АКМУЛЛИНСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

ISSN 3034-266X

# ВестниК 16+

Башкирского государственного педагогического университета им. М. Акмуллы



## Серия: Естественные науки

3/2026

16 +

# ВЕСТНИК

## БАШКИРСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО ПЕДАГОГИЧЕСКОГО УНИВЕРСИТЕТА ИМ. М. АКМУЛЛЫ

**Научно-практический журнал**
**Серия:**
**Естественные науки**
**№ 3/2026**

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

**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. Акмуллы.
© 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, заместитель директора по научной работе Башкирского научно-исследовательского института сельского хозяйства – обособленное структурное подразделение ФГБНУ УФИЦ РАН (г. Уфа, Россия). |
| **Семенов Владимир Григорьевич** | д-р биол. наук, профессор, зав. кафедрой морфологии, акушерства и терапии ФГБОУ ВО «Чувашский государственный аграрный университет» (г. Чебоксары, Россия). |
| **Суханова Наталья Викторовна** | д-р биол. наук, зав. кафедрой биоэкологии и биологического образования ФГБОУ ВО «Башкирский государственный педагогический университет им. М. Акмуллы» (г. Уфа, Россия). |
| **Улугов Одилджон Пардаалиевич** | канд. с.-х. наук, зав. кафедрой естествознания ОУ «Таджикский государственный финансово-экономический университет» (г. Душанбе, Таджикистан). |
| **Юлдашбаев Юсупжан Артыкович** | д-р с.-х. наук, профессор, академик РАН, ФГБОУ ВО «РГАУ – МСХА им. К.А. Тимирязева» (г. Москва, Россия). |
| **Юсупов Азат Равилевич** | канд. ф.-м. наук, директор института физики, математики, цифровых и нанотехнологий ФГБОУ ВО «Башкирский государственный педагогический университет им. М. Акмуллы» (г. Уфа, Россия). |

## СОДЕРЖАНИЕ

### БИОЛОГИЧЕСКИЕ НАУКИ

***Абдюшев Л.Р., Саттаров В.Н., Ильясов Р.А.*** 6
Дополнение к энтомофауне Республики Башкортостан: вид *Gymnopleurus mopsus* Pall.

### ХИМИЧЕСКИЕ НАУКИ

***Гасанов Э.К., Мурадов У.С., Аббасов В.М., Алиев Т.С.*** 13
Синтез солей металлов пальмитиновой кислоты (Ni, Fe, Zn и Cr) и их исследование в качестве антистатической добавки к дизельному топливу

***Гурбанова У.Р., Расулов Ч.К., Гасымова Ф.И., Гейдарли Г.З., Сулейманова П.В.*** 24
Производные хлорогеновой кислоты в качестве фитостимуляторов роста растений

***Мамедова П.Ш., Бабаев Э.Р., Кахраманова К.Р., Алмамедова А.Э., Ибрагимова Т.М., Муштагова Ф.Г.*** 46
Биоремедиация почв, загрязненных нефтью и нефтепродуктами

### ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ФИЗИКА

***Павлов В.Д.*** 67
Электростатическое и гравитационное поля: проблемы с энергетическим балансом

### ОБРАЗОВАНИЕ И ПЕДАГОГИЧЕСКИЕ НАУКИ

***Искендерова С.М.*** 78
Профессиональное экологическое образование в университетах Азербайджана

***Ткаченко Е.А.*** 98
Хромато-Рефлексо-Графическая Методика (ХРГМ) преподавания химии в 8-9 классах средней школы

# ПРАВИЛА ДЛЯ АВТОРОВ

*Общие положения* 113

*Рекомендуемая структура публикаций* 114

*Требования к текстовой части статьи* 123

*Образцы оформления ссылок на литературу* 124

БИОЛОГИЧЕСКИЕ НАУКИ

Научная статья
УДК 595.764 (470.57)
DOI 10.21510/3034-266X-2026-3-6-12

# ДОПОЛНЕНИЕ К ЭНТОМОФАУНЕ РЕСПУБЛИКИ БАШКОРТОСТАН: ВИД GYMNOPLEURUS MOPSUS *PALL.*

***Ленар Рустемович Абдюшев*[1], *Венер Нуруллович Саттаров*[2], *Рустем Абузарович Ильясов*[3]**
[1]*МАОУ Лицей №5, Уфа, Россия, loxias220410@mail.ru*
[2]*Башкирский государственный педагогический университет им. М. Акмуллы, Уфа, Россия, wener5791@yandex.ru*
[3]*Институт биологии развития им. Н.К. Кольцова РАН, Москва, Россия, apismell@hotmail.com*

***Аннотация.*** В статье представлены сведения о наблюдении на территории Республики Башкортостан (РБ) *Gymnopleurus mopsus* (семейство пластинчатоусые Scarabaeidae, подсемейство Scarabaeinae, род *GYMNOPLEURUS*), который ранее не регистрировался в регионе. Как отмечают эксперты, всеобщая трансформация климата в современный период является очевидным процессом. Динамика биоразнообразия, безусловно, зависит от флуктуаций погодно-климатических факторов, но климат не является единственной причиной, на популяции живых организмов влияет множество абиотических и биотических факторов, включая и антропогенные. Однако, известно, что изменение климата выражается не только в повышении температуры, экстремальных погодных явлениях, но также в смене популяций диких животных и их мест обитания. Обнаружение нового для региона вида может быть следствием антропогенного воздействия, либо свидетельствует о том, что *Gymnopleurus mopsus* ранее обитал на территории республики, но не был выявлен из-за отсутствия целенаправленных исследований. Таким образом, несмотря на наличие различных факторов, список энтомофауны РБ пополнился еще одним видом.

***Ключевые слова:*** *Gymnopleurus mopsus*, Зианчуринский район, село Абзаново, Республики Башкортостан.

***Для цитирования:*** Абдюшев Л.Р., Саттаров В.Н., Ильясов Р.А. Дополнение к энтомофауне Республики Башкортостан:

© Абдюшев Л. Р., Саттаров В. Н., Ильясов Р. А., 2026.

GYMNOPLEURUS MOPSUS *PALL.* // Вестник Башкирского государственного педагогического университета им. М. Акмуллы. Серия: Естественные науки. 2026. №3. С. 6-12.

BIOLOGICAL SCIENCES

Original article

# SUPPLEMENT TO THE ENTOMOFAUNA OF THE REPUBLIC OF BASHKORTOSTAN: GYMNOPLEURUS MOPSUS PALL.

***Lenar R. Abdyushev[1], Vener N. Sattarov[2], Rustem A. Ilyasov[3]***
*[1]Lyceum No. 5, Ufa, Russia, loxias220410@mail.ru*
*[2]Bashkir State Pedagogical University named after M. Akmulla, Ufa, Russia, wener5791@yandex.ru*
*[3]Koltsov Institute of Developmental Biology of Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia, apismell@hotmail.com*

***Abstract.*** This article presents data on the observation of *Gymnopleurus mopsus* (family Scarabaeidae, subfamily Scarabaeinae, genus Gymnopleurus) in the Republic of Bashkortostan (RB), which had not previously been recorded in the region. Experts note that global climate change in the modern era is an obvious process. Biodiversity dynamics certainly depend on fluctuations in weather and climate factors, but climate is not the sole cause; populations of living organisms are influenced by many abiotic and biotic factors, including anthropogenic ones. However, it is known that climate change manifests itself not only in rising temperatures and extreme weather events but also in shifts in wild animal populations and their habitats. The discovery of a species new to the region may be a consequence of anthropogenic impact, or it indicates that *Gymnopleurus mopsus* previously inhabited the republic but was not identified due to a lack of targeted research. Thus, despite the presence of various factors, the list of entomofauna of the Republic of Belarus was replenished with one more species.

***Keywords:*** *Gymnopleurus mopsus*, Zianchurinsky district, Abzanovo village, Republic of Bashkortostan.

***For citation:*** Abdyushev L.R., Sattarov V.N., Ilyasov R.A. Supplement to the entomofauna of the Republic of Bashkortostan: *Gymnopleurus mopsus* Pall. // Bulletin of the Bashkir State Pedagogical University named after M. Akmulla. Series: Natural Sciences. 2026. No.3. pp. 6-12.

Специалисты отмечают, что фауна пластинчатоусых (Scarabaeidae) жуков является наиболее изученной таксономической группой жесткокрылых. Шохин И.В. по этому поводу писал, что в вышедших за последнее 40 лет научных работах достаточно подробно

освещена фауна регионов. На территории Южной России первые данные о пластинчатоусых жуках были собраны в ходе академических экспедиций» [1]. Ученые отмечают, что семейство Scarabaeidae насчитывает около 25 тыс. видов. Объем семейства точно не установлен и дискутируется разными авторами, для многих групп западными систематиками признается ранг самостоятельных семейств. Также не известен объем подсемейств [2]. Триба Gymnopleurini включает 108 видов из 4 родов, распространенных в Восточном полушарии. Род Gymnopleurus Illiger, 1803 включает около 45 видов из 2 подродов, распространенных в южной части Средней Европы, Северной Африке, Передней Азии, Забайкалье, Монголии, Северном и Центральном Китае [1].

Автором данной статьи 7 июня 2025 г. впервые в Республике Башкортостан (окрестностях села Абзаново (51.857700, 56.763865) Зианчуринского района, на степной возвышенности, вдоль места выгула лошадей в экскрементах, рис. 1, 2).) были пойманы три экземпляра *Gymnopleurus mopsus* (Pallas, 1781) (рис. 3).



