УФ-детектирования. Авторы обнаружили, что количество ЭА, как правило, было выше после гидролиза. Также наблюдались значительные различия в содержании ЭА в образцах коры, полученных из разных регионов Греции.

4) Микробное производство эллаговой кислоты

Эллаговая кислота в последнее время набирает популярность благодаря своим различным свойствам, таким как антимуtagenные, антиканцерогенные, антиоксидантные и противовирусные, а также многим другим полезным для здоровья человека свойствам [9]. Настоящее исследование сосредоточено на микробном производстве эллаговой кислоты из промышленных отходов переработки мякоти манго, альтернативном методу традиционной химической экстракции. Проведенные эксперименты показали, что 100 мкг/мл эллаговой кислоты было произведено *Micrococcus luteus* из 9% отходов мякоти манго, а оптимизация производства эллаговой кислоты со средой Понтекорво, дополненной 5,0 г эллагитаннина, дала $37,80 \pm 0,30$ мг/г при pH 5,0, температуре 30 °C, нитрате аммония (источник азота), глюкозе (источник углерода) с 1,5% инокулятов после 24 часов инкубации. Синтез эллаговой кислоты был дополнительно подтвержден с помощью стандартной эллаговой кислоты. Доказаны такие свойства, как устойчивость растений к засухе, антимикробная, противопаразитарная и противораковая активность. Эллаговая кислота продемонстрировала потенциальные возможности применения, и дальнейшие исследования в области разработки продукта являются многообещающими.

5) Влияние эллаговой кислоты на гравитропизм

На гравитропизм влияют многие экзогенные факторы, такие как стрессы окружающей среды [10]. В настоящем исследовании было охарактеризовано влияние эллаговой кислоты (ЭА) на гравитропическую кривизну корней *Arabidopsis thaliana* (L.) Heynh. Экзогенное внесение ЭА влияло на гравитропические реакции корней в зависимости от концентрации. Исследования с окрашиванием KI/I показали, что обработка ЭА уменьшала количество крахмальных зерен в корневом чехлике. Одновременно с этим экспрессия ауксин-чувствительного репортерного гена DR5::GFP показала, что перераспределение ауксина в корнях, обработанных ЭА, было менее чувствительным к таковому в контрольных группах при гравитационном стимуле. Более того, экспрессия одного из факторов, облегчающих поток ауксина – PIN2, также подавлялась ЭА. В совокупности наши результаты свидетельствуют о том, что влияние ЭА на гравитропизм корней в значительной степени зависело от уменьшения количества крахмальных зерен и нарушения латерального перераспределения ауксина.

б) Влияние эллаговой кислоты на экспрессию белка

В исследовании [11] изучалось влияние эллаговой кислоты (ЭА) на экспрессию белка в дрожжах и клеточном развитии. Было сформировано четыре группы. Группы: 1) Контрольная группа; группа, культивирующая только дрожжи; 2) Группа эллаговой кислоты (ЭА): группа, которой давали ЭА (10%); 3) Группа с перекисью водорода (H₂O₂): группа, которой давали H₂O₂ (15 мМ); 4) Группа EA + H₂O₂: группа EA (10%) + H₂O₂ (15 мМ). После стерилизации к культурам *Saccharomyces cerevisiae* (*S. cerevisiae*) добавляли ЭА (10%) и H₂O₂ (15 мМ), и культуры выращивали при 30 °C в течение 1 часа, 3 часов, 5 часов и 24 часов (в течение ночи). Рост клеток *S. cerevisiae*, анализ перекисного окисления липидов (МДА) и уровень глутатиона (GSH) анализировали спектрофотометром. Изменения общего белка определяли методом электрофореза в SDS-ПААГ и измеряли методом Брэдфорда. Согласно полученным результатам, по сравнению с группой, получавшей H₂O₂, при применении ЭА наблюдалось ускорение развития клеток (1, 3, 5 и 24 часа), уровня глутатиона и общего синтеза белка (24 часа), в то время как уровень МДА (24 часа) снижался. Эти результаты показывают, что ЭА снижает окислительное повреждение, усиливает рост клеток и оказывает защитное действие, способствуя синтезу белка в культуре *S. cerevisiae*.

Заключение. Таким образом, представленный анализ результатов исследований в области применения эллаговой кислоты в качестве фиторегулятора роста растений позволяет сделать однозначный вывод о наличии рост регулирующих свойств этого

соединения. На основании представленных результатов можно заключить, что

1) эллаговая кислота играет важную роль для преодоления стрессовых состояний у растений (солевой стресс, засуха, осмотический стресс и др);

2) эта кислота выполняет важные функции в процессе гравитропизма;

3) с другой стороны, эллаговая кислота оказывает непосредственное влияние на экспрессию белка;

4) в формировании эллаговой кислоты могут принимать непосредственное участие микроорганизмы;

5) различное содержание эллаговой кислоты в конкретном растении может оказывать влияние на его свойства;

6) кроме того, эллаговая кислота играет важную роль в процессе замедления старения семян.

Полученные результаты создают широкие перспективы для проведения дальнейших систематических исследований в области применения эллаговой кислоты в качестве фиторегулятора растительных организмов.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Yldiztugay F., Ozfidan-Konakci C., Hamurcu M. A comparative study on ellagic acid's role in salt tolerance, growth, antioxidant system, photochemistry and nitrogen metabolism in wheat and chickpea // *Plant Physiology and Biochemistry*. 2025. Vol. 225. pp. 109979-109986.

2. Agar G., Ergul S.Y., Yuce M., Yuksel E.A. Ellagic acid alleviates aluminum and/or drought stress through morpho-physiochemical adjustments and stress-related gene expression in *Zea mays* L // *Environ. Sci. Pollut. Res. Int.* 2024. Vol. 31. N 49. pp. 59521-59532.

3. Khan A., Nazar S., Lanq I., Nawaz H. Effect of ellagic acid on growth and physiology of canola (*Brassica napus* L.) under saline conditions // *Journal of Plant Interactions*. 2017. Vol. 12. N 1. pp. 520-525.

4. Elbasan F. Harnessing the Power of Ellagic Acid: A Natural Shield Against Salt Stress in Wheat and Chickpea // *Aksaray University Journal of Science and Engineering*. 2024. Vol. 8. N 2. pp. 102-113.

5. Nejatbakhsh S., Likhanizadeh M., Razzaghi-Abyaneh M., Jabanshiri Z. The Effects of Ellagic Acid on Growth and Biofilm Formation of *Candida albicans* // *Journal of Medical Microbiology and Infectious Diseases*. 2020. Vol. 8. N 1. pp. 14-18.

6. Arab S., Baradaraj M., Gholami A., Haydari M. The Effect of ellagic acid on physiological traits of plants grown from normal and aged soybean seeds // *Research Square*. 2023. N 3. pp. 1-24.

7. Atasay A., Turemis N. Effects of Some Nutrition Experiments on Ellagic Acid and Nitrate Contents in Fruit in Organic Strawberry Production // Proceedings of the 4-th ISO FAR Scientific Conference «Building Organic Bridges». 2014. Istanbul, Turkey. – pp. 1-4.
8. Vekiari S.A., Lambrinea H., Merkouri P., Gordon M. Ellagic acid in chestnut wood // Acta Horticult. 2009. Vol. 815. N 12. pp. 95-98.
9. Rubavathu A., Murugan A., Visali K. Microbial Production Of Ellagic Acid From Mango Pulp Processing Waste // BioRxiv. 2020. N 3. pp. 595-597.
10. Yan Z.Q., Jin H., Wang D., Yang X.Y., Qin B. The effect of ellagic acid on the root gravitropic response in *Arabidopsis thaliana* // Russian Journal of Plant Physiology. 2015. Vol. 62. pp. 664-669.
11. Ozlem G., Beyaz S., Aslan A. Biological and Oxidative Effect of Ellagic Acid on *Saccharomyces cerevisiae*: A New Way for Culture Developing // Braz. Archiv. Biol. Technol. 2021. Vol. 64. pp. 1002-1005.

REFERENCES

1. Yldiztugay F., Ozfidan-Konakci C., Hamurcu M. Sravnitelnoe issledovanie roli ellagovoi kisloty v soleustoichivosti, roste, antiokislitelnoi sisteme, fotokhimii i azotnom obmene u pshenitsy i nuta. [A comparative study on ellagic acid's role in salt tolerance, growth, antioxidant system, photochemistry and nitrogen metabolism in wheat and chickpea] // Plant Physiology and Biochemistry. 2025. Vol. 225. pp. 109979-109986.
2. Agar G., Ergul S.Y., Yuce M., Yuksel E.A. Ellagovaya kislota smyagchaet vozdeistvie alyuminiya i/ili zasukhi za chet morfo-fiziko-khimicheskikh izmeneniy i ekspressii genov, svyazannykh so stressom u *Zea mays* L. [Ellagic acid alleviates aluminum and/or drought stress through morpho-physiochemical adjustments and stress-related gene expression in *Zea mays* L.] // Environ. Sci. Pollut. Res. Int. 2024. Vol. 31. N 49. pp. 59521-59532.
3. Khan A., Nazar S., Lanq I., Nawaz H. Vliyanie ellagovoi kisloty na rost i fiziologiyu rapsa (*Brassica napus* L.) v usloviyakh zasoleniya. [Effect of ellagic acid on growth and physiology of canola (*Brassica napus* L.) under saline conditions] // Journal of Plant Interactions. 2017. Vol. 12. N 1. pp. 520-525.
4. Elbasan F. Ispolzovanie sily ellagovoi kisloty – estestvennaya zashita ot solevogo stressa u pshenitsy i nuta [Harnessing the Power of Ellagic Acid: A Natural Shield Against Salt Stress in Wheat and Chickpea] // Aksaray University Journal of Science and Engineering. 2024. Vol. 8. N 2. pp. 102-113.
5. Nejatbakhsh S., Likhanizadeh M., Razzaghi-Abyaneh M., Jabanshiri Z. Vliyanie ellagovoi kisloty na rost i obrazovanie bioplenki *Candida albicans* [The Effects of Ellagic Acid on Growth and Biofilm Formation of *Candida*

albicans] // Journal of Medical Microbiology and Infectious Diseases. 2020. Vol. 8. N 1. pp. 14-18.

6. Arab S., Baradaraj M., Gholami A., Haydari M. Vliyanie ellagovoi kisloty na fiziologicheskie kharakteristiki rastenii, vyrashennykh iz normalnykh i starykh semyan soi. [The Effect of ellagic acid on physiological traits of plants grown from normal and aged soybean seeds] // Research Square. 2023. N 3. pp. 1-24.

7. Atasay A., Turemis N. Vliyanie nekotorykh eksperimentov po pitaniyu na sodержanie ellagovoi kisloty i nitratov v plodakh organicheskoi klubniki [Effects of Some Nutrition Experiments on Ellagic Acid and Nitrate Contents in Fruit in Organic Strawberry Production] // Proceedings of the 4-th ISOFAR Scientific Conference «Building Organic Bridges». 2014. Istanbul, Turkey. – pp. 1-4.

8. Vekiari S.A., Lambrinea H., Merkouri P., Gordon M. Ellagovaya kislota v drevesine kashtana [Ellagic acid in chestnut wood] // Acta Horticult. 2009. Vol. 815. N 12. pp. 95-98.

9. Rubavathu A., Murugan A., Visali K. Mikrobnore proizvodstvo ellagovoi kisloty iz otkhodov pererabotki myakoti mango. [Microbial Production Of Ellagic Acid From Mango Pulp Processing Waste]// BioRxiv. 2020. N 3. pp. 595-597.

10. Yan Z.Q., Jin H., Wang D., Yang X.Y., Qin B. Vliyanie ellagovoi kisloty na gravitropnyu reaktsiyu kornei u *Arabidopsis thaliana* / [The effect of ellagic acid on the root gravitropic response in Arabidopsis thaliana] // Russian Journal of Plant Physiology. 2015. Vol. 62. pp. 664-669.

11. Ozlem G., Beyaz S., Aslan A. Biologicheskoe i oksidativnoe vozdeistvie ellagovoi kisloty na *Saccharomyces cerevisiae*: novyi sposob razvitiya kultury. [Biological and Oxidative Effect of Ellagic Acid on Saccharomyces cerevisiae: A New Way for Culture Developing] // Braz. Archiv. Biol. Technol. 2021. Vol. 64. pp. 1002-1005.

Информация об авторах

А.Х. Мовсумова – 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;

А.М. Мамедова – докторант лаборатории «Химия и технология циклоалкилфенолов» ИНХП МНО Азербайджана;

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

Information about the author

A.Kh. Movsumova – 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;

A.M. Mammadova – 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.

Вклад авторов:

A.X. Мовсумова – сбор материала, обработка материала

Ч.К. Расулов – научное редактирование текста, концепция исследования;

A.M. Мамедова – сбор и систематизация материала;

Г.З. Гейдарли – разработка концепции статьи;

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Contribution of the authors:

A.Kh. Movsumova – scientific editing of the text; research concept;

Ch.Q. Rasulov – data collection, data processing;

A.M. Mammadova – collection and systematization of material;

G.Z. Heydarli – development of the article concept.

The authors declare no conflict of interest.

Статья поступила в редакцию 18.01.2026; принята к публикации 25.02.2026.

The article was submitted 18.01.2026; accepted for publication 25.02.2026.