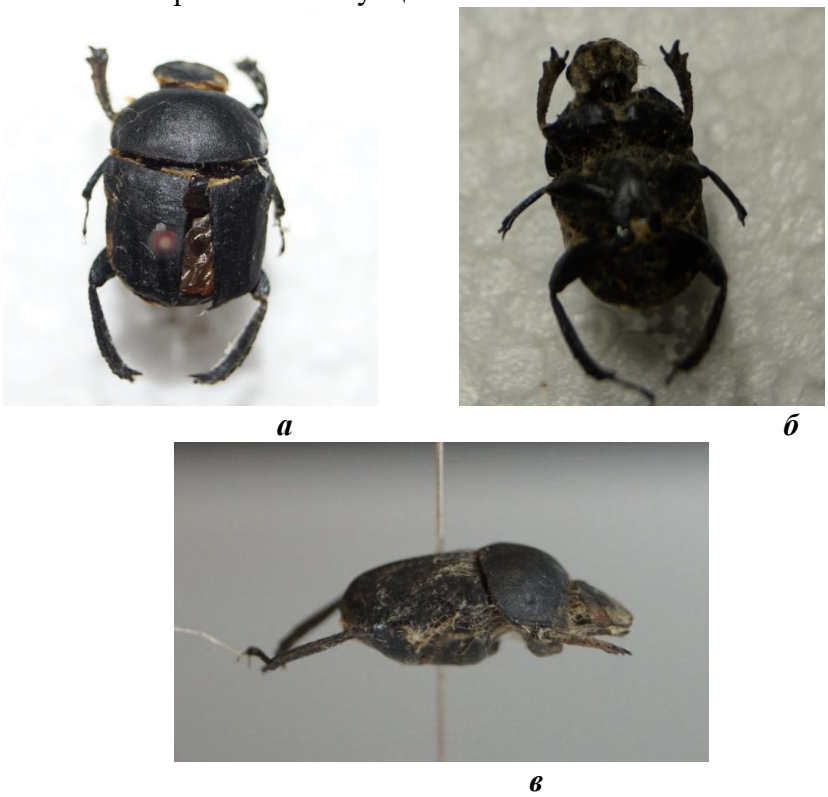
*Рис. 1 – Расположение Зианчуринского района (выделено красным цветом) на карте Республики Башкортостан*



*Рис. 2 – Биотоп, где обнаружены экземпляры Gymnopleurus mopsus* Pall. *(фото Л.Р. Абдюшева)*

Размеры тела *Gymnopleurus mopsus* – 13-16 мм, окраска и поверхность – черная и матовая, головной щит спереди с выемкой, на

краю надкрыльев имеется глубокая вырезка, на передних голенях располагаются три больших зубца.



***а*** ***б***

***в***

*Рис. 3 – Gymnopleurus mopsus* Pall.: *а – вид сверху; б – вид с брюшной стороны; в – вид сбоку (фото Л.Р. Абдюшева)*

Специалисты [2] отмечают, что ключевым признакам для определения пола жука является шпора, расположенная на конце голени. У самок она изогнута наружу и выглядит относительно длинной при взгляде сверху. У самцов шпора изогнута вниз и кажется более короткой. Исходя из данных морфологических характеристик, обнаруженные в Зианчуринском районе экземпляры жуков *Gymnopleurus mopsus* являются самцами (Рис. 4, 5).

Таким образом, в статье представлены сведения о наблюдении на территории Республики Башкортостан (РБ) *Gymnopleurus mopsus* (семейство пластинчатоусые Scarabaeidae, подсемейство Scarabaeinae, род GYMNOPLEURUS), который ранее не регистрировался в регионе. В этой связи, хотелось бы отметить, как отмечают эксперты, что всеобщая трансформация климата в современный период является очевидным процессом.

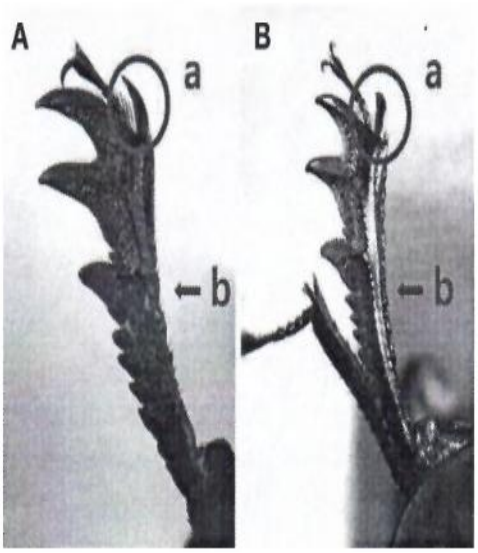



*Рис. 4 - Gymnopleurus mopsus*: *голени самки (A) и самца (B), a – шпора голени, b – внутренние зубцы [2]*




*Рис. 5 - голень Gymnopleurus mopsus – самец (фото Л.Р. Абдюшева)*

Динамика биоразнообразия, безусловно, зависит от флуктуаций погодно-климатических факторов, но климат не является единственной причиной, на популяции живых организмов влияет множество абиотических и биотических факторов, включая и антропогенные [3]. Однако, известно, что изменение климата выражается не только в повышении температуры, экстремальных погодных явлениях, но также в смене популяций диких животных и их мест обитания [4]. Обнаружение нового для региона вида может быть следствием антропогенного воздействия, либо свидетельствует о том, что *Gymnopleurus mopsus* ранее обитал на территории республики, но не был выявлен из-за отсутствия целенаправленных исследований. Таким образом, несмотря на наличие различных факторов, список энтомофауны РБ пополнился еще одним видом.

## СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Шохин И.В. Материалы к фауне пластинчатоусых жуков (Coleoptera, Scarabaeoidea) Южной России / И.В. Шохин // Кавказский энтомол. бюллетень – 2007. - №3(2). – С.105–185

2. Chang Seob Lim, Hak Myeong Baek, Sung Hwan Park, Jargalsaikhan Purevdorj, Min Hwa Hong, Kyung Duk Han and Yeon Jae Bae Morphological Characteristics of Gymnopleurus mopsus (Coleoptera:

Scarabaeidae) with a New Sex Discrimination Method // Entomological Research Bulletin – 2015. - 31(2). – pp.126-129.

3. Шляхтин Г.В. Изменение климата и биоразнообразия животного мира севера Нижнего Поволжья / Г.В. Шляхтин, В.В. Аникин, Е.Ю. Мосолова // Вестник российских университетов. Математика. – 2013. - №18(3). – С.922-927.

4. Оганесян В.С. Влияние климатических изменений на ареалы беспозвоночных (Diptera, Molluska) Тавушской области Армении / В.С. Оганесян, Л.С. Мирумян, А.С. Гаспарян и др. // Юг России: экология, развитие. – 2023. – №18(2). – С.15-20. https://doi.org/10.18470/1992-1098-2023-2-15-20

## REFERENCES

1. Shokhin I.V. Materials on the fauna of scarab beetles (Coleoptera, Scarabaeoidea) of Southern Russia / I.V. Shokhin // Caucasian Entomol. Bulletin – 2007. – No. 3 (2). – pp. 105–185

2. Chang Seob Lim, Hak Myeong Baek, Sung Hwan Park, Jargalsaikhan Purevdorj, Min Hwa Hong, Kyung Duk Han and Yeon Jae Bae Morphological Characteristics of Gymnopleurus mopsus (Coleoptera: Scarabaeidae) with a New Sex Discrimination Method // Entomological Research Bulletin – 2015. – 31 (2). – pp. 126–129.

3. Shlyakhtin G.V. Climate change and biodiversity of fauna in the northern Lower Volga region / G.V. Shlyakhtin, V.V. Anikin, E.Yu. Mosolova // Bulletin of Russian Universities. Mathematics. – 2013. – No. 18 (3). – pp. 922-927.

4. Oganesyan V.S. The impact of climate change on the ranges of invertebrates (Diptera, Molluska) of the Tavush region of Armenia / V.S. Oganesyan, L.S. Mirumyan, A.S. Gasparyan, et al. // South of Russia: ecology, development. – 2023. – No.18 (2). – pp. 15-20. https://doi.org/10.18470/1992-1098-2023-2-15-20

### *Информация об авторах*

***Л.Р. Абдюшев*** – учащийся лицея;

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

***Р.А. Ильясов*** – доктор биол. наук, ведущий научный сотрудник лаборатории нейробиологии развития.

### *Information about the authors*

***L.R. Abdyushev*** – lyceum student;

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

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

***Вклад авторов***

***Л.Р. Абдюшев –*** сбор материала;
***В.Н. Саттаров*** – написание и корректировка текста;
***Р.А. Ильясов –*** поиск литературы.
Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

***Contribution of the authors***

***L.R. Abdyushev*** – collection of material;
***V.N. Sattarov*** – writing and editing of the text;
***R.A. Ilyasov*** – literature search.
The authors declare no conflict of interest.

*Статья поступила в редакцию 19.07.2026; принята к публикации 24.08.2026.*

*The article was submitted 19.07.2026; accepted forpublication 24.08.2026.*

ХИМИЧЕСКИЕ НАУКИ

Научная статья
УДК 547.541.3
DOI 10.21510/3034-266X-2026-3-13-23

# СИНТЕЗ СОЛЕЙ МЕТАЛЛОВ ПАЛЬМИТИНОВОЙ КИСЛОТЫ (Ni, Fe, Zn и Cr) И ИХ ИССЛЕДОВАНИЕ В КАЧЕСТВЕ АНТИСТАТИЧЕСКОЙ ДОБАВКИ К ДИЗЕЛЬНОМУ ТОПЛИВУ

***Эльгюн Камиль оглу Гасанов[1], Ульви Сабухи оглу Мурадов[2], Вагиф Магеррам оглу Аббасов[3], Тофиг Сахават оглу Алиев[4]***
*[1,3,4] Институт Нефтехимических процессов имени академика Ю.Г. Мамедалиева, Министерства Науки и Образования Азербайджана, Баку, Азербайджан*
*[2]Академия МЧС, Баку, Азербайджан*
*elgun.hasanzade02@gmail.com*

***Аннотация.*** Антистатические присадки используются для повышения электропроводности топлива и предотвращения накопления опасных статических зарядов при обработке, фильтрации и транспортировке. Цель добавления антистатических присадок в состав топлива сводится к снижению риска возгорания. Они представляют собой химические вещества и обычно состоят из сополимеров полисульфона и полиаминов, которые могут рассеивать заряд будучи полярными соединениями. Обычно их добавляют в количестве 1.0-10.0 г/тонну топлива. Наряду с безопасностью, еще одним преимуществом антистатических присадок является тот факт, что в их присутствии даже топлива, имеющие низкую проводимость, могут легко перекачиваться при более высоких температурах. В нашей работе исследованы соли различных металлов пальмитиновой кислоты в качестве антистатических присадок к дизельному топливу.

***Ключевые слова:*** антистатические присадки, дизельные топлива, пальмитиновая кислота, металлические соли, транспортировка

***Для цитирования:*** Гасанов Э.К., Мурадов У.С, Аббасов В.М., Алиев Т.С. Синтез солей пальмитиновой кислоты (Ni, Fe, Zn и Cr) и их исследование в качестве антистатической присадки к дизельному

© Гасанов Э. К., Мурадов У. С., Аббасов В. М., Алиев Т. С., 2026.

топливу // Вестник Башкирского государственного педагогического университета им. М.Акмуллы. Серия: Естественные науки. 2026. №3. С. 13-23.

CHEMICAL SCIENCES

Original article

# SYNTHESIS OF METAL SALTS OF PALMITIC ACID (Ni, Fe, Zn and Cr) AND THEIR STUDY AS AN ANTISTATIC ADDITIVE TO DIESEL FUEL

***Elgun Kamil Hasanov[1], Ulvi Sabuhi Muradov[2], Vaqif Maharram Abbasov[3], Tofiq Sakhavat Aliyev[4]***
*[1,3,4]Institute of Petrochemical Processes named after acad. Y.H. Mammadaliyev of Ministry of Science and Education, Baku, Azerbaijan*
*[2]Academy of Ministry of Emergency Situations*
*elgun.hasanzade02@gmail.com*

***Abstract.*** Antistatic additives are used to improve fuel conductivity and prevent the accumulation of dangerous static charges during processing, filtration, and transportation. The purpose of adding antistatic additives to fuel is to reduce the risk of fire. These chemicals typically consist of copolymers of polysulfone and polyamines, which can dissipate charges as polar compounds. They are typically added at levels of 1.0-10.0 g/ton of fuel. In addition to safety, another advantage of antistatic additives is that even fuels with low conductivity can be easily pumped at higher temperatures. In our study, we investigated various metal salts of palmitic acid as antistatic additives for diesel fuel.

***Keywords:*** antistatic additives, diesel fuels, palmitic acid, metal salts, transportation

***For citing:*** Hasanov E.K., Muradov U.S, Abbasov V.M., Aliyev T.S. Synthesis of metal salts of palmitic acid (Ni, Fe, Zn and Cr) and their study as an antistatic additive to diesel fuel // Bulletin of Bashkir State Pedagogical University named after M. Akmulla. 2026. № 3. pp. 13-23.

*Введение*

Накопление статического электричества в нефти и нефтепродуктах не только увеличивает риск взрыва и пожара, но и препятствует нормальному, интенсивному и безопасному протеканию многих технологических процессов. Поэтому предотвращение

статического электричества считается одной из главных проблем безопасности в нефтяной промышленности. С этой целью в производстве разрабатываются и применяются различные меры и средства, от простых технических методов до сложных активных устройств и комплексных инженерных решений. Одним из наиболее эффективных, надежных и широко используемых методов борьбы с электризацией жидких диэлектриков является применение систем заземления, служащих для предотвращения внешних электрических разрядов [1-3].

Экспериментальные исследования показывают, что на поверхности металлических конструкций, резервуаров и трубопроводов, а также на их внутренних стенках часто образуются электропроводящие отложения (смола, покрытие и т. д.), что приводит к снижению эффективности систем заземления [4-6]. Установка релаксационных резервуаров перед закачкой нефтепродуктов в баки, использование инертных покрытий, повышение относительной влажности воздуха [7, 8], а также применение радиоактивных нейтрализаторов для предотвращения накопления электростатических зарядов не обеспечивают полной нейтрализации генерируемых зарядов и одновременно создают ограничения в реализации технологических процессов, проводимых с нефтепродуктами [9-11].

При выборе присадки к топливу особое значение имеет ее углеводородный состав. Так, при низком содержании аренов в бензине более высокую эффективность демонстрируют металлосодержащие присадки, используемые в антидетонационных целях. Кроме того, при добавлении в топливо присадок против кристаллизации наличие даже небольшого количества воды в окружающей среде может негативно повлиять на качество топлива. В таких условиях присадка теряет свой функциональный эффект в виде раствора в воде, и ожидаемый результат не обеспечивается [11].

Статическая электрификация в нефтехимической промышленности считается одной из актуальных проблем, серьезно влияющих на бесперебойную и безопасную реализацию технологических процессов. В ходе научных исследований, проведенных в Институте нефтехимических процессов им. академика Ю.Г. Маммадалиева, были синтезированы антистатические добавки амидоэфирного типа для повышения электропроводности дизельного топлива, а также приготовлены композиции этих добавок с различными фракциями технической нефтяной кислоты. Было установлено, что полярная структура амидоэфиров позволяет им играть активную роль в переносе электрического заряда в топливной среде. В результате добавления этого типа добавок к дизельному топливу наблюдалось повышение электропроводности, что позволило

предотвратить накопление статического электричества. Обширные исследования показали, что полученные результаты являются эффективными и пригодными для практического применения [12–16].

*Экспериментальная часть*

Были синтезированы соли пальмитиновой кислоты никеля (Ni), железа (Fe), хрома (Cr) и цинка (Zn). Процесс синтеза основывался на нейтрализации пальмитиновой кислоты 35–40%-ным раствором гидроксида натрия (NaOH). Полученную реакционную смесь выдерживали при температуре 50–60°C в течение 30 минут. На рис. 1, 2 приведены ИК-спектры некоторых металлических солей пальмитиновой кислоты, синтезированных в ходе исследования.

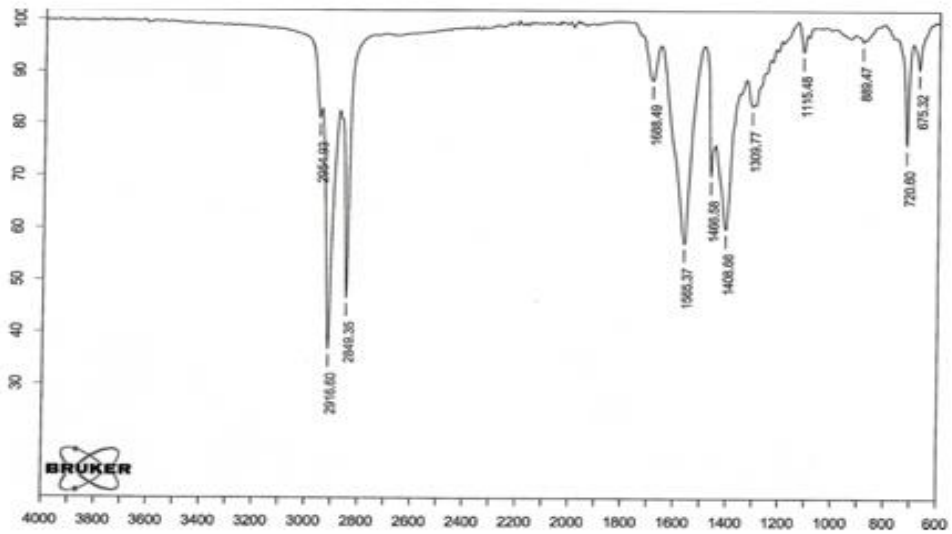



*Рис. 1. ИК-спектр хромовой соли пальмитиновой кислоты*

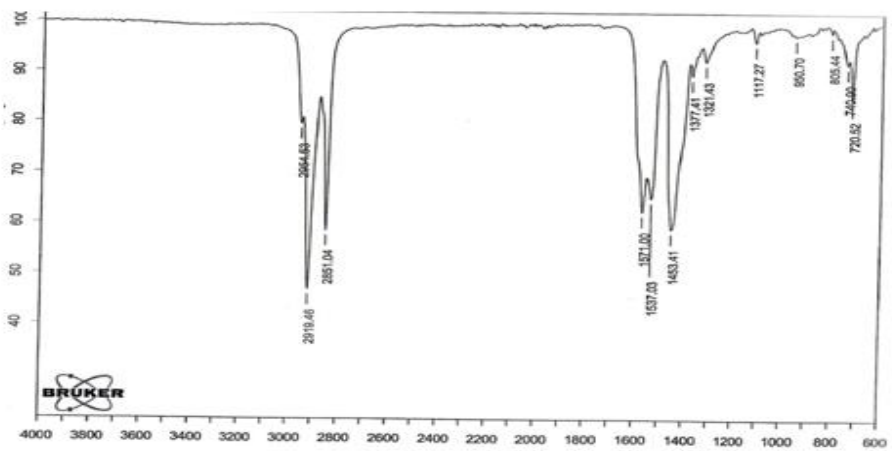



*Рис. 2. ИК-спектр цинковой соли пальмитиновой кислоты*

На следующем этапе в реакционную среду в качестве растворителя добавляли гексан, и смесь интенсивно перемешивали. Затем в реакционную среду порциями добавляли соответствующие соли металлов в сухом виде или в растворе. Процесс перемешивания продолжали около 3 часов. После завершения реакции полученную смесь переносили в делительную воронку, водную фазу (нижний слой) отделяли. Органическую фазу переносили в отгонную колбу, и растворитель полностью удаляли путем отгонки. В результате были синтезированы различные соли пальмитиновой кислоты.

*Результаты и их обсуждения*

Полученные соли металлов добавляли в дизельное топливо в качестве антистатической добавки в концентрациях 0,05%, 0,1% и 0,15%, и изучали их влияние на электропроводность дизельного топлива. Изменения электропроводности антистатических присадок, введенных в дизельное топливо, измерялись с помощью прибора ЭЛ-4М. Измерения проводились в соответствии с требованиями ГОСТ 25950-83 и ГОСТ 33461-2015.

*Таблица 1.*

Электропроводность дизельного топлива при добавлении 0,05, 0,1 и 0,15% пальмитиновой кислоты (солей Ni, Fe, Cr и Zn) к дизельному дистилляту

| Название солей | Концентрация растворителя, % | Электропроводность, см/м | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | Через 1 день | Через 10 дней | Через 20 дней | Через 30 дней | Через 40 дней |
| **Ni соль пальмитиновой кислоты** | 0,05<br>0,1<br>0,15 | 1790<br>1735<br>1865 | 1710<br>1605<br>1857 | 1610<br>1601<br>1850 | 1605<br>1535<br>1850 | 1600<br>1535<br>1850 |
| **Fe соль пальмитиновой кислоты** | 0,05<br>0,1<br>0,15 | 1370<br>1410<br>1452 | 1362<br>1402<br>1435 | 1360<br>1400<br>1430 | 1355<br>1400<br>1430 | 1355<br>1400<br>1428 |
| **Cr соль пальмитиновой кислоты** | 0,05<br>0,1<br>0,15 | 1385<br>1442<br>1667 | 1370<br>1435<br>1652 | 1362<br>1432<br>1647 | 1362<br>1430<br>1647 | 1360<br>1430<br>1645 |
| **Zn соль пальмитиновой кислоты** | 0,05<br>0,1<br>0,15 | 1735<br>1790<br>1825 | 1730<br>1741<br>1820 | 1720<br>1732<br>1810 | 1715<br>1730<br>1805 | 1715<br>1730<br>1805 |
| **Дизельное топливо** | 100 | 95 | 92 | 85 | 85 | 85 |

На первом этапе была изучена электропроводность дизельного топлива без добавления антистатической присадки, и было установлено, что этот показатель снижается в зависимости от срока хранения. Так, электропроводность дизельного топлива составила 95 Псм/м через 1 день, 92 Псм/м через 10 дней и 85 Псм/м через 20, 30 и 40 дней.