БИОЛОГИЧЕСКИЕ НАУКИ

Научная статья

УДК 638.123.52

DOI 10.21510/3034-266X-2026-1-110-122

**ПЕРВИЧНЫЕ ДАННЫЕ ПОЛЕВЫХ И ЛАБОРАТОРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ СЕВЕРО-БАШКИРСКОГО ЭКОТИПА
*APIS MELLIFERA***

**Венер Нуруллович Саттаров¹, Салават Талгатович
Сагитов^{1,2}, Юлия Раиковна Абдрахимова², Алсу Рифгатовна
Сюндюкова¹, Рустем Абузарович Ильясов³, Алла Юрьевна
Ильясова³, Амиля Венеровна Саттарова¹**

¹Башкирский государственный педагогический университет им.
М. Акмуллы, г. Уфа, Россия, wener5791@yandex.ru

²Региональное отделение РГО в Республике Башкортостан,
Уфа, Россия, abdrakhimova.rgo@internet.ru

³Институт биологии развития им. Н.К. Кольцова РАН, Москва,
Россия, apismell@mail.ru

Аннотация. Региональное отделение Русского географического общества в Республике Башкортостан с 2025 г. приступило к реализации комплексного природоохранного проекта по исследованию северного ареала башкирской популяции пчел. Мероприятия, в рамках проекта, призваны решать следующие задачи: проведение пространственно-ориентированных морфометрических и фенетических изысканий для характеристики субпопуляций пчел на пасеках Аскинского, Татышлинского, Янаульского и Балтачевского районов; анализ генофонда пчел; формирование научно-обоснованной документации для официального признания северо-башкирского экотипа *Apis mellifera mellifera*; разработка и реализация информационно-просветительских кампаний, направленных на широкие слои населения (студенты, школьники, местные жители), с целью трансляции знаний о ценности аборигенных видов животных. Отбор проб проведен в 2025 г. в Аскинском (13 пасек, 100 пчелиных семей) и Татышлинском (12 пасек, 106 семей) районах. Общий объем выборки – 4120 пчел. Фенетическая идентификация позволила установить наличие трех фенотипов (O, 1R и 2R) в выборке. Полученные данные выявили доминирование фенотипа O, что характерно для

среднерусских пчел. Однако популяция пчел Аскинского района характеризуется немного большей фенотипической вариативностью по сравнению с популяцией пчел Татышлинского района, который показывает высокую степень фенетической однородности. Молекулярно-генетическая оценка свидетельствует о существовании в исследуемых территориях двух генетически обособленных групп популяций пчел. Популяции, сгруппированные в верхней ветви дендрограммы, характеризуются как основной резервной популяцией аборигенного генофонда. В противоположность этому, пасеки, расположенные в нижней ветви дендрограммы, имеют заметную примесь генофонда пчел южного происхождения. Полученная структура показывает продолжающийся процесс замещения и гибридизации аборигенной темной лесной пчелы в отдельных хозяйствах, особенно в Аскинском районе, где концентрация синих кластеров была наиболее высока. Сохранение генетической чистоты пасек верхней ветви приобретает особую ценность как стратегический ресурс для устойчивости местных популяций.

Ключевые слова: медоносная пчела, популяция, генофонд, северные районы Республики Башкортостан

Для цитирования: Саттаров В.Н., Сагитов С.Т., Абдрахимова Ю.Р., Сюндюкова А.Р., Ильясов Р.А., Ильясова А.Ю. Первичные данные полевых и лабораторных исследований северо-башкирского экотипа *Apis mellifera* // Вестник Башкирского государственного педагогического университета им. М. Акмуллы. Серия: Естественные науки. 2026. №1. С. 110-122.

BIOLOGICAL SCIENCES

Original article

PRIMARY DATA FROM FIELD AND LABORATORY RESEARCH OF THE NORTH BASHKIR ECOTYPE *APIS MELLIFERA*

**Vener N. Sattarov¹, Salavat T. Sagitov^{1,2}, Yulia R. Abdrakhimova²,
Alsou R. Syundyukova¹, Rustem A. Ilyasov³, Alla Yu. Ilyasova³,
Amilya V. Sattarova¹**

¹Akmulla Bashkir State Pedagogical University, Ufa, Russia,
wener5791@yandex.ru

²Regional branch of the Russian Geographical Society in the
Republic of Bashkortostan, Ufa, Russia,
abdrakhimova.rgo@internet.ru

³Koltzov Institute of Developmental Biology of Russian Academy of
Sciences, Moscow, Russia, apismell@mail.ru

Abstract. Since 2025, the regional branch of the Russian Geographical Society in the Republic of Bashkortostan has been implementing a comprehensive conservation project to study the northern range of the Bashkir bee population. The project's activities are designed to address the following objectives: conducting spatially-oriented morphometric and phenetic surveys to characterize bee subpopulations in apiaries in the Askinsky, Tatyshlinsky, Yanaulsky, and Baltachevsky districts; analyzing the bee gene pool; compiling scientifically-based documentation for the official recognition of the northern Bashkir ecotype of *Apis mellifera mellifera*; and developing and implementing awareness-raising campaigns aimed at the general public (students, schoolchildren, and local residents) to disseminate knowledge about the value of native animal species. Sampling was conducted in 2025 in the Askinsky (13 apiaries, 100 bee colonies) and Tatyshly (12 apiaries, 106 colonies) districts. The total sample size was 4,120 bees. Phenetic identification revealed the presence of three phenes (O, 1R, and 2R) in the sample. The obtained data revealed the dominance of phene O, which is typical of Central Russian bees. However, the bee population of the Askinsky district is characterized by slightly greater phenotypic variability compared to the bee population of the Tatyshly district, which exhibits a high degree of phenetic homogeneity. Molecular genetic assessment indicates the existence of two genetically distinct groups of bee populations in the study areas. Populations grouped in the upper branch of the dendrogram are characterized as the main reserve population of the native gene pool. In contrast, apiaries located in the lower branch of the dendrogram have a significant admixture of southern bee gene pool. The resulting structure demonstrates the ongoing process of replacement and hybridization of the native dark forest bee in certain farms, particularly in the Askinsky district, where the concentration of blue clusters was highest. Maintaining the genetic purity of apiaries in the upper branch is particularly valuable as a strategic resource for the sustainability of local populations.

Keywords: honey bee, population, gene pool, northern regions of the Republic of Bashkortostan

For citation: Sattarov V.N., Sagitov S.T., Abdrakhimova Yu.R., Syundyukova A.R., Ilyasov R.A., Ilyasova A.Yu. Primary data from field and laboratory research of the North Bashkir ecotype *Apis mellifera* // Bulletin of the Bashkir State Pedagogical University named after M. Akmulla. Series: Natural Sciences. 2026. No.1. pp. 110-122.

Полевые исследования проводятся учеными, специалистами и в целом организациями с научной составляющей в разных гуманитарных и естественных науках [1]. В рамках биологических, экологических и

географических наук, такие изысканий занимают центральное место, например в зоологии, энтомологии, ботанике и зоогеографии, что позволяет осуществлять глубокие научные исследования в области сохранения биологического разнообразия.

В данном контексте Кушбокова Д.А. подчеркивает, что биоразнообразие представляет собой один из основных природных и генетических ресурсов России и всего мира. Оно является непреходящей ценностью с ключевым экологическим, социальным, экономическим и эстетическим значением. Биоразнообразие выступает как потенциал самоорганизации биосферы, обеспечивая ее регенерацию и устойчивость к негативным природным и антропогенным воздействиям, а также служит ресурсом для компенсации потерь отдельных биотических элементов. Сохранение биоразнообразия является одной из наиболее актуальных задач современности и неотъемлемой частью концепции перехода человечества к устойчивому развитию [2].

Исследования пчел в экосистемах северной части РБ выявили некоторые двойственные тенденции в популяции медоносной пчелы: наряду с процессами внутривидовой гибридизации, наблюдается частичное сохранение генетически чистых пчелиных семей [3, 4, 5, 6]. Данные локальные «островки» представляют собой важную составляющую часть подвида *Apis mellifera mellifera*. При этом, утрата их несет в себе риск резкого сокращения общей численности аборигенного подвида на территории Российской Федерации, а в долгосрочной перспективе, может спровоцировать исчезновение. Подобное развитие событий имеет риски для устойчивости региональных экосистем, ведет к необратимой потере ценных генетических ресурсов, имеющих статус национального достояния и снижает потенциал для использования их в селекционно-племенных мероприятиях [7, 8, 9, 10, 11, 12, 13].

В связи с этим, Региональное отделение РГО в Республике Башкортостан с 2025 г. приступило к реализации комплексного природоохранного проекта по исследованию северного ареала башкирской популяции пчел [14]. Проект, получивший поддержку от Президентского фонда природы, направлен на разработку стратегии, способствующей сохранению «чистоты», генофонда и биоразнообразия уникального северо-башкирского экотипа *Apis mellifera mellifera*. Мероприятия, в рамках проекта, призваны решать следующие задачи, имеющие научно-практическое и теоретическое значение в области экологии, биологии, пчеловодства и охраны природы:

✓ Проведение пространственно-ориентированных морфологических изысканий для характеристики субпопуляций пчел в

пределах географически обособленных пасек Аскинского, Татышлинского, Янаульского и Балтачевского районов.

✓ Анализ генофонда пчел, образующих данные субпопуляции.

✓ Формирование научно-обоснованной документации для официального признания северо-башкирского экотипа *Apis mellifera mellifera*, как уникальной биогеографической структуры.

✓ Разработка и реализация информационно-просветительских кампаний, направленных на широкие слои населения (студенты, школьники, местные жители), с целью трансляции знаний о ценности аборигенных видов и необходимости сохранения региональной фауны и флоры [14].

Отбор проб проведен в Аскинском (13 пасек, 100 пчелиных семей; по 20 рабочих особей из каждой семьи) и Татышлинском (12 пасек, 106 пчелиных семей; по 20 рабочих особей из каждой семьи) районах (рис. 1). Общий объем выборки - 4120 пчел.

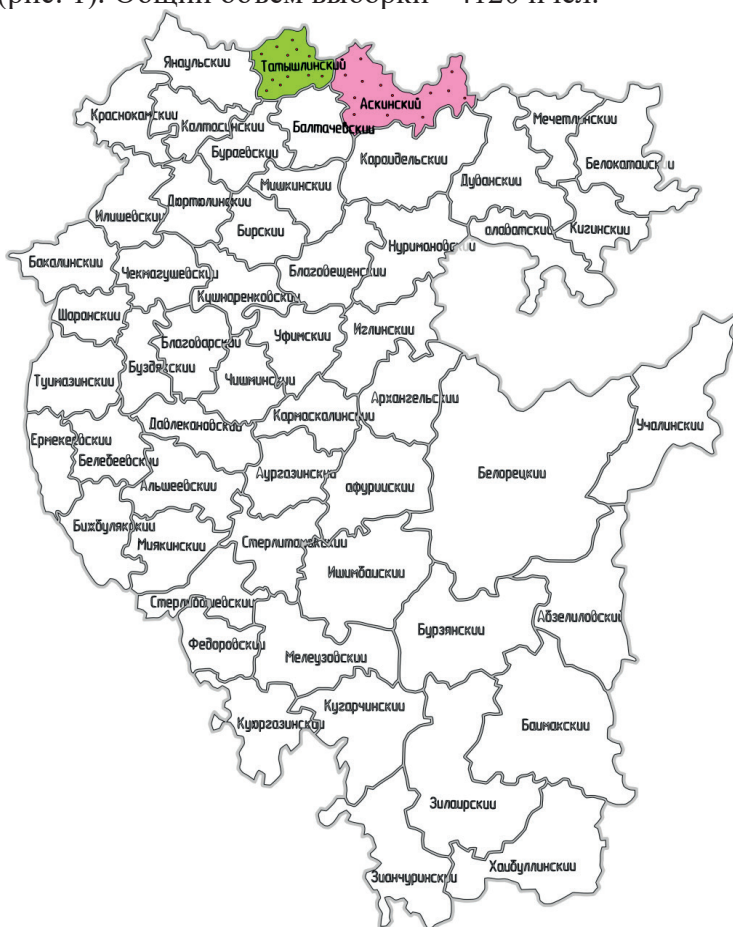


Рис. 1 – Географическая локализация территорий исследований

Фенетические исследования проводилась на основе анализа окраски хитинового покрова с использованием метода Ф. Рутгнера [15], молекулярно-генетическая оценка - на основе полиморфизма межгенного локуса COI-COII мтДНК и 9 микросателлитных локусов.

Фенетическая идентификация позволила установить наличие трех фенов: О, 1R и 2R в популяциях пчел исследованных муниципальных районов (рис. 2).



Рис. 2. – Фены пчел, зарегистрированные в Аскинском и Татышлинском районах

Результаты показывают преобладание фена О, но в популяции пчел Татышлинского района доля фена О достигает 99,8%, что свидетельствует о высокой степени мономорфности популяции (рис. 3).