Отмечено, что электропроводность значительно увеличилась в результате добавления различных солей металлов пальмитиновой жирной кислоты (Ni, Fe, Cr и Zn) в количестве 0,05% в качестве антистатической присадки к дизельному топливу. Таким образом, через 1 день после добавления присадки электропроводность составляла 1790, 1370, 1385 и 1735 Псм/м соответственно, через 10 дней – 1710, 1362, 1370 и 1730 Псм/м, а через 40 дней – 1600, 1355, 1360 и 1715 Псм/м.

Было установлено, что при увеличении количества присадок до 0,15% электропроводность дизельного топлива дополнительно возрастала, и после 40 дней хранения этот показатель составлял 1850, 1428, 1645 и 1805 Псм/м соответственно (табл. 1).

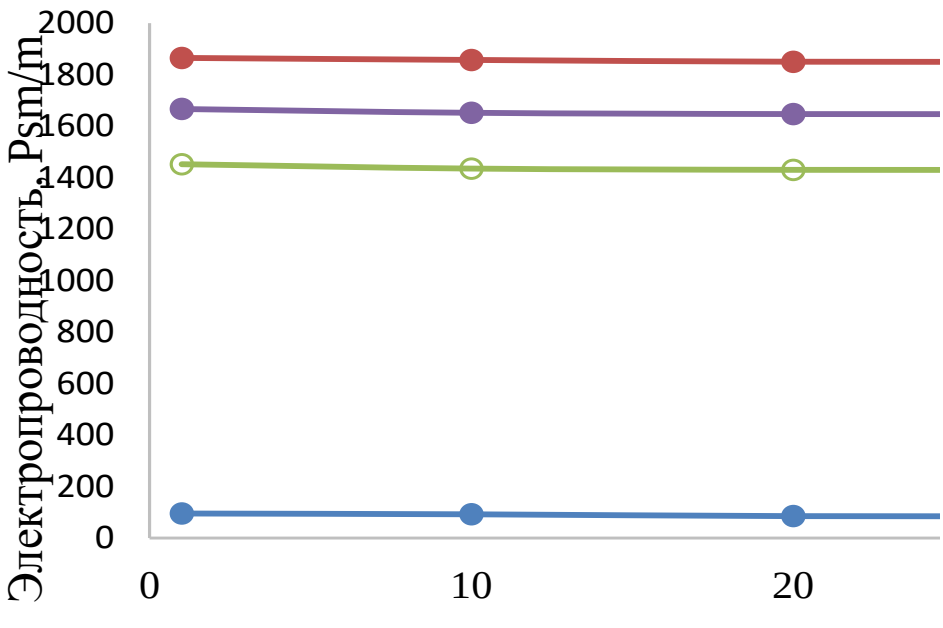



*Рис. 3. График результатов измерения электропроводности дизельного топлива с добавлением солей Ni, Cr и Zn пальмитиновой кислоты в концентрации 0,15% к дизельному топливу:* № 1 – 100 %-ное дизельное топливо, № 2 – хромовая соль пальмитиновой кислоты, № 3 – цинковая соль пальмитиновой кислоты, № 4 – никелевая соль пальмитиновой кислоты

Как видно из графика 1, электропроводность дизельного топлива без добавок составляет 95 Псм/м, тогда как при добавлении 0,15% соли Ni пальмитиновой кислоты в качестве антистатической добавки к дизельному топливу она изменилась до 1850 Псм/м через 40 дней (№ 4).

*Заключение*

Антистатические добавки используются для предотвращения накопления статического электричества в процессе транспортировки и заправки топлива. Электрокинетические процессы происходят при высокоскоростной заправке легких видов топлива, включая авиационное топливо, в баки и топливные баки самолетов. В этом случае между металлической поверхностью и верхним слоем движущегося топлива образуется двойной электрический слой. По мере увеличения интенсивности процесса и из-за низкой электропроводности топлива статическое электричество накапливается и достигает опасных уровней. В результате возникает риск возгорания и взрыва. Результаты проведенных исследований показали, что добавление солей металлов, синтезированных на основе пальмитиновой кислоты, к дизельному топливу в качестве антистатической добавки приводит к увеличению электропроводности дизельного топлива. На основе сравнительного анализа было установлено, что никелевая (Ni) соль пальмитиновой кислоты демонстрирует более высокую эффективность в качестве антистатической добавки. Так, в результате применения этой добавки электропроводность дизельного топлива увеличилась до 1850 пСм/м. На основании результатов проведенных исследований целесообразно использовать вышеупомянутые реагенты в качестве антистатических добавок.

## СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Путко А.Э., Кицис С.И.Физические основы явления электризации нефти в нефтепромысловых трубах. // Материалы междун. науч.-техн.конфр. посв. 40-летию Тюменского нефтегазового университета Тюмень: ТюмГНГУ. – 2003. – Т.2. – С. 91-92.

2. Путко А.Э. Разработка методов расчета процессов электризации нефти в трубопроводах и хранилищах цилиндрического типа. // Автореферат диссертации. – Тюмень, ТюмГНГУ. – 2006. – 28 с.

3. Власова Е.П., Кицис С.И. Разработка приборов для измерения электризуемости нефтепродуктов // Томский государственный университет «Современная техника и технологии» по секции «Электромеханические приборы». – Томск. – 2001. – С.26-28

4. Власова Е.П., Кицис С.И. Исследование влияния параметров нефти и параметров трубопровода на процессы электризации нефти //

Журнал «Известия вузов. Нефть и газ». – Тюмень. – ТюмГНГУ. – 2007. – № 4. – С.87-93.

5. Кучумов Р.Я., Кучумов Р.Р. Моделирование надежности функционирования нефтепромысловых систем. // Тюмень. – «Вектор Бук». – 2004. – С.206.

6. Пчелинцев Ю.В., Кучумов Р.Р. Эксплуатация и моделирование работы часто ремонтируемых наклонно-направленных скважин // М.: ОАО «ВНИО-ЭНГ». – 2000. – С.520.

7. Власова Е.П., Кицис С.И. Повышение взрыво- и пожаробезопасности трубопроводов и систем хранения нефти путем нейтрализации зарядов статического электричества // Нефтепромысловое дело. – Москва: ОАО «ВНИИОНГ». – 2008. – №7. – С.50-55.

8. Гольдберг О.Д., Гурин Я.С., Свириденко И.С. Проектирование электрических машин. // Изд. Второе перераб. – М.: Высш.шк. – 2001. – С.235.

9. Максимов Б.К., Обух А.А. Статическое электричество в промышленности и защита от него // М.: Энергоатомиздат. – 2000. – С.96.

10. Кицис С.И., Путко А.Э. Методика расчета нефти в трубопроводах по значению концентрации потенциалосодержащих ионов // Журнал «Нефтепромысловое дело». – 2005. – № 10. – С.52-59.

11. Аббасов В.М., Велиев Х.Р., Касаманли Х.Г. / Применение имидазолинов нефтяных кислот в качестве добавок к дизельному топливу. / Труды молодых ученых. – 2015. – №11. – С.17-24.

12. Патент Азербайджана № İ 2013 0056, 2013. Мамедъяров М.А.. Алиева Ф.Х. Синтез монодиэтиламидных эфиров гексенилянтарной кислоты и их исследование в качестве ингибиторов коррозии.

13. Аббасов В.М., Алиева Ф.Х., Мамедова Г.Ф., Агамалиева Д.Б., Джаббарлы С.Ф., Гусейнов Л.Н., Моноамиды малоновой кислоты как эффективные бактерицид-ингибиторы // Журнал Практика Противокоррозионной Защиты. – 2023. – Т.28. – №2. – С. 22-27.

14. Аббасов В.М., Мамедова Т.А., Касаманлы Х.Г., Велиев Х.Р. Синтез имидазолинов жирных кислот и их применение в качестве добавок к дизельному топливу // Азербайджанский химический журнал. – 2014. – №2.– С. 21-25.

16. Мамедова Т.А., Аскерова Э.Н., Касмаманли Х.Г., Аббасов В.М. Алкиловые эфиры растительных жирных кислот в качестве многофункциональных добавок к дизельному топливу // Известия регионального научного центра Гянджинского филиала НАНА.– 2019. – №1(78). – С.52-57.

## REFERENCES

1. Putko A.E., Kishis S.I. Phizicheskie osnovy yavleniya elektrizatsii nefti v neftepromyslovykh trubakh // Materialy Mezhdunarodnoi nauchn-technicheskoi konferentsii, posvyashennoi 40-letiyu Tyumenskogo neftegazovogo Universiteta. Tyumen: TyumNGDU. – 2003. – T.2. – pp. 91-92.

2. Putko A.E. Razrabotka metodov rascheta protsessov elektrizatsii nefti v truboprovodakh I khranilishakh tsilindricheskogo tipa // Avtoreferat dissertatsii. – Tyumen: TyumNGDU. – 2006. – 28 s.

3. Vlasova E.P., Kishis S.I. Razrabotka priborov dlya izmereniya elektrizuemosti nefteproduktov // Tomskii Gosudarstvennyi Universitet «Sovremennaya tekhnika I tekhnologiya po sektsii «Elektromekhanucheskie pribory». – Tomsk – 2001. – pp.26-28.

4. Vlasova E.P., Kishis S.I. Issledovanie vliyaniya parametrov nefti I parametrov truboprovoda na protsessy elektrizatsii nefti // «Izvestiya VUZov «Neft I gaz». – Tyumen. – TyumNGDU. – 2007. – № 4. – pp .87-93.

5. Kuchumov R.Y., Kuchumov R.R. Modelirovanie nadezhnosti fuktsionirovaniya neftepromyslovykh sistem // Tyumen – «Vektor Buk». – 2004. – pp. 206.

6. Pchelintsev Y.V., Kuchumov R.R. Ekspluatatsiay I modelirovanie raboty chasto remontiruyemykh naklonno-napravlennykh skvazhin // M.: OAO «ВНИО-ЭНГ». – 2000. – p.520.

7. Vlasova E.P., Kishis S.I. Povyshenie vzryvo- I pozharobezopasnosti truboprovodov I system khraneniya nefti putyem neitralizatsii zaryadov staticheskogo elektrichestva // Neftepromyslovoe delo. - Moskva: OAO «ВНИИОНГ». – 2008. – № 7. – pp.50-55

8. Goldberg O.D., Qurin Y.S., Sviridenko I.S. Proektirovanie elektricheskikh mashin // Izd. Vtoroe pererab. – M.: Vyshaya shkola. – 2001. – S.235.

9. Maksimov B.K., Obukh A.A. Staticheskoe elektrichestvo v promyshlennosti I zashita ot nego // M.: Energoatomizdat. – 2000. – p. 96

10. Kishis S.I., Putko A.E. Metodika rascheta nefti v truboprovodakh po znacheniyu kontsentratsii potentsialosoderzhashikh ionov // Neftepromyslovoe delo. – 2005. – № 10. – pp.52-59.

11. Abbasov V.M., Veliev Kh.r., Kasamanlı Kh.H. Primenenie imidazolinov neftyanykh kislot v kachestve dobavok k dizelnomu toplivu / Trudy molodykh uchenykh. – 2015. – №11. – S.17-24.

12. Abbasov V.M., Aliyeva F.Kh., Mammadova G.F., Aghamaliyeva D.B., Djabbarly S.F., Huseynov L.N. Monoamidy malonovoi kisloty kak effektivnye bakterisid-inhibitory // Praktika protivokorrozionnoi zashity. – 2023. – T.28. – №2. – pp. 22-27.

14. Abbasov V.M., Mammadova T.A., Kasamanli Kh.h., Veliev Kh.R. Sintez imidazolinov zhirnykh kislot i ikh primenenie v kachestve dobavok k dizelnomu toplivu. // Azerbaidjanskii khimichaskii jurnal. – 2014. – №2.– pp. 21-25.

16. Mamedova T.A., Askerova E.N., Kasamnali Kh.H., Abbasov V.M. Alkilovye efiry rastitelnykh zhirnykh kislot v kachestve mnogofunktsionalnykh dobavok k dizelnomu toplivu // Izvestiya regionalnogo nauchnogo tsentra Gyzndzhinskogo filiala NANA. – 2019. – №1(78). – pp.52-57.

### *Информация об авторах*

***Э.К. Гасанов*** – кандидат химических наук, главный технолог ИНХП МСО, Баку, Азербайджан;
***У.С. Мурадов*** – докторант Академии МЧС, Баку, Азербайджан;
***В.М. Аббасов*** – академик, доктор химических наук, директор ИНХП МСО, Баку, Азербайджан;
***Т.С. Алиев*** – бакалавр ИНХП МСО, Баку, Азербайджан.

### *Information about the authors*

***E.K. Hasanov*** – candidate of Chemical Sciences, Chief Technologist of IPCP MSE, Baku, Azerbaijan;
***U.S. Muradov*** – doctoral student of the Academy of MES, Baku, Azerbaijan;
***V.M. Abbasov*** – academician, Doctor of Chemical Sciences, Director of IPCP MSE, Baku, Azerbaijan;
***T.S. Aliyev*** – bachelor of IPCP MSE, Baku, Azerbaijan.

### *Вклад авторов*

***Э.К. Гасанов*** – подготовка экспериментальной части, проведение экспериментов;
***У.С. Мурадов*** – сбор материала, подготовка рукописи;
***Т.С. Алиев*** – подготовка экспериментальной части, проведение экспериментов;
***В.М. Аббасов*** – концепция статьи, редактирование.
Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

### *Author contributions*

***E.K. Hasanov*** – preparation of the experimental part, conducting experiments;
***U.S. Muradov*** – data collection, manuscript preparation;

***T.S. Aliyev*** – preparation of the experimental part, conducting experiments;
***V.M. Abbasov*** – article concept, editing.
The authors declare no conflicts of interest.

*Статья поступила в редакцию 12.05.2026; принята к публикации 07.08.2026.*

*The article was submitted 12.05.2026; accepted forpublication 07.08.2026.*

ХИМИЧЕСКИЕ НАУКИ

Научная статья
УДК 547.541.3
DOI 10.21510/3034-266X-2026-3-24-45

# ПРОИЗВОДНЫЕ ХЛОРОГЕНОВОЙ КИСЛОТЫ В КАЧЕСТВЕ ФИТОСТИМУЛЯТОРОВ РОСТА РАСТЕНИЙ

***Ульвия Ровшан гызы Гурбанова[1], Чингиз Князь оглу Расулов[2], Фатима Иса гызы Гасымова[3], Гюнай Заман гызы Гейдарли[4], Парвана Вагиф гызы Сулейманова[5]***
*[1,2,3,4]Институт нефтехимических процессов Министерства науки и образования Азербайджана, Баку*
*5Сумгаитский государственный университет, Сумгаит, Азербайджан*
*heyderligunay6@gmail.com*

***Аннотация.*** Хлорогеновая кислота является одной из важнейших фенольных кислот и представляет собой бесцветные кристаллы с относительно высокой температурой плавления 206 – $210^0$C. Она хорошо растворяется в воде и этиловом спирте, однако практически не растворяется в других органических растворителях, в частности в эфире, хлороформе и др. растворителях. Название этой кислоты связано с зеленым окрашиванием, образующимся при оксилении ее производных. В работе показаны основные направления, связанные с применением хлорогеновой кислоты в качестве фитостимулятора роста растений

***Ключевые слова:*** хлорогеновая кислота, фенольные кислоты, регуляторы роста растений, фитостимуляторы и фитогормоны

***Для цитирования:*** Гурбанова У.Р., Расулов Ч.К., Гасымова Ф.И., Гейдарли Г.З., Сулейманова П.В. Производные хлорогеновой кислоты в качестве фитостимуляторов роста растений // Вестник Башкирского государственного педагогического университета им. М.Акмуллы. Серия: Естественные науки. 2026. № 3. С. 24-45.

CHEMICAL SCIENCES

Original article

© Гурбанова У. Р., Расулов Ч. К., Гасымова Ф. И., Гейдарли Г. З., Сулейманова П. В., 2026.

***Ulviyya Rovshan Qurbanova[1], Chingiz Qnyaz Rasulov[2], Fatima Isa Gasymova[3], Gunay Zaman Heydarli[4], Parvana Vaqif Suleymanova[5]***
*[1,2,3,4] Institute of Petrochemical Processes of the Ministry of Science and Education of Azerbaijan, Baku*
*[5]Sumgayit State University, Sumgayit, Azerbaijan*
*heyderligunay6@gmail.com*

## CHLOROGENIC ACID DERIVATIVES AS PLANT GROWTH PHYTOSTIMULANTS

***Abstract.*** Chlorogenic acid is one of the most important phenolic acids and is a colorless crystal with a relatively high melting point of 206–2100°C. It is readily soluble in water and ethyl alcohol, but is virtually insoluble in other organic solvents, particularly ether, chloroform, and other solvents. The name of this acid refers to the green color formed during the oxidation of its derivatives. This paper presents the main areas of application of chlorogenic acid as a plant growth stimulant.

***Keywords:***chlorogenic acid, phenolic acids, plant growth regulators, plant growth stimulants, and phytohormones

***For citing:*** Qurbanova U.R., Rasulov Ch.Q., Qasymova F.I., Heydarli G.Z., Suleymanova P.V. Chlorogenic acid derivatives as plant growth phytostimulants // Bulletin of Bashkir State Pedagogical University named after M. Akmulla. Series: Natural Sciences. 2026. №3. pp. 24-45.

Хлорогеновая кислота (ХГК), продукт фенилпропаноидного пути, является одним из наиболее распространенных растворимых фенольных соединений в растительном мире. Хотя известно, что ХГК играет важную роль в функционировании растений, её значение в органогенезе *de novo* растений пока не изучено [1].

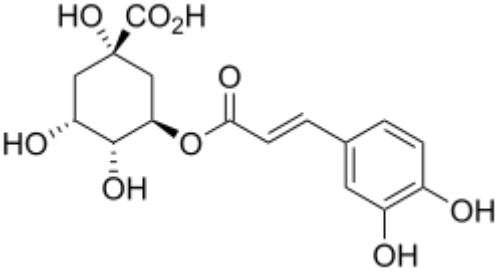



*Рис. 1. Химическое строение хлорогеновой кислоты*

В серии экспериментов авторы показывают, что ХГК играет потенциальную роль в развитии побегов, корней и корневых волосков. На первом этапе исследования авторы разработали эффективный и

новый протокол регенерации тонкоклеточного слоя (ТКС) для *Hypericum perforatum*, который мог бы объединить все стадии морфогенеза *in vitro* между отдельной клеткой и целым растением. Ткани на разных морфогенетическом этапе были проанализированы на предмет их фенольного профиля, который показал, что дифференциация побегов из каллусных тканей *H. perforatum* сопровождается началом продукции ХГК. Кроме того, значение ХГК в органогенезе *de novo* было расшифровано путём культивирования высокоорганогенных корневых эксплантатов на средах, дополненных различными концентрациями ХГК. Результаты этого эксперимента показали, что концентрации CGA ниже 10,0 мг/л не влияли на органогенез побегов, тогда как более высокие концентрации значительно замедляли этот процесс в зависимости от концентрации. Несмотря на дифференциальные зависящие от концентрации эффекты CGA на регенерацию побегов, добавление CGA не оказывало никакого влияния на образование боковых корней и корневых волосков. Интересно, что CGA показала концентрационно-зависимую положительную корреляцию с образованием боковых корней и корневых волосков в присутствии α-нафтилуксусной кислоты (NAA). Когда в культуральную среду добавляли 2-аминоиндан-2-фосфоновую кислоту (AIP), ингибитор фенилаланинаммиаклиазы (PAL), индукция побегов, боковых корней и корневых волосков из эксплантов существенно влияла на индукцию побегов, боковых корней и корневых волосков из этих культур. Добавление оптимальной концентрации CGA в эти культуры частично восстанавливало все эти органогенетические процессы.