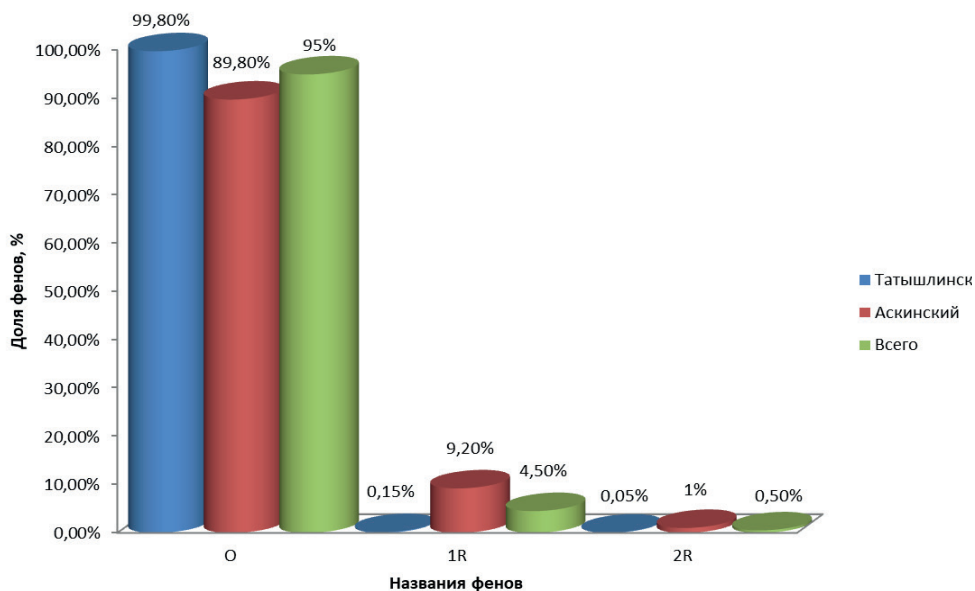


Рис. 3 – Общая доля встречаемости фенов пчел на пасаках Аскинского и Татышлинского районов Республики Башкортостан

В популяции пчел Аскинского района наблюдается несколько большая фенетическая вариативность, при которой встречаемость фена О - 89,8%. Кумулятивный анализ данных по всем исследованным территориям выявляет, что средняя доля встречаемости фена О - 95%. Фены 1R и 2R представлены в исследованных популяциях существенно реже. В Татышлинском районе совокупная доля фенов 1R и 2R не превышает 0,2%, в то время как в Аскинском районе отмечается немного более высокая доля встречаемости данных фенов (1R – 9,2% и 2R – 1%). В масштабе всей выборки фен 1R, в среднем, составил 4,5%, а фен 2R – 0,5%.

Полученные данные выявили доминирование фена О в популяциях пчел Аскинского и Татышлинского районов, что характерно для среднерусских пчел. Однако, популяция пчел первого района характеризуется немного большей фенотипической вариативностью по сравнению с популяцией пчел Татышлинского района, который показывает высокую степень фенетической однородности.

В ходе кластерного анализа молекулярно-генетических данных была построена дендрограмма, отразившая генетическую структуру 25 пасек исследованных районов (Рис. 4).



Рис. 4 – Дендрограмма генетических взаимоотношений исследованных пчел

Верхняя ветвь дендрограммы, окрашенная в красные и зеленые

цвета, объединяет пасеки, сохранившие в наибольшей степени генетическую идентичность с аборигенной линией пчел подвида *Apis mellifera mellifera*. В эту группу входят пасеки Татышлинского района, кроме д. Артаулово, а также ряд пасек Аскинского района. Значительная часть ветви представлена плотным зелёным субкластером, куда вошли в основном пчелы из Татышлинского района, а также с. Кубиязы пасека №2 Аскинского района. Высокая внутригрупповая компактность и минимальное генетическое расхождение внутри данного кластера свидетельствуют о сохранении типичного гаплотипа линии М.

Нижняя ветвь дендрограммы (синий цвет), охватывает пасеки, в геноме пчел которых выявлена существенная интрогрессия южной линии С (*Apis mellifera carnica*). Сюда попали пасека д. Артаулово Татышлинского района, с. Урмиязы, д. Усть-Табаска пасека №1 и 2, Старокучкилде, а также две пасеки д. Барахаевка Аскинского района. Идентифицированное разделение данных свидетельствует о существовании на пасеках двух генетически обособленных групп пчел. Популяции, сгруппированные в верхней ветви дендрограммы, характеризуются как основной резервной частью аборигенного генофонда. В противоположность этому, пасеки в нижней ветви дендрограммы, имеют заметную примесь генофонда пчел южного происхождения. Полученная структура показывает продолжающийся процесс замещения и гибридизации аборигенной пчелы в отдельных хозяйствах, особенно в Аскинском районе, где концентрация синих кластеров наиболее высока. Сохранение генетической чистоты пасек верхней ветви приобретает особую ценность как стратегический ресурс для устойчивости местных популяций. В то же время пасеки нижней ветви могут служить объектом направленной селекционной работы при условии тщательного контроля за их адаптивными характеристиками.

Исследование выполняется при поддержке Президентского фонда природы №ЭКО-25-2-001226 по теме «Разработка стратегии сохранения генофонда и биоразнообразия северо-башкирского экотипа реликтовых пчёл подвида *Apis mellifera mellifera*».

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Томилов Н.А. Полевые исследования в исторических науках: дискуссии и результаты / Н.А. Томилов // Вестник Омского университета. Серия «Исторические науки». 2018. – № 2 (18). – С. 47–50. DOI 10.25513/2312-1300.2018.2.47-50
2. Кушбокова Д.А. Необходимость и пути сохранения биоразнообразия России / Д.А. Кушбокова // Интеллектуальный потенциал XXI века: ступени познания. – 2011. – №5-1. URL:

<https://cyberleninka.ru/article/n/neobhodimost-i-puti-sohraneniya-bioraznoobraziya-rossii> (дата обращения: 02.04.2026).

3. Ильясов Р.А. Современные резерваты темной лесной пчелы на Урале и в Поволжье / Р.А. Ильясов, А.В. Поскряков, А.В. Петухов, А.Г. Николенко // Пчеловодство. – 2016. - №5. – С.16-18.

4. Ильясов Р.А. Современные резерваты темной лесной пчелы на Урале и в Поволжье / Р.А. Ильясов, А.В. Поскряков, А.В. Петухов, А.Г. Николенко // Пчеловодство. – 2016. - №5. – С.16-18.

5. Саттарова А.А. Морфометрическая и генетическая оценка медоносных пчел на севере Башкортостана / А.А. Саттарова, Р.Н. Каипкулов, М.Д. Каскинова, А.Я. Шарипов, М.Г. Гиниятуллин // Пчеловодство. – 2025. – №3. – С.22-28.

6. Саттарова А.А. Морфогенетическая оценка медоносных пчел на северо-востоке Башкортостана / А.А. Саттарова, Р.Н. Каипкулов, М.Д. Каскинова, М.Г. Гиниятуллин // Пчеловодство. – 2025. - №6. – С.4-9.

7. Сабирджонова М.Р. Характеристика фенотипов рабочих пчел северной лесостепной зоны Башкортостана / М.Р. Сабирджонова, В.Н. Саттаров // Естественные и технические науки. – 2021. – №4(155). – С.99-105.

8. Сабирджонова М.Р. Коэффициенты вариации морфометрических признаков фенотипов трутней на территории северной лесостепной зоны Башкортостана / М.Р. Сабирджонова, В.Н. Саттаров, А.И. Скворцов // Естественные и технические науки. – 2021. – №4(155). – С.106-111.

9. Сабирджонова М.Р. Фенотипическая изменчивость трутней *Apis mellifera* на пасеках северной части Башкортостана / М.Р. Сабирджонова, В.Н. Саттаров // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Естественные науки. – 2021. – №2.(34) – С. 74-83.

10. Сабирджонова М.Р. Результаты исследования морфологических особенностей трутней *Apis mellifera* в северной части башкирской популяции среднерусского подвида / М.Р. Сабирджонова, В.Н. Саттаров, О.П. Улугов // Ученые записки Худжандского государственного университета им. академика Б. Гафурова. Серия: Естественные и экономические науки. – 2021. – №2, Т.57 – С. 73-80.

11. Сабирджонова М.Р. Фенотипы рабочих пчел на пасеках северной лесостепной зоны Башкортостана / М.Р. Сабирджонова, В.Н. Саттаров, А.И. Скворцов // Пчеловодство. – 2021. - №3. – С.24-27.

12. Сабирджонова М.Р. Фенотипы трутней *Apis mellifera* на пасеках северной лесостепной зоны Республики Башкортостан / М.Р. Сабирджонова, В.Н. Саттаров, К.Ж. Исхан, А.И. Скворцов, Д.А. Баймуканов // Известия Национальной академии наук Республики

Казахстан. Серия биологическая и медицинская. – 2021. – №4. – С.65-72.

13. Газизов Р.И. История и современное состояние среднерусских пчел уральской популяции / Р.И. Газизов // Пчеловодство. – 2007. – №6. – С.10-11.

14. Саттаров В.Н. Сохранение северо-башкирского экотипа пчел / В.Н. Саттаров, С.Т. Сагитов, Ю.Р. Абдрахимова [и др.] // Пчеловодство. – 2025. – №10. – С.8-10.

15. Руттнер Ф. Техника разведения и селекционный отбор пчел: практическое руководство / Ф. Руттнер. – М.: АСТ: Астрель, 2006. – 175 с.

REFERENCES

1. Tomilov N.A. Polevy'e issledovaniya v istoricheskix naukax: diskussii i rezul'taty' / N.A. Tomilov // Vestnik Omskogo universiteta. Seriya «Istoricheskie nauki». 2018. – № 2 (18). – S. 47–50. DOI 10.25513/2312-1300.2018.2.47-50

2. Kushbokova D.A. Neobxodimost' i puti soxraneniya bioraznoobraziya Rossii / D.A. Kushbokova // Intellektual'ny'j potencial XXI veka: stupeni poznaniya. – 2011. – №5-1. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/neobhodomost-i-puti-sohraneniya-bioraznoobraziya-rossii> (data obrashheniya: 02.04.2026).

3. Il'yasov R.A. Sovremennye rezervaty' temnoj lesnoj pchely' na Urale i v Povolzh'e / R.A. Il'yasov, A.V. Poskryakov, A.V. Petuxov, A.G. Nikolenko // Pchelovodstvo. – 2016. – №5. – S.16-18.

4. Il'yasov R.A. Sovremennye rezervaty' temnoj lesnoj pchely' na Urale i v Povolzh'e / R.A. Il'yasov, A.V. poskryakov, A.V. Petuxov, A.G. Nikolenko // Pchelovodstvo. – 2016. – №5. – S.16-18.

5. Sattarova A.A. Morfometricheskaya i geneticheskaya ocenka medonosny'x pchel na severe Bashkortostana / A.A. Sattarova, R.N. Kaipkulov, M.D. Kaskinova, A.Ya. Sharipov, M.G. Giniyatullin // Pchelovodstvo. – 2025. – №3. – S.22-28.

6. Sattarova A.A. Morfogeneticheskaya ocenka medonosny'x pchel na severo-vostoke Bashkortostana / A.A. Sattarova, R.N. Kaipkulov, M.D. Kaskinova, M.G. Giniyatullin // Pchelovodstvo. – 2025. – №6. – S.4-9.

7. Sabirdzhonova M.R. Xarakteristika fenotipov rabochix pchel severnoj lesostepnoj zony' Bashkortostana / M.R. Sabirdzhonova, V.N. Sattarov // Estestvenny'e i texnicheskie nauki. – 2021. – №4(155). – S.99-105.

8. Sabirdzhonova M.R. Koe'fficienty' variacii morfometricheskix priznakov fenotipov trutnej na territorii severnoj lesostepnoj zony' Bashkortostana / M.R. Sabirdzhonova, V.N. Sattarov, A.I. Skvorczov // Estestvenny'e i texnicheskie nauki. – 2021. – №4(155). – S.106-111.

9. Sabirdzhonova M.R. Fenotipicheskaya izmenchivost' trutnej *Apis mellifera* na pasekax severnoj chasti Bashkortostana / M.R. Sabirdzhonova, V.N. Sattarov // Izvestiya vysshix uchebnyx zavedenij. Povolzhskij region. Estestvenny'e nauki. – 2021. – №2.(34) – S. 74-83.

10. Sabirdzhonova M.R. Rezul'taty issledovaniya morfologicheskix osobennostej trutnej *Apis mellifera* v severnoj chasti bashkirskoj populyacii srednerusskogo podvida / M.R. Sabirdzhonova, V.N. Sattarov, O.P. Ulugov // Ucheny'e zapiski Xudzhandskogo gosudarstvennogo universiteta im. akademika B. Gafurova. Seriya: Estestvenny'e i ekonomicheskie nauki. – 2021. – №2, T.57 – S. 73-80.

11. Sabirdzhonova M.R. Fenotipy' rabochix pchel na pasekax severnoj lesostepnoj zony' Bashkortostana / M.R. Sabirdzhonova, V.N. Sattarov, A.I. Skvorczov // Pchelovodstvo. – 2021. - №3. – S.24-27.

12. Sabirdzhonova M.R. Fenotipy' trutnej *Apis mellifera* na pasekax severnoj lesostepnoj zony' Respubliki Bashkortostan / M.R. Sabirdzhonova, V.N. Sattarov, K.Zh. Isxan, A.I. Skvorczov, D.A. Bajmukanov // Izvestniya Nacional'noj akademii nauk Respubliki Kazaxstan. Seriya biologicheskaya i medicinskaya. – 2021. - №4. – S.65-72.

13. Gazizov R.I. Istoriya i sovremennoe sostoyanie srednerusskix pchel ural'skoj populyacii / R.I. Gazizov // Pchelovodstvo. – 2007. - №6. – S.10-11.

14. Sattarov V.N. Soxranenie severo-bashkirskogo e'kotipa pchel / V.N. Sattarov, S.T. Sagitov, Yu.R. Abdraximova [i dr.] // Pchelovodstvo. – 2025. - №10. – S.8-10.

15. Ruttner F. Texnika razvedeniya i selekcionny'j otbor pchel: prakticheskoe rukovodstvo / F. Ruttner. - M.: AST: Astrel', 2006. – 175 s.