Хлорогеновая кислота (ХГК), фенольное соединение с разнообразной биологической активностью, играет ключевую роль в защитных механизмах растений и обладает значительным терапевтическим потенциалом при воспалительных и сердечно-сосудистых заболеваниях человека [2]. Биосинтез и накопление ХГК в растениях являются результатом сложного взаимодействия внутренних факторов (например, гормонов, ферментов и генов) и внешних факторов (например, взаимодействия микроорганизмов, засухи и колебаний температуры). В данном обзоре систематически изучается влияние микроорганизмов на внутренние регуляторные факторы, регулирующие биосинтез ХГК в растениях. ХГК синтезируется четырьмя различными метаболическими путями, ключевыми регуляторами которых являются гормоны, ферменты и гены. В частности, микробы усиливают биосинтез ХГК, улучшая усвоение питательных веществ растениями, поставляя необходимые гормоны, регулируя экспрессию соответствующих ферментов и генов, а также взаимодействие между бактериями и грибами. Кроме того, в нашем

обзоре обобщены проблемы, с которыми в настоящее время сталкиваются исследователи, и предложен ряд инновационных стратегий. К ним относятся углубленные исследования молекулярных механизмов микробной регуляции экспрессии генов растений, редактирование генов, разработка микробных инокулянтов, создание синтетических микробных сообществ и экзогенное применение фитогормонов.

В ходе эволюции растения приобрели способность синтезировать различные фенилпропаноидные соединения, такие как хлорогеновая кислота (ХГК), которая играет жизненно важную роль в механизмах устойчивости к абиотическим стрессам [3]. Эти факторы окружающей среды, включая тяжелые металлы, холод, жару, ультрафиолетовое (УФ) излучение, засуху и засоление, влияют на физиологические процессы растений, что приводит к огромным потерям сельскохозяйственной продукции. По мере эволюции растений от зеленых водорослей к бриофитам, папоротникам, голосеменным и покрытосеменным растениям, фенилпропаноиды производятся и накапливаются в различных тканях, давая растению способность противодействовать вредному воздействию неблагоприятных факторов окружающей среды. Были проведены исследования метаболической эволюции розмариновой кислоты, флавоноидов и лигнина, показавшие, что биосинтез фенилпропаноидов начинается в зеленых водорослях до появления генов, обнаруженных у покрытосеменных растений; однако эволюция пути ХГК до сих пор не была рассмотрена. Авторы предполагают, что CGA также может синтезироваться от водорослей к покрытосеменным растениям. В настоящем обзоре обобщен эволюционный анализ пути CGA и функции этого соединения в устойчивости растений к абиотическим стрессам. Биоинформатический анализ был проведен на генах, связанных с CGA, у 37 видов растений и показал, что метаболический путь начинается в водорослях и постепенно расширяется, достигая своего полного завершения у покрытосеменных растений. Ключевые гены демонстрируют различные паттерны экспрессии в условиях стресса и в растительных тканях. Интересно, что некоторые гены быстро накапливались в ходе эволюции и были более чувствительны к стрессам окружающей среды, в то время как другие появились у покрытосеменных растений лишь позднее.

Хлорогеновые кислоты (ХГК) известны как важный класс природных продуктов, встречающихся в различных видах растений и представляющих большой интерес для различных областей исследований [4]. Эти соединения, описываемые как мощные антиоксиданты, в высоких концентрациях встречаются в широко употребляемых продуктах питания и напитках, а также в растительных

препаратах, традиционно используемых в китайской, аюрведической, европейской и народной медицине Нового Света, и отвечают за ряд фармакологических свойств. Учитывая, что в образовании растительных метаболитов могут участвовать различные механизмы, в данной работе авторы оценили, может ли накопление ХГК после сбора урожая быть следствием процессов, отличных от анаболизма. Целью было сравнить концентрации хлорогеновых кислот в листьях, подвергнутых различным контролируемым периодам сушки при комнатной температуре. Был разработан количественный метод с использованием сверхэффективной жидкостной хроматографии с тандемной масс-спектрометрией для контроля содержания ХГК в листьях кофе, лимона, бразильской вишни и розмарина. Кофеилхинная, ферулоилхинная и п-кумароилхинная кислоты накапливались в течение 30 дней послеуборочной сушки во всех исследованных видах. Результаты свидетельствуют о том, что мягкая сушка имеет решающее значение для накопления хлорогеновых кислот, и что их содержание в растительном материале может быть следствием не только анаболических механизмов. Зная, что в накоплении природных продуктов могут участвовать и другие процессы, такие как катаболизм и реакции обмена, можно обсудить механизмы, приводящие к повышению концентрации фармакологически важных веществ в различных видах растений, включая растения, традиционно используемые в народной медицине.

Культура тканей растений – фундаментальный и широко применяемый метод в биологии растений и сельском хозяйстве. В исследованиях лекарственных растений культура тканей играет незаменимую роль в сохранении исчезающих видов, быстром распространении ценных ресурсов, сохранении зародышевой плазмы и производстве вторичных метаболитов [5]. *L. japonica*, представитель рода *Lonicera*, широко используется во всем мире благодаря своей значительной экономической, экологической, медицинской и декоративной ценности. Использование технологии культуры тканей позволяет значительно увеличить производство вторичных метаболитов *L. japonica* и эффективно решить проблему дефицита ресурсов, предлагая новый подход к ее устойчивому использованию. В настоящем обзоре обобщены последние достижения в области культуры тканей *L. japonica*, охватывающие такие аспекты, как прямой органогенез, непрямой органогенез через каллусные ткани, культивирование протопластов, культивирование волосатых корней и полиплоидное культивирование. Кроме того, был подробно изучен биосинтетический путь хлорогеновой кислоты и проанализирован механизм действия индукторов в растительных клетках. Исследование

было сосредоточено на потенциальных механизмах регуляции индукторов хлорогеновой кислоты.

Хлорогеновая кислота – один из наиболее распространенных полезных полифенолов в растениях и хорошо известна как пищевой антиоксидант в продуктах питания растительного происхождения [6]. Помимо антиоксидантной активности в диете, она показала свою эффективность в качестве защитной молекулы от широкого спектра травоядных насекомых. За последние два десятилетия в нескольких работах была продемонстрирована эффективность хлорогеновой кислоты в сдерживании роста насекомых. Путь биосинтеза хлорогеновой кислоты в растениях был ранее изучен, а метаболическая инженерия основного пути показала высокую продукцию хлорогеновой кислоты в растениях томата. Также была продемонстрирована индукция биосинтеза хлорогеновой кислоты, опосредованная травоядными, как на уровне метаболитов, так и на уровне транскриптов, хотя молекулярная регуляция биосинтеза хлорогеновой кислоты, опосредованная травоядными, до сих пор полностью не изучена. В данной работе авторы представляют свои взгляды на эффективность хлорогеновой кислоты как защитной молекулы против травоядных в растениях, а также обсуждаем перспективы ее использования в будущем.

Хлорогеновая кислота (ХГК) играет решающую роль в защитном ответе, иммунной регуляции и ответе на абиотический стресс у растений [7]. Однако генетическая регуляторная сеть путей биосинтеза ХГК у многолетних растений остается неясной. В данной работе авторы исследовали генетическую архитектуру биосинтеза ХГК с помощью полногеномного ассоциативного исследования на основе метаболитов (mGWAS) и картирования нуклеотидов количественных признаков (eQTN) экспрессии в популяции из 300 образцов *Populus tomentosa*. В общей сложности авторы исследовали 204 однонуклеотидных полиморфизма (SNP), которые были достоверно связаны с 11 метаболическими признаками, соответствующими 206 генам, и были в основном вовлечены в процессы метаболизма и роста клеток *P. tomentosa*. Они идентифицировали 874 eQTN, представляющих 1066 генов, в которых экспрессия и взаимодействие причинных генов влияли на фенотипическую изменчивость. Из них 102 гена продемонстрировали значимые признаки отбора в трёх географических популяциях, что позволило лучше понять адаптацию биосинтеза ХГА к местным условиям. Наконец, авторы построили генетическую сеть из шести каузальных генов, которые координированно регулируют биосинтез ХГА, выявив множественные регуляторные паттерны, влияющие на накопление ХГА у *P. tomentosa*. Это исследование предлагает мультиомную стратегию для понимания

генетической основы естественной вариабельности метаболитов биосинтеза ХГА у *Populu*s, что будет способствовать генетическому развитию абиотически устойчивых сортов лесных деревьев.

Хлорогеновая кислота (ХГК) и рутин в различных концентрациях и при различных временах применения были исследованы в течение трех лет, чтобы определить их эффективность в придаточном укоренении листовых черенков легкоукореняемого сорта оливы '*Arbequina*' и неподатливого '*Kalamata*'. Экзогенное внесение фенолов и сезон сбора черенков значительно повлияли на потенциал укоренения обоих сортов [8]. Эффективность укоренения '*Arbequina*', обработанного только ИБА, составила 51% летом и 90% осенью. Среди фенолов, у '*Arbequina*', самая высокая укореняемость была зарегистрирована после применения 0,1 мМ ХГК в течение 30 минут, достигая 88% летом (увеличение на 37%) и 100% осенью (увеличение на 10%). У '*Kalamata*' ИБА была практически неэффективна в оба сезона, как и в случае с примененными фенолами летом. Наибольшее общее укоренение для '*Kalamata*' (25%) наблюдалось осенью, когда основания черенков погружали в 0,1 мМ CGA на 30 минут, что соответствовало почти 830% увеличению производительности укоренения по сравнению с контролем. Концентрация углеводов также оценивалась в черенках '*Kalamata*', чтобы изучить влияние CGA на придаточное укоренение. Было обнаружено, что концентрация глюкозы и крахмала увеличивалась во время ризогенеза, тогда как другие растворимые сахара, за исключением фруктозы, демонстрировали высокие концентрации на 1-й и 7-й день. Соотношение гексоз/крахмал, сахарозы/крахмал и сахарозы/гексоз показывало более низкие значения в черенках, обработанных CGA, по сравнению с контролем. Таким образом, CGA улучшила производительность укоренения у обоих сортов оливок, возможно, за счет изменения соотношения углеводов, усиливая, таким образом, их роль в ризогенезе.