Информация об авторах

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

С.Т. Сагитов – кандидат социологических наук, доцент, ректор, председатель регионального отделения РГО в Республике Башкортостан;

Ю.Р. Абдрахимова – исполнительный директор регионального отделения РГО в Республике Башкортостан;

А.Р. Сюндюкова – аспирант;

Р.А. Ильясов – доктор биологических наук, ведущий научный сотрудник лаборатории нейробиологии развития;

А.Ю. Ильясова – научный сотрудник лаборатории нейробиологии развития;

А.В. Саттарова – бакалавр.

Information about the authors

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

S.T. Sagitov – candidate of sociological sciences, associate professor, rector, chairman of the regional branch of the Russian Geographical Society in the Republic of Bashkortostan;

Yu.R. Abdrakhimova – executive director of the regional branch of the Russian Geographical Society in the Republic of Bashkortostan;

A.R. Syundyukova – graduate student;

R.A. Ilyasov – Doctor of Biological Sciences, leading researcher at the Laboratory of Developmental Neurobiology;

A.Yu. Ilyasova – research fellow at the Laboratory of Developmental Neurobiology;

A.V. Sattarova – bachelor.

Вклад авторов:

В.Н. Саттаров – проведение фенетических исследований, написание текста, поиск литературы.

С.Т. Сагитов – организация и руководство проектом.

Ю.Р. Абдрахимова – сбор и обработка проб.

А.Р. Сяндюкова – сбор и обработка проб.

Р.А. Ильясов – написание текста, проведение молекулярно-генетических исследований, редактирование.

А.Ю. Ильясова – проведение молекулярно-генетических исследований.

А.В. Саттарова – проведение обработки данных, подготовка рисунков и фотографий.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Contribution of the authors:

V.N. Sattarov – conducting phenetic studies, writing the text, searching for literature.

S.T. Sagitov – project organization and management.

Yu.R. Abdrakhimova – sample collection and processing.

A.R. Syundyukova – sample collection and processing.

R.A. Ilyasov – writing the text, conducting molecular genetic studies, editing.

A.Yu. Ilyasova – conducting molecular genetic studies.

A.V. Sattarova – data processing, preparing figures and photographs.
The authors declare no conflict of interest.

Статья поступила в редакцию 29.02.2026; принята к публикации 14.03.2025.

The article was submitted 29.10.2025; accepted for publication 14.03.2025

БИОЛОГИЧЕСКИЕ НАУКИ

Научная статья

УДК 57.086

DOI 10.21510/3034-266X-2026-1-123-130

ИЗГОТОВЛЕНИЕ МИКРОПРЕПАРАТОВ

**Алина Александровна Торovina¹, Ренат Салаватович
Адиятов², Эльза Хафизовна Халитова³, Гульдар Рафисовна
Шамсетдинова⁴**

^{1,3,4}*Башкирский государственный педагогический университет
им. М. Акмуллы, Уфа, Россия*

²*Школа им. Пикунова А.С., д. Дорогино, Республика
Башкортостан, Россия*

^{2,4}*Уфимский городской экологический центр «Фортуна», Уфа,
Россия*

¹*aatorovina@yandex.ru, <https://orcid.org/0009-0002-3758-1032>*

³*elza817@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-2721-0986>*

⁴*Asadullina89@mail.ru, ResearcherID: MTC-4256-2025*

Аннотация. Были приготовлены временные микропрепараты из эпидермиса лука, томата, абрикоса и чернослива. Срезы изготавливали сразу несколько с помощью бритвы и выбирали наиболее тонкие. Кожицу лука окрашивали йодом. В клетках лука зеленого цвета был пигмент хлорофилл, способный к фотосинтезу. А также приготовили пробу воды реки Байталинка на территории чекмагушевского района для изучения микроскопических водорослей и цианобактерий.

Ключевые слова: антоцианы, каротиноиды, клетка, микроскоп, пигменты, проба, срезы, хлорофилл, эпидермис

Для цитирования: Торovina А.А., Адиятов Р.С., Халитова Э.Х., Шамсетдинова Г.Р. Изготовление микропрепаратов // Вестник Башкирского государственного педагогического университета им. М. Акмуллы. Серия: Естественные науки 2026. № 1. С. 123-130.

BIOLOGICAL SCIENCES

Original article

MAKING MICROPREPARATIONS

© Торovina А.А., Адиятов Р.С., Халитова Э.Х., Шамсетдинова Г.Р.,
2026.

Alina A. Torovina¹, Renat S. Adiyatov², Elsa H. Khalitova³, Guldar R. Shamsetdinova⁴

^{1,3,4}*Bashkir State Pedagogical University n.a. M. Akmulla, Akmulla University, Ufa, Russia*

²*School n.a. A.S. Pikunov, Dorogino Village, Republic of Bashkortostan, Russia*

^{2,4}*Ufa City Environmental Center "Fortuna", Ufa, Russia*

¹*aatorovina@yandex.ru, <https://orcid.org/0009-0002-3758-1032>*

³*elza817@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-2721-0986>*

⁴*Asadullina89@mail.ru, ResearcherID: MTC-4256-2025*

Abstract. Temporary micropreparations were prepared from the epidermis of onions, tomatoes, apricots and prunes. Several sections were made at once using a razor and the thinnest ones were selected. The onion skin was stained with iodine. The green onion cells contained the pigment chlorophyll, which is capable of photosynthesis. We also prepared a water sample from the Baytalinka River in the Chekmagushevsky district to study microscopic algae and cyanobacteria.

Key words: anthocyanins, carotenoids, cell, chlorophyll, epidermis, microscope, pigments, sample, sections

For citation: Torovina A. A., Adiyatov R. S., Khalitova E. Kh., Shamsetdinova G. R. Preparation of Micropreparations // Bulletin of the Bashkir State Pedagogical University named after M. Akmulla. Series: Natural Sciences 2026. No. 1. pp. 123-130.

Введение. Микропрепараты – это тонкие срезы разных биологических объектов (клеток, микроорганизмов, органов, тканей), расположенные на предметное стекло и сверху накрытые покровным стеклом. Они изучаются под микроскопом. Выделяют временные (с глицерином или водой) и постоянные (твердая среда), которые предназначены для изучения микромира учебных и в исследовательских целях.

Это могут быть представители различных микроорганизмов, образцы тканей растений, насекомых, животных, клетки грибов и других органических материалов.

Биологические микропрепараты сохраняют высокую актуальность как инструмент для изучения микроскопических структур и наблюдения в науке, образовании и медицине. Благодаря им мы видим клеточную структуру, микроорганизмы, ткани и их свойства.

Новизна – мы сделали временные микропрепараты эпидермиса лука, томата, чернослива, абрикоса и усложнили исследовательскую работу, изготовив микропрепарат воды реки Байталинка Чекмагушевского района для изучения в сфере экологии по микроскопическим водорослям.

Цель исследования – создание временных микропрепаратов для изучения под микроскопом.

Задачи исследования: приготовить микропрепараты эпидермиса лука, томата, абрикоса, чернослива и воды реки Байталинка Чекмагушевского района Республики Башкортостан для изучения микроскопических водорослей и цианобактерий; определить виды пигментов исследуемых объектов.

Материалы и методы. Объектами нашего исследования были лук, томат, абрикос и чернослив. Пробу воды для изучения микроскопических водорослей мы приготовили из воды реки Байталинка чекмагушевского района на территории Республики Татарстан.

Для изучения клеток чешуи лука мы приготовили микропрепарат, сняв небольшой кусок пленки [5]. В качестве изолирования тканей для исследования может служить верхняя (внутренняя) эпидерма кожицы репчатого лука.

Мы приготовили микропрепараты по методике А.Г. Золотарева [2]. Микроскопическое исследование растительных объектов можно проводить на целых частях растений – это тотальные препараты. Которые создаются без предварительного изготовления срезов. Срезы изготавливались с помощью бритвы. Необходимо знать основные правила пользования бритвой [4].

Нами была приготовлена проба воды реки Байталинка, протекающая на территории чекмагушевского района Республики Башкортостан, предназначенная для изучения микроскопических организмов. Отбор, обработка пробы воды осуществлялись по стандартной методике. Пробу объемом 0,5 л фиксировали 40 % раствором формалина, далее концентрировали общепринятым осадочным способом с отцеживанием до 50 мл [1, 3, 6]. Затем мы приготовили временный микропрепарат – это капля из приготовленной пробы воды на предметном стекле, накрытая покровным стеклом.

Результаты и обсуждения. В клетках эпидермиса лука видны цитоплазма и крупные ядра – это зрелая ткань. Были обнаружены клетки зеленого цвета. Они с пигментами хлорофилла, то есть способны к фотосинтезу (рис. 1).

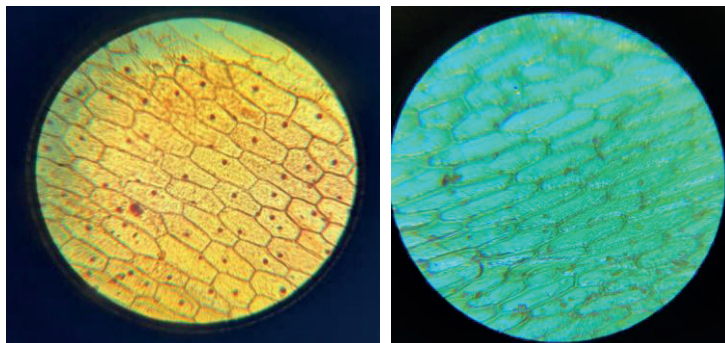


Рис. 1. Клетки эпидермиса лука. Клетки зрелой ткани лука – слева. Фотосинтезирующие клетки – справа

Клетки с мелкими или делящимися ядрами - это молодые ткани (рис. 2).

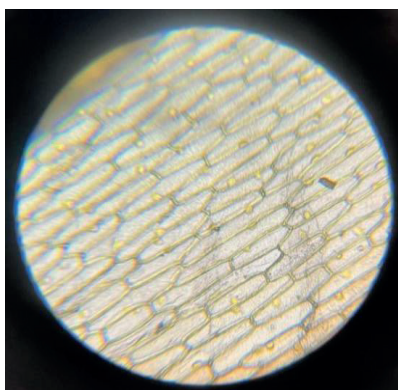


Рис. 2. Молодые клетки эпидермиса лука

На срезах томата, чернослива и абрикоса видны пигменты растений (рис. 3).

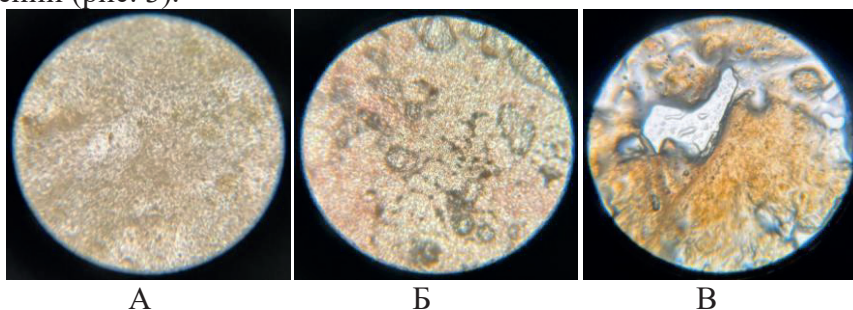


Рис. 3. Пигменты растений: А – томат, Б – абрикос, В – чернослив

Зеленый пигмент хлорофилл в большом количестве встречается в незрелых плодах томата, который в процессе созревания разрушается. Мы делали срезы зрелого томата красного цвета, поэтому

там были уже пигменты каротиноиды. Сегодня встречаются разные окраски плодов томата – это происходит в следствие мутаций генов каротиноидного пути, что возникает в результате усовершенствования сортов [7].

Каротиноидные пигменты мы наблюдали и у оранжевого абрикоса, из-за наличия β -каротина (провитамин А).

Антоцианы – основные пигменты, которые определяют черный или темно-фиолетовый цвет чернослива. Они в большинстве расположены в кожице плодов.

Временные микропрепараты важны в сфере образования, они позволяет просто и наглядно изучать объекты под микроскопом. У обучающихся развивается наблюдательность и понимание микромира.

Благодаря микропрепаратам воды реки Байталинка чекмагушевского района Республики Башкортостан можно изучить различных представителей водорослей и цианобактерий (рис.4). А так же составить современную систематику, сделать флористические и экологические анализы. Что позволяет оценить степень загрязнения, качество воды, влияние на экосистему, разработать меры по рациональному использованию и защите водного объекта.

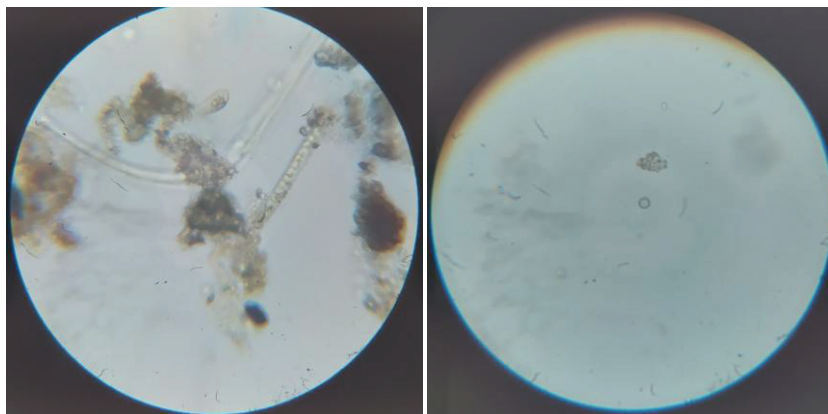


Рис. 4. Водоросли и цианобактерии воды реки Байталинка

В пробе воды исследуемой реки при первичном осмотре обнаружили цианобактерии (Cyanobacteria) – *Anabaena sp.*, *Phormidium sp.*. Эти бактерии способны к фотосинтезу, который сопровождается выделением кислорода. А также встретили представителя зеленых водорослей (Chlorophyta) – *Chlorella sp.*

Выводы.

1. Мы сделали микропрепарат эпидермиса лука, в качестве красителя использовали йод.

2. Срезы были изготовлены с помощью бритвы. Из нескольких срезов выбрали самые тонкие.

3. Пигмент хлорофилл был обнаружен в клетках кожицы лука зеленого цвета. Красный томат богат каротиноидами, а оранжевый абрикос характерен наличием провитамина А (β-каротин). Темно-фиолетовый цвет чернослива обусловлен наличием антоцианов.

4. Для исследования микроскопических организмов мы приготовили пробу воды реки Байталинка.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Водоросли: справочник / С.П. Вассер [и др.]. Наукова думка, 1989. 608 с.
2. Золотарев А.Г., Пименов Е.В., Девришов Д.А. Световая микроскопия микроорганизмов. Практическое руководство. Москва: Издательство «Агровет», 2013. 293с.
3. Киселев И.А. Планктон морей и континентальных водоемов. Л.: Наука, 1969. 658 с.
4. Кищенко И.Т. Практический курс ботаники (цитология, гистология, морфология, анатомия, систематика). Издательство Директ-Медиа, 2020. 351 с.
5. Мурадов С.В., Девятова Е.А., Головина Т.П. Лабораторный практикум по дисциплине «Микротехника» : учеб.-метод. пособие. Чебоксары: ИД «Среда», 2019. 84 с. DOI 10.31483/a-97
6. Федоров В.Д. О методах изучения фитопланктона и его активности. М.: МГУ, 1979. 167 с.
7. Roohanitaziani R., de Maagd R.A., Lammers M., Molthoff J., Meijer Dekens R., van Kaauwen M.P.W., Finkers H.T., Tikunov Yu., Visser R.G.F., Bovy A.G. Exploration of a resequenced tomato core collection for phenotypic and genotypic variation in plant growth and fruit quality traits. Genes. 2020. 11(11): 1278. DOI 10.3390/genes11111278

REFERENCES

1. Algae: Handbook / S.P. Wasser [et al.]. Naukova Dumka, 1989. 608 p.
2. Zolotaryov A.G., Pimenov E.V., Devrishov D.A. Light Microscopy of Microorganisms. Practical Guide. Moscow: Agrovvet Publishing House, 2013. 293 p.
3. Kiselev I. A. Plankton of Seas and Continental Reservoirs. L.: Nauka, 1969. 658 p.
4. Kishchenko I.T. Practical Course of Botany (Cytology, Histology, Morphology, Anatomy, and Systematics). Direct Media Publishing House, 2020. 351 p.
5. Muradov S.V., Devyatova E.A., Golovina T.P. Laboratory Workshop on the Discipline "Microtechnology": Textbook and

Methodological Guide.-method. manual. Cheboksary: ID "Sreda", 2019. 84 p. DOI 10.31483/a-97

6. Fedorov V.D. On the Methods of Studying Phytoplankton and Its Activity. M.: Moscow State University, 1979. 167 p.

7. Roohanitaziani R., de Maagd R.A., Lammers M., Molthoff J., Meijer Dekens R., van Kaauwen M.P.W., Finkers H.T., Tikunov Yu., Visser R.G.F., Bovy A.G. Exploration of a resequenced tomato core collection for phenotypic and genotypic variation in plant growth and fruit quality traits. Genes, 2020. 11 (11): 1278. DOI 10.3390/genes11111278

Информация об авторах

А.А. Торовина – студент естественно-географического факультета;

Р. С. Адиятов – ученик школы;

Э. Х. Халитова – кандидат биологических наук, заведующая лабораторией «Биотехнология живых систем»;

Г. Р. Шамсетдинова – кандидат биологических наук, старший научный сотрудник лаборатории «Биотехнология живых систем».

Information about the authors

A.A. Torovina – student of the Faculty of Natural Sciences and Geography;

R.S. Adiyatov – school student;

E.H. Khalitova – PhD, Head of the Laboratory “Biotechnology of Living Systems”;

G.R. Shamsetdinova – PhD, senior researcher Laboratory “Biotechnology of Living Systems”.

Вклад авторов:

Р.С. Адиятов – изготовление временных микропрепаратов, изучение их, фотографии изображений.

А. А. Торовина – написание текста, поиск литературы.

Г.Р. Шамсетдинова – научное руководство, концепция исследования, редактирование, итоговые выводы.

Э.Х. Халитова – утверждение финальной версии.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Contribution of the authors:

R.S. Adiyatov– making temporary micropreparations, studying them, photos of images.

A.A. Torovina– writing the text, searching for literature.

G.R. Shamsetdinova – scientific management, research concept, editing, final conclusions.

E.Kh. Khalitova – approval of the final version.

The authors declare no conflicts of interests.

Статья поступила в редакцию 02.02.2026; принята к публикации 09.03.2026.

The article was submitted 02.02.2025; accepted for publication 09.03.2026.

ОБРАЗОВАНИЕ И ПЕДАГОГИЧЕСКИЕ НАУКИ

Научная статья

УДК 372.857

DOI 10.21510/3034-266X-2026-1-131-139

ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ТРОПА «ШАГ К ПРИРОДЕ» КАК СРЕДСТВО ФОРМИРОВАНИЯ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ КУЛЬТУРЫ УЧАЩИХСЯ СРЕДНЕГО ЗВЕНА В УСЛОВИЯХ ГОРОДСКОЙ ШКОЛЫ

*Эльза Ульфатовна Саетова¹, Альфия Ильсуровна
Фазлутдинова²*

*^{1,2}Башкирский государственный педагогический университет
им. М. Акмуллы, Уфа, Россия*

¹sadretdinova_elza@mail.ru

²alfi05@mail.ru

Аннотация. В статье рассматривается опыт разработки и реализации учебной экологической тропы «Шаг к природе» для учащихся 7–8 классов МАОУ школы № 8 им. И.П. Хатунцева г. Уфы в рамках внеурочной деятельности. Экологическая тропа понимается как специально организованный маршрут по городской территории (школьный участок, парк Якутова, бульвар Ибрагимова, сквер Нестерова), позволяющий сочетать наблюдения в природе, игровые задания и исследовательскую работу учащихся. Целью проекта является формирование экологического мышления, знаний и ответственного поведения школьников через практико-ориентированное обучение в природной среде. В статье описаны этапы разработки тропы (выбор маршрута, паспортизация, методическое и дидактическое обеспечение) и три тематических маршрута. По результатам внедрения отмечен рост интереса детей к экологии, усиление мотивации к изучению природы родного города и формирование более ответственного отношения к окружающей среде.

Ключевые слова: экологическая тропа; экологическое воспитание; экологическое образование; экологическая культура; внеурочная деятельность; школьники среднего звена; городская среда, антропогенные экосистемы

Для цитирования: Саетова Э.У., Фазлутдинова А.И. Экологическая тропа «Шаг к природе» как средство формирования

экологической культуры учащихся среднего звена в условиях городской школы // Вестник Башкирского государственного педагогического университета им. М.Акмиллы. Серия: Естественные науки. 2026. № 1. С.131-139.

EDUCATION AND PEDAGOGICAL SCIENCES

Original article

THE ECOLOGICAL TRAIL "STEP TO NATURE" AS A MEANS OF FORMING ECOLOGICAL CULTURE AMONG MIDDLE SCHOOL STUDENTS IN URBAN SCHOOL CONDITIONS

Elsa U. Saetova¹, Alfia Ilisurovna Fazlutdinova²

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

¹sadretdinova_elza@mail.ru

²alfi05@mail.ru

Abstract. The article examines the experience of developing and implementing the educational ecological trail "Step to Nature" for 7-8 grade students of Municipal Autonomous General Education Institution Secondary School No. 8 named after I.P. Khatunceva in Ufa within the framework of extracurricular activities. The ecological trail is understood as a specially organized route through urban territory (school grounds, Yakutov Park, Ibragimov Boulevard, Nesterov Square), enabling the combination of nature observations, game assignments, and students' research work. The project's goal is to form ecological thinking, knowledge, and responsible behavior among schoolchildren through practice-oriented learning in natural environments. The article describes the trail development stages (route selection, passportization, methodological and didactic support) and three thematic routes. Implementation results show increased children's interest in ecology, enhanced motivation for studying native city's nature, and formation of more responsible attitudes toward the environment.

Keywords: ecological trail; ecological education; environmental education; ecological culture; extracurricular activities; middle school students; urban environment; anthropogenic ecosystems

For citing: Saetova E.U., Fazlutdinova A.I. The ecological trail "Step to nature" as a means of forming ecological culture among middle school students in urban school conditions // Bulletin of Bashkir State Pedagogical University named after M. Akmulla. Series: Natural Sciences. 2026. No.1. pp. 131-139.

Введение. Современное общество сталкивается с нарастающими экологическими проблемами, связанными с загрязнением среды, истощением природных ресурсов и ухудшением качества жизни населения, что делает экологическое воспитание школьников одной из ключевых задач образования. В России экологическое образование интегрируется в систему общего образования преимущественно через межпредметные связи и внеурочную деятельность, так как экология не представлена как обязательный самостоятельный предмет для всех классов [12]. Для формирования экологической культуры требуется не только передача знаний, но и организация практических форм работы, позволяющих детям непосредственно взаимодействовать с природной средой. Одной из таких форм выступает экологическая тропа – специально организованный маршрут, на котором учащиеся знакомятся с объектами живой и неживой природы, выполняют наблюдения и практические задания [3, 15]. Цель исследования: создание и экспериментальная апробация методических рекомендаций по организации экологической тропы как средства формирования экологической грамотности старшеклассников. Основные задачи: теоретический анализ подходов к экологическому образованию; изучение методов исследования антропогенных экосистем; разработка модели формирования экологического мышления; практическая реализация и тестирование экологической тропы.

Материалы и методы. Исследование проводилось на базе МАОУ школы № 8 им. И.П. Хатунцева в г. Уфе, среди учащихся 7-8 классов, участвовавших во внеурочных занятиях экологической направленности. Маршрут экологической тропы включал школьный участок, парк им. И. Якутова, бульвар Г.Г. Ибрагимова и сквер М.В. Нестерова, что обеспечило шаговую доступность и сочетание разных типов городских экосистем (аллеи, парк, водоём, школьный цветник). При выборе территории учитывались критерии доступности, безопасности и привлекательности ландшафта, в том числе проводилась оценка эстетической ценности по шкале Д.А. Дирина, показавшая средний, но приемлемый уровень эстетичности для городской тропы [5]. В ходе работы использовались теоретические методы (анализ научной и методической литературы по экологическому воспитанию и экотропам) и эмпирические методы (наблюдение, анкетирование, диагностика отношения к природе, участие детей в маршрутах, простые лабораторные исследования) [6]. Для оценки исходного уровня экологической культуры применялась модифицированная анкета «Моё отношение к природе», а для анализа эффективности – отчёты команд, результаты заданий, рефлексия и наблюдение за изменением поведения учащихся.

Результаты. Разработанная экологическая тропа «Шаг к природе» была структурирована как комплекс из трёх тематических маршрутов, каждый из которых проводился в разный сезон и имел собственные образовательные задачи. Осенний маршрут «Открыватели земель» был посвящён свойствам и загрязнению почвы: школьники познакомились с типами почв, факторами почвообразования, играли в игру «Найди меня, я ошибка» и отрабатывали навыки взятия проб и оценки pH. Зимний маршрут «Снежная долина» рассматривал снег как индикатор загрязнения окружающей среды: учащиеся отбирали пробы снега в разных точках маршрута, определяли цвет, pH, наличие загрязнений на фильтре и оформляли результаты в виде лабораторных отчётов. Весенний маршрут «Волшебный сад» был направлен на изучение влияния абиотических факторов на прорастание семян фасоли, где команды закладывали простые эксперименты по влиянию воды, света и удобрений на рост растений [11, 13]. Вся система мероприятий была стилизована под вселенную «Гарри Поттера» (станции «Тайная комната», «Карта мародёров», «Кубок огня», «Лаборатория профессора Снейпа» и др.), что усиливало мотивацию учащихся и повышало вовлечённость в задания [9]. По итогам реализации тропы отмечено повышение интереса школьников к экологическим вопросам, рост активности во внеурочных формах работы и более осознанное отношение к городским природным объектам, о чём свидетельствовали результаты анкет, отчётов и наблюдений педагога.

Обсуждение. Полученные результаты подтверждают, что экологическая тропа в городской среде может выступать эффективным инструментом формирования экологической культуры учащихся среднего звена, даже при ограниченных природных ресурсах территории. Сочетание игровых, исследовательских и лабораторных форм (экологические игры, конкурсы, викторины, полевые наблюдения и последующая обработка материала) способствует не только усвоению теоретических знаний, но и развитию умений применять их в практических ситуациях [10]. Важной особенностью описанной тропы стало её встраивание во внеурочную деятельность по требованиям ФГОС, что позволило компенсировать дефицит уроков экологии и естественнонаучного цикла. Тематическое разнообразие маршрутов (почвы, атмосферные загрязнения через снег, рост растений) обеспечивает охват ключевых компонентов природной среды и формирует у детей целостное представление о взаимосвязях в экосистемах [13, 14]. Для устойчивого эффекта необходима систематическая работа и повторное проведение маршрутов с усложнением заданий, а также включение результатов экотропы в проектную и исследовательскую деятельность учащихся.