Хлорогеновая кислота (ХГК) является основным фенольным поглотителем в клубнях картофеля и может составлять более 90% от общего количества фенилпропаноидов [9]. Была охарактеризована регуляция биосинтеза ХГК в картофеле и роль гена биосинтеза ХГК гидроксициннамоил КоА: хината гидроксициннамоил трансферазы (HQT). Накопление ХГК, вызванное сахарозой, коррелировало с повышенной экспрессией фенилаланинаммиак-лиазы (PAL), а не HQT. Транзиторная экспрессия фактора транскрипции MYB картофеля StAN1 (антоцианин 1) в табаке увеличивала ХГК. Подавление HQT с помощью РНК-интерференции привело к более чем 90% снижению ХГК и раннему цветению. Снижение общего количества фенолов и антиоксидантной активности было меньше, чем снижение ХГК, что

позволяет предположить, что поток был перенаправлен в другие фенилпропаноиды. Сетевой анализ выявил различные закономерности в разных органах, при этом антоцианы и фенольные кислоты демонстрировали отрицательные корреляции в листьях и цветках и положительные в клубнях. Некоторые флавонолы увеличивались в цветках, но не в листьях или клубнях. Антоцианы увеличивались в цветках и демонстрировали тенденцию к увеличению в листьях, но не в клубнях. Подавление HQT увеличивало биосинтез кофеоилполиаминов, некоторые из которых ранее не были описаны для картофеля. Снижение экспрессии PAL и активности фермента наблюдалось в линиях с подавленным HQT, что предполагает существование регуляторной петли между CGA и PAL. Электрофизиология не обнаружила эффекта подавления CGA на питание картофельной листоблошки. В совокупности это исследование показало, что CGA в картофеле синтезируется через HQT, а подавление HQT изменяло фенотип и перенаправляло поток фенилпропаноидов.

Изучение эффектов хлорогеновой кислоты (ХК) может позволить использовать ее в устойчивом управлении видами злаковых культур, производящими натуральные волокна [10]. В данной работе исследовалось зависящее от pH влияние ХК на прорастание и физиологическую реакцию семян овсяницы тростниковой (*Festuca arundinacea*) по сравнению с гиббереллловой кислотой (ГК3) и флуридоном (ФД). Все обработки ХК приводили к значительному снижению индекса прорастания (ГИ), энергии прорастания семян, сырой массы проростков, длины колеоптиля, длины первичного корня и корневых волосков по сравнению с контрольным питательным раствором при pH 4. При концентрации ХК выше 2,82 мМ наблюдалась более высокая экспрессия общего растворимого белка, активности каталазы и супероксиддисмутазы, перекисного окисления липидов, уровня утечки электролитов и индуцированного заметного пептида 28,4 кДа. CA (8,46 мМ) значительно ингибировал прорастание семян (50%, $F = 4,56$, $P = 0,031$, $P < 0,05$) при pH 4 и, напротив, оказывал сильный стимулирующий эффект при pH 6,8. Влияние pH на активность CA достоверно коррелировало с GI и процентным соотношением ингибирующего и стимулирующего эффектов ($r = 0,96$, $p = 0,001$). Показано, что буферизованная CA дифференциально модифицировала экспрессию активности антиоксидантных ферментов и физиологию семян, тем самым ингибируя прорастание семян при pH 4 по сравнению с гербицидом FD (или гормоном роста) GA3.

Хлорогеновая кислота и ее производные (CQA) считаются важными биоактивными вторичными метаболитами в *Gardenia jasminoides Ellis (G. jasminoides*). Однако лишь немногие исследования

изучали биосинтез и регуляцию CQA в *G. jasminoides*. В этом исследовании [11] метилжасмонат (MeJA) использовался для усиления накопления CQA в культивируемых клетках *G. jasminoides*. Кроме того, также изучается возможный молекулярный механизм накопления CQA, опосредованного MeJA. С этой целью были использованы временные транскрипционные профили клеток *G. jasminoides*, реагирующих на MeJA, для изучения механизма с различных аспектов, включая биосинтез жасмоната (JAs), передачу сигнала, биосинтез предшественника, биосинтез CQA, транспортеры и факторы транскрипции (TFs). Всего из чистых прочтений было собрано 57 069 уникальных генов, из которых 80,7% были успешно аннотированы. Более того, сравнительные транскриптомные результаты показали, что дифференциально экспрессирующиеся гены (ДЭГ) в основном участвуют в биосинтезе и передаче сигнала жасмоновой кислоты (ЖК) (25 ДЭГ), биосинтезе предшественников CQA (18 ДЭГ), биосинтезе CQA (19 ДЭГ) и транспортерах (29 ДЭГ). Большинство этих ДЭГ демонстрировали непрерывную регуляцию экспрессии с течением времени, что может активировать сеть передачи сигнала жасмоновой кислоты (ЖК), увеличивать поступление предшественников и, в конечном итоге, стимулировать биосинтез CQA. Кроме того, различные ТФ из разных семейств ТФ также реагировали на воздействие MeJA. Интересно, что 38 дигидрогеназ из различных подгрупп семейства MYB могут демонстрировать как позитивную, так и негативную регуляцию фенилпропаноидов, особенно биосинтеза CQA. Таким образом, наши результаты проливают свет на возможный молекулярный механизм регуляции биосинтеза CQA, который привел к высокому выходу CQA в клетках G. jasminoides под воздействием MeJA.

Было изучено участие промежуточных продуктов пути коричная кислота-лигнин в дифференциации цветочных почек, укоренении и развитии каллуса [12]. Эндогенный уровень CHA в листьях оливы (*Olea europaea L.)* плодоносящих деревьев был в 3–4 раза выше, чем в неплодоносящих. Применение CHA уменьшало количество дифференцирующихся почек при инъекции до индукции цветочных почек и не оказывало эффекта при применении после этого. Повышение уровня CHA в листьях плодоносящих деревьев сопровождалось увеличением общего белка этих листьев. Количественное изменение было обнаружено в белках с молекулярной массой 14, 32 и 60 кДа. Изменения белка были специфичны в зависимости от сорта. CHA может заменить потребность в ауксине для роста каллуса оливы in vitro. Похожий, но более слабый ответ был обнаружен с коричной кислотой. Росту каллуса *Quercus, Syringa, Fraxincus* и *Malu*s способствовали некоторые фенольные кислоты как с

ауксином, так и без него. С другой стороны, укореняемость побегов сирени, выращенных in vitro, усиливалась под действием КГА и КУК как по отдельности, так и в ещё большей степени в присутствии ауксина. Таким образом, было обнаружено как независимое влияние кислот циннамат-лигнового пути, так и взаимодействие с ауксином на рост и дифференциацию.

Был исследован механизм регуляции синтеза хлорогеновой кислоты в процессе развития цветковых органов *Lonicera confusa*. Результаты показали, что среди метаболитов фенилпропаноидов тенденции изменения хлорогеновой кислоты и флавоноидов были схожими, а содержание кофейной кислоты оставалось стабильным в каждый период [13]. В то время как содержание лигнина отрицательно коррелировало с уровнем хлорогеновой кислоты. Экспрессия нескольких генов, участвующих в фенилпропаноидном пути, сначала увеличивалась, а затем снижалась в процессе развития цветочных органов, что не соответствовало фенилпропаноидным метаболитам на первых трех стадиях цветения, что позволило сделать вывод о том, что биосинтез метаболитов фенилпропаноидов регулируется на посттранскрипционном уровне. Фенилаланинаммиаклиаза (PAL) и гидроксициннамоил-КоА: хинат гидроксициннамоилтрансфераза (HQT) могут быть ферментами, лимитирующими скорость биосинтеза хлорогеновой кислоты. Вышеприведенные результаты обеспечивают теоретическую основу для скрининга, инноваций, стандартизации и сбора зародышевой плазмы жимолости.

Корневые волоски, которые возникают из эпидермальных клеток корня, представляют собой трубчатые структуры, которые повышают эффективность поглощения воды и питательных веществ [14]. Среда с низким pH (pH 4) индуцировала образование корневых волосков у сеянцев салата (*Lactuca sativa L.*), а декапитация побегов ингибировала образование корневых волосков. Добавление экстракта побега в среду восстанавливало образование корневых волосков у декапитированных сеянцев салата. Эти результаты позволяют предположить, что в побеге могут присутствовать факторы, необходимые для образования корневых волосков. Авторы выделили из побега один фактор, который способствует образованию корневых волосков. Этот фактор был идентифицирован как хлорогеновая кислота (ХГК), распространенный полифенол у высших растений. Присутствие экзогенной ХГК в среде индуцировало образование корневых волосков у декапитированных сеянцев салата при pH 4,0 и у целых сеянцев салата при pH 6,0. Оптимальная концентрация CGA для образования корневых волосков составила 10–5 М. Декапитация побегов снизила содержание CGA в корнях примерно до одной трети от уровня интактных растений. Применение ингибитора биосинтеза

CGA L-α-аминоокси-β-фенилпропионовой кислоты (AOPP, 10–6 M) к интактным проросткам, выращенным при pH 4,0, снизило как содержание CGA в корнях, так и общее количество корневых волосков. Добавление экзогенной CGA восстановило образование корневых волосков у интактных проростков, обработанных AOPP. Эти результаты свидетельствуют о том, что CGA необходима для образования корневых волосков у проростков салата.

В исследовании [15] авторы применяли экзогенную хлорогеновую кислоту (ХГК) к листьям жимолости японской (*L. japonica*) путем опрыскивания листьев каждый понедельник, среду и пятницу в течение 12 месяцев. Использованный непрерывный мониторинг в течение этого периода выявил последовательное увеличение уровня флавоноидов со второго по десятый месяц после начала обработки ХГК. Это сопровождалось заметным повышением экспрессии четырех генов ферментов, связанных с вторичными метаболитами: LjPAL1, LjPAL2, LjPAL3 и LjISY1. Одновременно наблюдалось значительное повышение общей активности фермента фенилаланинаммиаклиазы. Общая антиоксидантная активность растений также показала заметное увеличение с третьего по седьмой месяц после начала обработки, впоследствии стабилизировавшись. Это увеличение также отражалось в повышении активности ключевых антиоксидантных ферментов: пероксидазы, полифенолоксидазы и супероксиддисмутазы. Кроме того, обработка заметно улучшила различные показатели роста питательных веществ, такие как общее содержание белка, общее содержание сахара и площадь листа. В частности, относительная экспрессия LjTF1, разновидности гена фактора транскрипции BZIP, известного своим обширным регуляторным действием, показала значительное и устойчивое увеличение после начала обработки экзогенной CGA. Последующий метаболомный анализ выявил значительные изменения в метаболитах *L. japonica*. В частности, 172 дифференциально экспрессируемых метаболита (DEM) показали заметное увеличение (Fold > 1), преимущественно в путях, связанных с метаболизмом питательных веществ, таких как углеводный, аминокислотный и энергетический метаболизм. В частности, некоторые из высоко экспрессируемых DEM (Fold > 4) являются ключевыми антиоксидантами и лекарственными компонентами *L. japonica.* Экспериментальные результаты согласуются с метаболомным анализом, указывая, что экзогенная CGA может действовать как стимулятор для *L. japonica*. Он способствует значительному накоплению некоторых вторичных метаболитов, усиливает питательный рост и повышает общую антиоксидантную способность растения.