Выводы. Экологическая тропа «Шаг к природе», разработанная на базе городской школы, показала свою эффективность как средство формирования экологической культуры учащихся среднего звена.

Выбор маршрута в пределах шаговой доступности (школа, парк, бульвар, сквер) при соблюдении критериев доступности, безопасности и информативности позволяет интегрировать экотропу в регулярную внеурочную деятельность [4, 7].

Тематическое построение тропы (почвы, снег как индикатор загрязнения, влияние абиотических факторов на растения) обеспечивает комплексное освоение ключевых экологических понятий и развитие исследовательских навыков школьников.

Использование игровых и сюжетных элементов, основанных на популярной литературной вселенной, существенно повышает мотивацию учащихся и вовлечённость в экологические задания [1, 2].

Диагностика до и после прохождения маршрутов, а также наблюдения учителя свидетельствуют о росте интереса к экологии, укреплении практических навыков и формировании более бережного отношения к природе родного города.

Практические рекомендации. Педагогам, планирующим создать экологическую тропу в условиях города, рекомендуется начинать с анализа ближайших доступных территорий (школьный двор, парки, бульвары), оценивая их с позиции безопасности и наличия разнообразных природных объектов. Важно разработать паспорт экотропы с указанием цели, задач, маршрута, нагрузки и правил поведения, что обеспечит системность и повторяемость использования тропы [16]. Эффективным приёмом является стилизация маршрута под знакомый детям сюжет (литературный или кинематографический), позволяющий превратить экологические задания в увлекательное приключение. Рекомендуется сочетать полевые наблюдения с простыми лабораторными исследованиями (анализ почвы, талой воды, эксперименты с растениями), чтобы показать связь между теорией и практикой [10]. Для оценки результативности работы экотропы целесообразно применять анкетирование, диагностические задания, отчёты команд и рефлексивные обсуждения, позволяющие корректировать содержание маршрутов и повышать их образовательный эффект.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Айдарбекова А.Ш., Сарыева Ы.Т. Методика применения ролевых игр на занятиях экологии // Вестник Ошского государственного университета. – 2020. – № 1-4. – С. 30-35.
2. Белоусова Е.Ю., Дубровина И.А. Использование игры в качестве основного метода экологического образования детей

дошкольного возраста // Обновление воспитательного процесса в образовательной организации. Панорама практик воспитания: материалы II Всероссийской научно-практической конференции, Чебоксары, 21 мая 2025 г. – Чебоксары: ООО «Центр научного сотрудничества «Интерактив плюс», 2025. – С. 50-53.

3. Бешко Н.Ю., Иботова К., Умархаджаева У. Экологическая тропа: методическое пособие для учителей. – Ташкент: Изд-во, 2010. – 59 с.

4. Борисевич А.Р. Методы обучения. – Режим доступа: <https://elib.bspu.by/bitstream/doc/20719/1/Борисевич.%20Методы%20обучения.pdf> (дата обращения: 23.03.2026).

5. Дирин Д.А., Попов Е.С. Оценка пейзажно-эстетической привлекательности ландшафтов: методологический обзор // Известия Алтайского государственного университета. – 2010. – № 3-2 (67). – С. 120-124.

6. Дебело П.В., Тарасова Т.Ф., Глуховская М.Ю., Бударникова В.И. Лабораторный практикум по экологии: учебное пособие / Оренбургский государственный университет. – Оренбург: ОГУ, 2012. – 297 с.

7. Минаев В.М. Внеклассная работа по природоведению. – Минск: Харвест, 2009. – 275 с.

8. Моисеев Н.Н. Универсум. Информация. Общество. – М.: Наука, 2001. – 199 с.

9. Николаенко В.М., Залесов Г.М., Андриюшина Т.В. Психология и педагогика: учебное пособие. – Новосибирск: НГАЭиУ, 2009. – 175 с.

10. Скрипова Н.Е., Гордеева А.С., Кислякова А.В. Методика экологического воспитания в урочной деятельности. – Челябинск: ГБУ ДПО ЧИППКРО, 2023. – 64 с.

11. Тропа – в гармонии с природой. – Режим доступа: https://www.wildnet.ru/images/stories/bibl/tropa_v_garmonii_s_prirodoy/tropa-v-garmonii-s-prirodoy-2-polnyy-tekst-10-12-17.pdf (дата обращения: 23.03.2026).

12. Федеральный государственный образовательный стандарт начального общего образования (ФГОС НОО): приказ Министерства просвещения Российской Федерации от 31 мая 2021 г. № 336 / Министерство просвещения Российской Федерации. – М.: Просвещение, 2021. – 45 с.

13. Федорос Е.И., Нечаева Г.А. Экология: 10–11 классы: базовый уровень: практикум. – М.: Российский учебник, 2019. – 384 с.

14. Чижова В.П. Экологические тропы как форма туризма и обучения: технология и организация (на примере проектируемой тропы «Лесо-болотная азбука» в национальном парке «Смоленское

поозерье») // Российский журнал устойчивого туризма. – 2013. – № 3. – С. 13-20.

15. Буторина Н.Н., Моргачев С.В., Орестов Я.И., Чижова В.П. Экологические тропы – от идеи до проекта // Тропа в гармонии с природой: сборник российского и зарубежного опыта по созданию экологических троп. – М.: Р. Валент, 2007. – С. 7-14.

REFERENCES

1. Aydarbekova A.Sh., Saryeva Y.T. Metodika primeneniya rolevykh igr na zanyatiyakh ekologii [Methods of using role-playing games in ecology classes] // Vestnik Oshskogo gosudarstvennogo universiteta. – 2020. – № 1-4. – S. 30-35.

2. Belousova E.Yu., Dubrovina I.A. Ispol'zovanie igry v kachestve osnovnogo metoda ekologicheskogo obrazovaniya detey doskol'nogo vozrasta [Using play as the main method of environmental education for preschool children] // Obnovlenie vospitatel'nogo protsessa v obrazovatel'noy organizatsii. Panorama praktik vospitaniya: materialy II Vserossiyskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii, Cheboksary, 21 maya 2025 g. – Cheboksary: ООО «Tsentr nauchnogo sotrudnichestva «Interaktiv plus», 2025. – S. 50-53.

3. Beshko N.Yu., Ibotova K., Umarkhadzhaeva U. Ekologicheskaya tropa: metodicheskoe posobie dlya uchiteley [Ecological trail: a methodological guide for teachers]. – Tashkent: Izd-vo, 2010. – 59 s.

4. Borisevich A.R. Metody obucheniya [Teaching methods]. – Rezhim dostupa: <https://elib.bspu.by/bitstream/doc/20719/1/Borisevich.%20Metody%20obucheniya.pdf> (data obrashcheniya: 23.03.2026).

5. Dirin D.A., Popov E.S. Otsenka peyzazhno-esteticheskoy privlekatel'nosti landshaftov: metodologicheskii obzor [Assessment of landscape-aesthetic attractiveness of landscapes: a methodological review] // Izvestiya Altayskogo gosudarstvennogo universiteta. – 2010. – № 3-2 (67). – S. 120-124.

6. Debelo P.V., Tarasova T.F., Glukhovskaya M.Yu., Budarnikova V.I. Laboratornyy praktikum po ekologii: uchebnoe posobie [Laboratory workshop on ecology: a textbook] / Orenburgskiy gosudarstvennyy universitet. – Orenburg: OGU, 2012. – 297 s.

7. Minaev V.M. Vneklassnaya rabota po prirodovedeniyu [Extracurricular work on natural history]. – Minsk: Kharvest, 2009. – 275 s.

8. Moiseev N.N. Universum. Informatsiya. Obshchestvo [Universum. Information. Society]. – М.: Nauka, 2001. – 199 s.

9. Nikolaenko V.M., Zalesov G.M., Andryushina T.V. Psikhologiya i pedagogika: uchebnoe posobie [Psychology and pedagogy: a textbook]. – Novosibirsk: NGAEiU, 2009. – 175 s.

10. Skripova N.E., Gordeeva A.S., Kislyakova A.V. Metodika ekologicheskogo vospitaniya v urochnoy deyatel'nosti [Methods of environmental education in classroom activities]. – Chelyabinsk: GBU DPO ChIPPKRO, 2023. – 64 s.
11. Tropa – v garmonii s prirodoy [Trail – in harmony with nature]. – Rezhim dostupa: https://www.wildnet.ru/images/stories/bibl/tropa_v_garmonii_s_prirodoy/tropa-v-garmonii-s-prirodoy-2-polnyy-tekst-10-12-17.pdf (data obrashcheniya: 23.03.2026).
12. Federal'nyy gosudarstvennyy obrazovatel'nyy standart nachal'nogo obshchego obrazovaniya (FGOS NOO): prikaz Ministerstva prosveshcheniya Rossiyskoy Federatsii ot 31 maya 2021 g. № 336 [Federal State Educational Standard for Primary General Education: order of the Ministry of Education of the Russian Federation No. 336 of May 31, 2021] / Ministerstvo prosveshcheniya Rossiyskoy Federatsii. – M.: Prosveshchenie, 2021. – 45 s.
13. Fedoros E.I., Nechaeva G.A. Ekologiya: 10–11 klassy: bazovyy uroven': praktikum [Ecology: grades 10–11: basic level: practicum]. – M.: Rossiyskiy uchebnik, 2019. – 384 s.
14. Chizhova V.P. Ekologicheskie tropy kak forma turizma i obucheniya: tekhnologiya i organizatsiya (na primere proektiruemykh troy «Leso-bolotnaya azbuka» v natsional'nom parke «Smolenskoe poozer'e») [Ecological trails as a form of tourism and education: technology and organization] // Rossiyskiy zhurnal ustoychivogo turizma. – 2013. – № 3. – S. 13-20.
15. Butorina N.N., Morgachev S.V., Orestov Ya.I., Chizhova V.P. Ekologicheskie tropy – ot idei do proekta [Ecological trails – from idea to project] // Tropa v garmonii s prirodoy: sbornik rossiyskogo i zarubezhnogo opyta po sozdaniyu ekologicheskikh troy. – M.: R. Valent, 2007. – S. 7-14.

Информация об авторах

Э.У. Саетова – магистрант, Башкирский государственный педагогический университет им. М. Акмуллы;

А.И. Фазлутдинова – кандидат биологических наук, доцент, Башкирский государственный педагогический университет им. М. Акмуллы.

Information about the authors

E.U. Saetova – Master's student, Bashkir State Pedagogical University named after M. Akmulla, Ufa, Russia;

A.I. Fazlutdinova – Candidate of Biological Sciences, Associate Professor, Bashkir State Pedagogical University named after M. Akmulla, Ufa, Russia.

Вклад авторов:

Э.У. Саетова – сбор и анализ литературных источников, написание текста статьи, подготовка материалов по экологической тропе.

А.И. Фазлутдинова – научное руководство, концепция исследования, редактирование текста, утверждение окончательного варианта.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Contribution of the authors:

E.U. Saetova – collection and analysis of literary sources, writing the text of the article, preparation of materials on the ecological trail.

A.I. Fazlutdinova – scientific supervision, research concept, editing of the text, approval of the final version.

The authors declare no conflict of interest.

Статья поступила в редакцию 02.03.2026; принята к публикации 23.03.2026.

The article was submitted 02.03.2025; accepted for publication 23.03.2026.

ОБРАЗОВАНИЕ И ПЕДАГОГИЧЕСКИЕ НАУКИ

Научная статья

УДК 371.388

DOI: 10.21510/3034-266X-2026-1-140-150

ДИФФЕРЕНЦИАЦИЯ СИСТЕМ ЗАДАЧ ПО ТИПАМ ОДАРЁННОСТИ УЧАЩИХСЯ 7-9 КЛАССОВ В ОБЛАСТИ АСТРОНОМИИ

*Анастасия Михайловна Шихова¹, Рамиль Наильевич
Измаилов²*

*Башкирский государственный педагогический университет им.
М.Акмиллы, Уфа, Россия*

¹anastasiashikhova@yandex.ru

²izmailov.ramil@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-2225-7232>

Аннотация. Статья посвящена разработке и обоснованию системы задач по астрономии для учеников 7-9 классов, дифференцированной по типам одаренности. Рассматриваются различные типы одаренности (академическая, интеллектуальная, творческая, практическая) и предлагаются соответствующие типы задач, позволяющие эффективно развивать способности каждого учащегося. Приводится подробная классификация задач, цель которых – углублённое изучение предмета, повышение мотивации и развитие творческого начала.

Ключевые слова: Астрономия, одаренность, дифференциация, школьное образование

Для цитирования: Шихова А.М., Измаилов Р.Н. Дифференциация систем задач по типам одарённости учащихся 7-9 классов в области астрономии // Вестник Башкирского государственного педагогического университета им. М.Акмиллы. Серия: Естественные науки. 2026. № 1. С. 140-150.

EDUCATION AND PEDAGOGICAL SCIENCES

Original article

DIFFERENTIATION OF TASK SYSTEMS BASED ON TYPES OF STUDENTS GIFTEDNESS IN GRADES 7-9 ASTRONOMY CURRICULUM

Anastasia M. Shikhova¹, Ramil N. Izmailov²

Bashkir State Pedagogical University n.a. M. Akmulla, Ufa, Russia

¹*anastasiashikhova@yandex.ru*

²*izmailov.ramil@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-2225-7232>*

Abstract. The article is devoted to the development and justification of a system of astronomy tasks for students in grades 7-9, differentiated by types of giftedness. Various types of giftedness are considered (academic, intellectual, creative, practical), and corresponding task types are proposed that allow effective development of each student's abilities. A detailed classification of tasks is provided, aimed at deepening subject knowledge, increasing motivation, and developing creativity.

Key words: Astronomy, Giftedness, Differentiation, School Education

For citing: Shikhova A.M., Izmailov R.N. Differentiation of task systems based on types of students' giftedness in grades 7-9 astronomy curriculum // Bulletin of Bashkir State Pedagogical University named after M. Akmulla. Series: Natural Sciences. 2026. No.1. pp. 140-150.

Введение. После длительного периода снижения интереса к астрономии наблюдается тенденция возвращения внимания к изучению небесных тел и явлений. Это связано с ростом научного прогресса, развитием технологий наблюдения космоса и популяризацией космических миссий. Однако при таком возрождении остро ощущается дефицит современных методических материалов, соответствующих новым образовательным стандартам и требованиям современного мира.

Существует значительный недостаток методических разработок нового поколения, направленных на дифференцированный подход к обучению школьников. Традиционные методы часто оказываются неэффективными, особенно при работе с учащимися, проявляющими повышенные способности в определенной области знания. Дифференциация учебных заданий становится необходимым условием качественного образования, способствующим раскрытию потенциала каждого ученика.

К сожалению, при работе в школе была обнаружена неэффективность усредненного подхода к обучению детей с высокими познавательными интересами и возможностями. Стандартизированные задания зачастую не позволяют раскрыть потенциал талантливых учеников, ограничивая их возможности для самовыражения и дальнейшего роста. Необходимо создание специальных условий, позволяющих каждому ребенку развиваться согласно своим индивидуальным особенностям и интересам.

Исследования показывают, что разные типы одаренности требуют разных подходов к организации учебного процесса. Система задач должна учитывать индивидуальные особенности обучающихся, стимулируя развитие интеллектуальных способностей и творческих возможностей ребенка. Именно дифференциация задач позволяет создать условия для успешного усвоения материала и формирования необходимых компетенций у всех категорий учащихся.

Особый интерес вызывает вопрос о соотношении типов задач и видов одаренности. Как показали исследования, развитие разных типов одаренности зависит не столько от уровня сложности задач, сколько от характера мыслительной деятельности, которую они стимулируют. Так, например, учащиеся с математическими способностями лучше справляются с количественными задачами, тогда как школьники с образным мышлением предпочитают решение конструктивных и наблюдательных задач.

Получается, что для эффективного развития различных типов одаренности необходимо разрабатывать наборы задач, направленные на активацию определенных видов мышления и когнитивной деятельности. Только такая продуманная система подбора задач способна привести к максимальному раскрытию интеллектуального потенциала каждого ученика.

Результаты исследования. Ниже приведена таблица, показывающая, какими типами задач лучше всего развивать разные виды одаренности в астрономии.

Таблица 1.

Связь между разными типами одаренности и соответствующими типами задач в астрономии

Вид одаренности	Рекомендуемые типы задач
Математическая	Количественные задачи
Логико-аналитическая	Качественные задачи
Образная	Наблюдательные, конструкторские задачи
Историко-культурная	Исторические задачи
Творческая	Конструкторские, проектировочные задачи
Информационно-компьютерная	Компьютерные задачи
Практико-ориентированная	Наблюдательные, практические эксперименты

Эта таблица демонстрирует связь между разными типами одаренности и соответствующими типами задач, используемых в учебном процессе по астрономии. Важно помнить, что оптимальное развитие каждой индивидуальной одаренности достигается путем

сочетания различных типов задач, позволяющих задействовать весь спектр способностей ученика.

Грамотно подобранные задачи служат мощным инструментом повышения качества обучения и развития различных видов одаренности, способствуя формированию компетентных и инициативных выпускников школ.

Рабочая типология для 7–9 классов

1. Академический тип («Эрудит»)

Этот тип характеризуется стремлением к систематическому накоплению знаний, быстрым восприятием и запоминанием большого количества фактов и сведений. Школьники с академическим типом одаренности легко воспринимают новую информацию, хорошо работают с алгоритмами и четкими инструкциями. Поэтому основным направлением задач для таких учащихся должно стать систематизация знаний, расширение горизонтов изученной информации и подготовка к решению задач повышенной сложности.

Цель задач: углубление и систематизация знаний, формирование навыков быстрого поиска и анализа больших объемов информации.

Примеры задач: составление таблиц физических свойств звёзд, хронологические последовательности открытий, установление соответствия элементов Солнечной системы характеристикам орбит и вращений.

2. Интеллектуально-исследовательский тип («Мыслитель»)

Такие ученики отличаются способностью глубоко погружаться в проблему, анализировать и синтезировать информацию, выдвигать гипотезы и искать оригинальные решения. В отличие от эрудитов, мыслители склонны рассуждать на тему причин и следствий, любят изучать механизмы возникновения явлений и закономерности. Подбор задач для них направлен на стимулирование логического мышления, выработку навыков формулирования выводов и проверки гипотез.

Цель задач: развитие критического мышления, исследовательских навыков, постановка проблем и построение аргументации.

Примеры задач: анализ причин периодичности солнечных пятен, обоснование выбора конкретного телескопа для наблюдений за конкретным объектом, составление программы наблюдения с выдвижением гипотез и последующей проверкой.

3. Творческо-образный тип («Мечтатель/Художник»)

Учащиеся с ярко выраженным творческим началом характеризуются развитым воображением, свободой ассоциаций и склонностью к визуализации образов. Такой тип одаренности проявляется в создании художественных образов, необычных

трактовок известных явлений и выработке нестандартных подходов к выполнению задач. Здесь основное внимание уделяется развитию образного мышления, развитию навыков создания собственных концептов и моделей.

Цель задач: стимулирование фантазии, развитие пространственного мышления, создание оригинальной визуализации, поощрение свободного выражения мыслей.

Примеры задач: представьте путешествие на Марс глазами художника, придумайте фантастическую историю, связанную с открытием неизвестной планеты, нарисуйте карту созвездий, которые могли бы существовать на другой планете.

4. Практик-наблюдатель

Отдельно стоит рассмотреть группу учащихся, чьи способности проявляются в практической плоскости. Дети этого типа тяготеют к непосредственным действиям, экспериментам, измерениям и сбору первичных данных. Отличительная черта таких ребят – высокая чувствительность к инструментам, технологиям и готовность осваивать новые способы действий. Задачи для них должны включать работу с оборудованием, проведение экспериментов и обработку полученных данных.

Цель задач: формирование опыта реального взаимодействия с предметами и инструментами, получение первичного исследовательского опыта.

Примеры задач: использование онлайн-обсерваторий для фиксации данных о положении планет, обработка спутниковых изображений, настройка самодельного телескопа для наблюдения Луны.

Данная рабочая типология была разработана на основе отечественных и зарубежных исследований в области детской одаренности и направлена на эффективное взаимодействие педагогов с уникальными свойствами и наклонностями учащихся, позволяя построить дифференцированную программу задач, соответствующую их природным способностям и желаниям.

Система задач по тематическим модулям. Предлагаемая система задач предназначена для реализации на уроках астрономии и охватывает весь курс обучения в основной школе. Система построена по принципу тематических модулей, последовательно раскрывающих главные темы курса. В каждом модуле представлен комплекс задач трёх типов, ориентированных на развитие разных видов одаренности.

Тематические модули:

- Солнечная система
- Звезды и их эволюция
- Галактики и Вселенная

- Космос и жизнь

Каждый модуль делится на части, содержащие задачи, предназначенные для учеников с разными типами одаренности.

Таблица 2.

Примерная матрица задач по модулю «Солнечная система»

Тема	Тип одаренности	Пример задачи	Цель задания	Формируемые УУД/компетенции	Форма ответа
Строение Солнечной системы	Академик ("Эрудит")	Определите массу Венеры относительно Земли.	Проверка вычислительных навыков и точности.	Регулятивные УУД: самоконтроль, оценка собственной деятельности.	Число, запись расчёта
	Мыслитель ("Исследователь")	Что произойдёт с Землёй, если Солнце станет красным гигантом? Аргументируйте ваш ответ.	Развитие аналитического мышления и прогностических способностей.	Познавательные УУД: анализ, сравнение, обобщение.	Устный ответ, письменное обоснование
	Мечтатель ("Художник")	Изобразите схематично движение планет вокруг Солнца и поясните смысл рисунка.	Развитие художественного восприятия и наглядно-образного мышления.	Коммуникативные УУД: оформление мысли в наглядной форме.	Рисунок с подписью
Размеры планет и расстояние между ними	Академик ("Эрудит")	Рассчитайте среднее расстояние от Земли до Сатурна.	Применение формул и закрепление основополагающих знаний.	Регулятивные УУД: планирование, контроль, коррекция.	Численный ответ
	Мыслитель ("Исследователь")	Оцените, насколько реально достичь	Развитие навыков критического мышления и	Познавательные УУД: выдвижен	Эссе

		ближайших экзопланет с существующими технологиями. Приведите аргументы.	оценки перспектив.	ие гипотез, проверка предположений.	
	Мечтатель ("Художник")	Создайте рисунок-карту Солнечной системы с изображением ваших любимых планет.	Стимуляция образного мышления и творческого начала.	Личностные УУД: осознание собственного отношения к миру.	Иллюстрация
Жизнь на Земле и её происхождение	Академик ("Эрудит")	Заполните таблицу сравнения атмосфер Земли и Марса.	Закрепление базовых знаний о составе атмосферы планет.	Регулятивные УУД: структурирование информации.	Таблица
	Мыслитель ("Исследователь")	Какие факторы определяют вероятность зарождения жизни на спутниках Юпитера?	Повышение уровня аналитических способностей.	Познавательные УУД: выделение главного, классификация признаков.	Презентация, доклад
	Мечтатель ("Художник")	Опишите своё видение жизни на экзопланете Kepler-452b. Нарисуйте обитаемую среду.	Совершенствование навыков образного видения и художественной выразительности.	Личностные УУД: принятие ценностей культурного наследия.	Рассказ с рисунком

Таблица 3.

Примерная матрица задач по модулю «Звёзды и их эволюция»

Тема	Тип одаренности	Пример задачи	Цель задания	Формируемые УУД/компетенции	Форма ответа

Основы строения звёзд	Академик ("Эрудит")	Вычислите температуру поверхности звезды спектрального класса F0V.	Проверка вычислительных навыков и точность.	Регулятивные УУД: самоконтроль, самооценка.	Числовой ответ
	Мыслитель ("Исследователь")	Чем объясняется изменение цвета звезды с возрастом? Докажите свое утверждение.	Развитие аналитического мышления и понимания эволюции звёзд.	Познавательные УУД: анализ, сопоставление, рассуждение.	Научный доклад
	Мечтатель ("Художник")	Нарисуйте картину умирающей звезды, передав ощущение грандиозности события.	Развитие образного мышления и художественного восприятия.	Личностные УУД: самоопределение через искусство.	Художественная картина
Звёздные спектры и химический состав	Академик ("Эрудит")	Расшифруйте линии спектра звезды класса K5III.	Закрепление знаний о классификации звёзд.	Регулятивные УУД: планирование и коррекция действий.	Таблица расшифровки линий спектра
	Мыслитель ("Исследователь")	Сделайте выводы о составе звезды по спектральному анализу.	Формирование навыков аналитического мышления.	Познавательные УУД: установление причинно-следственных связей.	Эссе, анализ
	Мечтатель ("Художник")	Подготовьте коллаж, изображающий жизненный цикл звезды.	Стимуляция образного мышления и способности к визуализации.	Коммуникативные УУД: передача смысла визуально.	Графический коллаж
Жизненный цикл звёзд	Академик ("Эрудит")	Сколько примерно времени потребуется звезде типа нашего Солнца, чтобы пройти	Применение знаний о стадиях эволюции звёзд.	Регулятивные УУД: расчёт временных интервалов.	Число, расчеты

		стадию красного гиганта?			
	Мыслитель ("Исследователь")	Оцените вероятность обнаружения двойных звёздных систем вблизи нашей Галактики.	Развитие навыков критического мышления и оценки вероятности.	Познавательные УУД: вероятностные рассуждения.	Исследование, выводы
	Мечтатель ("Художник")	Опишите ваше представление о путешествии к нейтронной звезде. Включите рисунки.	Активизация образного мышления и творческое начало.	Личностные УУД: развитие внутренней свободы через творчество.	Рассказ с иллюстрациями

Представленная система задач призвана обеспечить глубокое освоение учебного материала по астрономии, создавая условия для полного раскрытия интеллектуального и творческого потенциала учащихся. Использование комплекса разноуровневых задач способствует формированию всесторонней компетенции и содействует становлению личности молодого гражданина, способного ориентироваться в современном мире науки и техники.

Заключение. Подводя итоги, разработка дифференцированной системы задач по астрономии, адаптированной под разные типы одарённых учащихся, способствует повышению учебной мотивации, лучшему усвоению материала и полноценному раскрытию интеллектуального и творческого потенциала каждого школьника. Применение такого подхода обеспечивает индивидуализацию образовательного процесса, что ведет к формированию компетентных и инициативных молодых граждан, готовых успешно ориентироваться в современных условиях научного и технологического развития

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Бабанов С.В. Дифференцированный подход в обучении астрономии: учебно-методическое пособие. – Астрахань: Астраханский государственный университет, 2020. – 160 с.

2. Боголюбов Л.Н. Современные тенденции в образовании: учебно-методическое пособие. – Москва: Академия, 2021. – 240 с.

3. Румянцев А.Ю. Методика преподавания астрономии в средней школе: курс лекций по методике преподавания астрономии для учителей физики и астрономии и студентов физико-математических факультетов педагогических вузов. – Режим доступа: <http://www.astronet.ru/db/msg/1177040> (дата обращения: 05.02.2024).

4. Филиппова Л.А. Дифференцированное обучение учащихся по индивидуальным траекториям: учебно-методическое пособие. – Архангельск: Северный Арктический федеральный университет, 2016. – 180 с.

5. Шефер О.Р., Шахматова В.В. Методика изучения элементов астрономии в курсе физики основной и средней (полной) школе: монография. – Челябинск: Издательство ИИУМЦ «Образование», 2010. – 252 с.

REFERENCES

1. Babanov S.V. Differentsirovanny podkhod v obuchenii astronomii: uchebno-metodicheskoe posobie [Differentiated approach in teaching astronomy: a teaching aid]. – Astrakhan: Astrakhanskiy gosudarstvennyy universitet, 2020. – 160 s.

2. Bogolyubov L.N. Sovremennye tendentsii v obrazovanii: uchebno-metodicheskoe posobie [Modern trends in education: a teaching aid]. – Moscow: Akademiya, 2021. – 240 s.

3. Rumyantsev A.Yu. Metodika prepodavaniya astronomii v sredney shkole: kurs lektsiy po metodike prepodavaniya astronomii dlya uchiteley fiziki i astronomii i studentov fiziko-matematicheskikh fakul'tetov pedagogicheskikh vuzov [Methods of teaching astronomy in secondary school: a course of lectures on methods of teaching astronomy for teachers of physics and astronomy and students of physics and mathematics faculties of pedagogical universities]. – Режим доступа: <http://www.astronet.ru/db/msg/1177040> (data obrashcheniya: 05.02.2024).

4. Filippova L.A. Differentsirovannoe obuchenie uchashchikhsya po individual'nym traektoriyam: uchebno-metodicheskoe posobie [Differentiated education of students according to individual trajectories: a teaching aid]. – Arkhangelsk: Severnyy Arkticheskii federal'nyy universitet, 2016. – 180 s.

5. Shefer O.R., Shakhmatova V.V. Metodika izucheniya elementov astronomii v kurse fiziki osnovnoy i sredney (polnoy) shkole: monografiya [Methods of studying elements of astronomy in the physics

course of basic and secondary (full) school: a monograph]. – Chelyabinsk: Izdatel'stvo IUMTs «Obrazovanie», 2010. – 252 s.

Информация об авторах

Р.Н. Измаилов – кандидат физико-математических наук, доцент, старший научный сотрудник;
А.М. Шихова – студент.

Information about the authors

R.N. Izmailov – candidate of science (physics and mathematics), docent, senior researcher;
A.M. Shikhova – student.

Вклад авторов:

А.М. Шихова – сбор и анализ литературных источников, разработка типологии задач, составление матриц задач по модулям «Солнечная система» и «Звёзды и их эволюция», написание текста статьи.
Р.Н. Измаилов – научное руководство, концепция исследования, разработка методологии дифференцированного подхода, редактирование текста, утверждение окончательного варианта. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Contribution of the authors:

A.M. Shikhova – collection and analysis of literary sources, development of task typology, compilation of task matrices for the modules "Solar System" and "Stars and their evolution", writing the text of the article.
R.N. Izmailov – scientific supervision, research concept, development of differentiated approach methodology, editing of the text, approval of the final version.
The authors declare no conflict of interest.

Статья поступила в редакцию 05.02.2026; принята к публикации 07.03.2026.

The article was submitted 05.02.2025; accepted for publication 07.03.2026.

ПРАВИЛА ДЛЯ АВТОРОВ

**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 должен быть представлен в одном из следующих форматов:

- *Оригинальная (научно-исследовательская) статья (объем до 8 страниц)*

Представляет завершенные результаты *эмпирического* (экспериментального, аналитического, корпусного) или *теоретического исследования*, выполненного автором.

Структура: статья должна иметь четкую логическую структуру. Для *эмпирических* исследований рекомендуется схема IMRaD (Введение, методы, результаты и обсуждение, выводы). Для *теоретических* работ допустима более свободная, но аргументированная композиция (постановка проблемы, анализ концепций, аргументация, выводы).

- *Обзорная (аналитическая) статья (объем до 16 страниц)*

Содержит систематизированный анализ, синтез и критическое обобщение ранее опубликованных научных работ по конкретной, обычно узкой, теме.

Цель: выявление основных тенденций, школ, противоречий в развитии научного знания, оценка состояния проблемы и определение перспективных направлений для будущих исследований. Не является простым пересказом источников.

- *Краткое научное сообщение (объем до 3 страниц)*

Предназначено для оперативной публикации: предварительных (пилотных) результатов исследования; описания отдельного научного наблюдения, уникального случая (кейса) или находки; изложения нового метода или методики; краткой теоретической позиции или научной дискуссии.

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». Допустимый уровень оригинальности текста научной статьи (за исключением правильно оформленных цитат, библиографических описаний и стандартных формулировок) составляет не менее 75%. Статьи, не соответствующие данному требованию, к рассмотрению не принимаются.

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> Форма согласия субъекта ПДн на обработку ПДн БГПУ образец (1));

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. Фамилия, имя, отчество (полностью), наименование организации, где выполнена работа, город, страна, электронный адрес, ORCID;

3. Аннотация (содержит основные цели предмета исследования, главные результаты и выводы объёмом 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;*

Методы:

- *теоретико-методологические основы и методы исследования (материалы, процедуры, участники; подробно описывается то, как проводилось исследование);*

Результаты исследования

(здесь максимально присутствуют таблицы, схемы, графики, математические выкладки.);

Обсуждение:

- *ответ на гипотезу;*

- *сопоставление с другими исследованиями;*

- *описание вклада в науку;*

Заключение:

- *выводы;*

- *возможные направления дальнейших исследований.*

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

9. Транслитерация (Reference) с переводом названия источника;

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

11. Вклад авторов.

Отсутствие конфликта интересов.

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, ПАО, АО 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, ²Институт социально-политических исследований, Федеральный научно-исследовательский социологический центр, Российская академия наук, Москва, Россия

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

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

После сведений обо всех авторах на отдельной строке в начале статьи.

Пример –

Автор, ответственный за переписку: Иван Васильевич Перов, ivp@mail.ru

Corresponding author: Ivan V. Perov, ivp@mail.ru

4. Когда приводят электронный адрес только одного автора или данный автор указан отдельно как ответственный за переписку, электронные адреса других авторов приводят в дополнительных сведениях об авторах в конце статьи.

5. 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. Объем 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 помощь 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.

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

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

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

25. 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.

26. Сведения о вкладе каждого автора, если статья имеет несколько авторов, приводят в конце статьи после «Информации об авторах». Этим сведениям предшествуют слова «Вклад авторов:» (“Contribution of the authors:”). После фамилии и инициалов автора в краткой форме описывается его личный вклад в написание статьи (идея, сбор материала, обработка материала, написание статьи, научное редактирование текста и т. д.).

Пример –

Вклад авторов:

Артемьева С.С. – научное руководство; концепция исследования; развитие методологии; участие в разработке учебных программ и их реализации; написание исходного текста; итоговые выводы.

Митрохин В.В. – участие в разработке учебных программ и их реализации; доработка текста; итоговые выводы.

Contribution of the authors:

Artemyeva S.S. – scientific management; research concept; methodology development; participation in development of curricula and their implementation; writing the draft; final conclusions.

Mitrokhin V.V. – participation in development of curricula and their implementation; follow-on revision of the text; final conclusions.

27. Сведения об отсутствии или наличии конфликта интересов и детализацию такого конфликта в случае его наличия приводят в конце статьи после «Информации об авторах». Если в статье приводят данные о вкладе каждого автора, то сведения об отсутствии или наличии конфликта интересов указывают после них.

Пример –

Вклад авторов: все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Contribution of the authors: the authors contributed equally to this

article.

The authors declare no conflicts of interests.

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 ; ξ и ζ ; v, ϑ и ν и т.д. Прописные и строчные буквы, различающиеся только своими размерами (C и c , K и k , S и s , O и o , Z и z и др.), подчеркиваются карандашом двумя чертами: прописные – снизу, строчные – сверху ($\underline{P}, \overline{p}, \underline{S}, \overline{s}$). 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 ($\frown$ – для нижних индексов и $\smile$ – для верхних) карандашом. Цифра 0 (ноль), а также сокращения слов в индексах подчеркиваются прямой скобкой – $_$.

Употребление в формулах специальных, в частности, готических и русских букв, а также символов (например, $\mathcal{L}, \mathcal{P}, \mathcal{A}, \mathcal{D}, \mathcal{M}, \mathcal{G}, \mathcal{Z}, \mathcal{P}, \mathcal{R}, \nabla, \oplus, \exists$ 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

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

¹*ivanov@mail.ru*

²*nova8@mail.ru*

Автор, ответственный за переписку: Иван Иванович Иванов,
ivanov@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

Corresponding author: Ivan I. Ivanov, ivanov@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:

Введение:

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

Методы:

- теоретико-методологические основы и методы исследования (материалы, процедуры, участники; подробно описывается то, как проводилось исследование);

Результаты исследования

(здесь максимально присутствуют таблицы, схемы, графики, математические выкладки.);

Обсуждение:

- ответ на гипотезу;
- сопоставление с другими исследованиями;
- описание вклада в науку;

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 ижады. 5-се том. Тарихи кобайырзар, хикәйттәр, иртәктәр. / Төзөүсе, инеш мәкәлә, коммент., глоссарий авторы Н.Т. Зарипов. Яуаплы редактор З.Ф. Ураксин. – Өфө, 2000. – 391 б.
4. Башкорт халык ижады. XIII т. Хайуандар тураһында 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 халык ижады. Әкиәттәр III ҡитап / 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 халык ижады. Йола фольклоры / Төз., инеш һүз, аңл. авт-ры Ә. Сөләймәнов, Р. Солтангәрәева. – Өфө, Китап: 1995. – 556 б.
7. Башкорт халык ижады. Мәкәлдәр һәм әйтемдәр. Беренсе ҡитап / Төз., башһүз, аңлатм. авторы. Ф.А. Нәзершина. – Өфө: Китап, 2006. – 544 б.
8. Башкорт халык ижады. Т.5. Тарихи кобайырзар, хикәйттәр, 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 бөгөн. – 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-kraevedy).

3. Bashkort halyk izhady. 5-se tom. Tarihi kobajyrzar, hikəjəttər, irtəktər [Bashkir folk art. Volume 5. Historical kubairs, legends, tales] / Təzəyşe, inesh məkələ, komment., glossarij avtory N.T. Zaripov. YAuply redaktor Z.F. Uraksin. – Əfə, 2000. – 391 b.

4. Bashkort halyk izhady. XIII t. Hajuandar turahynda əkiəttər [Bashkir folk art. XIII vol. Animal Tales] / Təz, bash hüz avtory G.R. Həsəjenova, aql. avt-ry L.G. Barag, M.M. Mingazhetdinov, G.R. Həsəjenova. – Əfə: Kitap, 2009. – 200 b.

5. Bashkort halyk izhady. Əkiəttər III kitap [Bashkir folk art. Fairy Tales book III] / Təz. N.T. Zaripov, M.M. Minhazhetdinov, aql. avt-ry L.G. Barag, N.T. Zaripov. – Əfə: Bashkitap nəshriəte, 1978, – 351-se b.

6. Bashkort halyk izhady. Jola fol'klory [Bashkir folk art. Ritual folklore] / Təz., inesh hüz, aql. avt-ry Ə. Sələjmənov, R. Soltangəräeva. – Əfə, Kitap: 1995. – 556 b.

7. Bashkort halyk izhady. Məkəldər həm əjtemdər. Berense kitap [Bashkir folk art. Proverbs and sayings. The first book] / Təz., bashhüz, aqlatm. avtory. F.A. Nəzershina. – Əfə: Kitap, 2006. – 544 b.

8. Bashkort halyk izhady. T.5. Tarihi kobajyrzar, hikəjəttər, irtəktər [Bashkir folk art. Vol. 5. Historical kubairs, tales, tales] / Təzəyşe, inesh məkələ, komment., glossarij avtory N.T. Zaripov. YAuply redaktor Z.F. Uraksin. – Əfə, Kitap, 2000. 5-se tom, 391 s.

9. Beryozkin YU.E. Rekonstrukciya syuzheta sozdaniya cheloveka u stepnyh indoevropejcev [Reconstruction of the plot of human

creation among the steppe Indo-Europeans] // Kul'tury stepnoj Evrazii i ih vzaimodejstvie s drevnimi civilizacijami. – 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 simbolika naroda Saha [Archaic ritual and ceremonial symbols of the Sakha people]. – Novosibirsk: Nauka, 2004. – 312s.

12. Inan A. SHamanizm tarihta hem bogen [Shamanism in history and today]. – Öfö: Kitap, 1998, 223 b.

13. Kukanova V.V. Arhaicheskie predstavleniya o vetre 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 vozdushnoj 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, funkcii 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.**

Подписано в печать: 12.05.2026 г.

Формат 70×108/16

Бумага офсетная.

Гарнитура Times New Roman.

Усл. печ. л. 10,8.

Уч-изд.л. 9,25.

Тираж 1000 экз.

Отпечатано в ИП Копыльцов П.И.

394052, Воронежская область, г. Воронеж, ул. Маршала

Неделина, д. 27, кв. 56.

Тел.: 89507656959. E-mail: Kopyltsow_Pavel@mail.ru

Бесплатно.