Чтобы узнать, как эндогенные полифенолы могут играть роль в созревании и старении плодов, диски яблочной мякоти использовались в качестве модели для изучения влияния хлорогеновой кислоты (CHA, основного полифенола в яблочной мякоти) на созревание и старение плодов [16]. Диски мякоти яблока («*Голден Делишес*»), приготовленные из преклимактерических плодов, обрабатывали 50 мг/л CHA и инкубировали в колбах с 10 мМ буфером MES (pH 6,0, 11% сорбитола). По сравнению с контрольными образцами, обработка CHA значительно снижала выработку этилена и скорость дыхания, а также повышала уровни плотности и содержания растворимых твердых веществ дисков мякоти во время инкубации при 25 °C. Эти результаты свидетельствуют о том, что CHA может замедлять старение дисков яблочной мякоти. Протеомный анализ с использованием электрофореза в полиакриламидном геле с додецилсульфатом натрия и масс-спектрометрии (MALDI-TOF/TOF) показал, что обработка КГА повлияла на экспрессию нескольких ключевых белков, коррелирующих с созреванием и старением плодов. Дальнейшие исследования показали, что обработка мякоти КГА значительно снизила уровни липоксигеназы, β-галактозидазы, НАДФ-яблочного фермента, а также ферментативную активность липоксигеназы и УДФ-глюкозопирофосфорилазы, которые известны как стимуляторы созревания и старения плодов. Эти результаты могут пролить свет на функции эндогенных фенольных соединений в процессе созревания и старения плодов.

Стресс от переохлаждения серьезно подавляет нормальный рост и цветение рассады томата и приводит к деформациям плодов [17]. Хлорогеновая кислота (ХГК), фенольная кислота, является ключевым метаболитом в адаптации растений к абиотическим стрессам. Авторы исследовали влияние экзогенного внесения ХГК на устойчивость к холоду рассады томата двух сортов с различной устойчивостью к холоду, чтобы изучить регуляторную роль ХГК и возможный лежащий в ее основе механизм. Сорта томата JF401 (высокоустойчивый к холоду) и JF101 (недельная устойчивость к холоду) были использованы для проведения эксперимента в горшке в условиях климатической камеры. Основываясь на предыдущем результате, на рассаде томата были применены шесть концентраций ХГК для корневой подкормки, включая 0 (CK), 0,005, 0,025, 0,05, 0,1 и 0,25 г/л. Рассада томата росла в нормальных температурных условиях в течение 5 недель, после чего была подвергнута воздействию низких температур (дневная - 15℃, ночная - 5℃) в течение 6 дней. На второй день после окончания холодового стресса в полностью развернутых сегментах листьев с помощью портативного хлорофиллового флуориметра определяли начальный выход флуоресценции (Fo), максимальный

выход флуоресценции (Fm), коэффициент фотохимического взрыва (Qp), коэффициент нефотохимического взрыва (NPQ) и фактическую фотохимическую эффективность ФСII (ФPSII). Взвешивали сырую массу побега (SFW), корня (RFW) и общую массу сеянцев (TFW). Определяли относительную электропроводность (REC), содержание пигментов хлорофилла (Chl.a, Chl.b и Car), содержание свободной воды (LFW) и содержание связанной воды (LBW) в полностью развернутых листьях. Содержание супероксиддисмутазы (СОД), пероксидазы (ПОД), каталазы (КАТ), перекиси водорода (H2O2) и малонового диальдегида (МДА) в листьях было проанализировано. В пределах протестированных концентраций ХГА холодостойкость рассады томата показала тенденцию сначала к увеличению, а затем к снижению, пиковые значения D, комплексный оценочный индекс холодостойкости растений, в JF401 и JF101 появились при ХГА 0,1 г/л и 0,05 г/л соответственно. Корреляционный анализ Пирсона показал, что значение D положительно коррелировало с Fv/Fm, Qp, ФPSII, Chl.a, Chl. (a+b), SFW, RFW, TFW, СОД, ПОД, КАТ и LBW (r=0,72−0,98), отрицательно коррелировало с H2O2, NPQ, REC, МДА и LFW (r=0,63−0,98). Анализ главных компонентов (PCA) показал, что SFW, Chl.b, Chl. (a+b), Qp, ФPSII и LBW были ключевыми показателями, влияющими на устойчивость к холоду двух сортов томата на стадии рассады. При оптимальной концентрации CGA ФPSII, Chl. (a+b), LBW и SFW в JF101 были на 157,7%, 35,5%, 8,4% и 24% выше, чем CK, а в JF401 были на 223,5%, 64,9%, 31,2% и 62% выше, чем контроль. В условиях холодового стресса применение CGA в подходящей концентрации может значительно улучшить устойчивость к холоду рассады томата, и это улучшение включает многопутевые регуляторные механизмы, такие как улучшение поглощения и использования световой энергии, снижение физиологического метаболизма воды, усиление ферментативной антиоксидантной защиты и удаление активных форм кислорода.

## СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Franklin G., Dias A.P. Chlorogenic acid participates in the regulation of shoot, root and root hair development in Hypericum perforatum // Plant Physiology and Biochemistry. – 2011. – Vol. 49, No. 8. – pp. 835–842.

2. Zhong J., Qingsong R., Yanfeng H., Longzhan G. Biosynthetic mechanisms of plant chlorogenic acid from a microbiological perspective // Microorganisms. – 2025. – Vol. 13, No. 5. – pp. 1114–1119.

3. Reine D., Soviguidi J., Pan R., Rao L. Chlorogenic acid metabolism: the evolution and roles in plant response to abiotic stress //

Phyton-International Journal of Experimental Botany. – 2021. – Vol. 91, No. 2. – pp. 239–255.

4. Moreira E.A., Pilon A.C., Andrade L.E., Lopes N.P. New perspectives on chlorogenic acid accumulation in harvested leaf tissue: impact on traditional medicine preparations // ACS Omega. – 2018. – Vol. 3, No. 12. – pp. 18380–18386.

5. Cheng J., Chen Y., Fengxia G., Dong P. Regulatory mechanisms and biosynthesis of chlorogenic acid in Lonicera japonica: insights from tissue culture and inducer treatments // Frontiers in Plant Science. – 2025. – Vol. 16. – pp. 31–39.

6. Kundu A., Vadassery J. Chlorogenic acid-mediated chemical defence of plants against insect herbivores // Plant Biology. – 2019. – Vol. 21, No. 2. – pp. 185–189.

7. Liangchen Y., Peng L., Qingzhang D., Quan M. Genetic architecture underlying the metabolites of chlorogenic acid biosynthesis in Populus tomentosa // International Journal of Molecular Sciences. – 2021. – Vol. 22, No. 5. – pp. 2386–2391.

8. Denaxa N-K., Petros R.A., Kostelenos D.G., Veminos N.S. Chlorogenic acid – a possible cofactor in the rooting of Kalamata olive cultivar // Journal of Plant Growth Regulation. – 2020. – Vol. 40. – pp. 2017–2027.

9. Payyavula R.S., Shakya R., Sengoda V.G., Munyaneza J.E. Synthesis and regulation of chlorogenic acid in potato: rerouting phenylpropanoid flux in HQT-silenced lines // Plant Biotechnology Journal. – 2015. – Vol. 13, No. 4. – pp. 551–564.

10. Bengyella L., Russell T.R., Kaminski J.E. Stimulatory and inhibitory role of allelopathic chlorogenic acid in seed germination and seedling growth of tall fescue grass (Festuca arundinaceae Schreb.) via pH reprogramming // Journal of Plant Growth Regulation. – 2023. – Vol. 42. – pp. 6969–6979.

11. Zebo L., Mohsin A., Wang Z., Xiaofeng Zh. Enhanced biosynthesis of chlorogenic acid and its derivatives in methyl-jasmonate-treated Gardenia jasminoides cells: a study on metabolic and transcriptional responses of cells // Frontiers in Bioengineering and Biotechnology. – 2020. – Vol. 8. – pp. 564–569.

12. Layee S., Avidan N., Pierik R.L. Chlorogenic acid – an independent morphogenesis regulator or a cofactor // Acta Horticulturae. – 1994. – Vol. 381. – pp. 52–61.

13. Yang H., Dong Y., Maoteng L., Wenwen J. Regulation mechanism of chlorogenic acid accumulation during the floral organ development of Lonicera confusa // International Journal of Agriculture and Biology. – 2016. – Vol. 18, No. 3. – pp. 509–514.

14. Narukawa M., Kanbara K., Tominaga Y., Aitani Y. Chlorogenic acid facilitates root hair formation in lettuce seedlings // Plant and Cell Physiology. – 2009. – Vol. 50, No. 3. – pp. 504–514.

15. Zhang M., Xiao Q., Yulong L., Tian Y. Exploration of exogenous chlorogenic acid as a potential plant stimulant enhancing physiochemical properties in Lonicera japonica // Physiology and Molecular Biology of Plants. – 2024. – Vol. 30, No. 3. – pp. 453–466.

16. Yu X., Cheng D., Zeng X., Jiankang C. Evidences for chlorogenic acid – a major endogenous polyphenol involved in regulation of ripening and senescence of apple fruit // PLOS One. – 2016. – No. 1. – pp. 112364–112369.

17. Yanmei L., Jiang L., Xiang S.V., Chang L.B. Physiological regulation of exogenous chlorogenic acid on chilling tolerance of tomato seedlings // Journal of Plant Nutrition and Fertilizers. – 2024. – Vol. 30, No. 2. – pp. 315–330.

18. Wang X., Lifang Q., Zhou J., Youzhi L. A novel design to screen chlorogenic acid-producing microbial strains from the environment // Scientific Reports. – 2018. – Vol. 8. – pp. 14576–14582.

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

20. Gramazio P., Prohens J., Plazas M., Andujar I. Location of chlorogenic acid biosynthesis pathway and polyphenol oxidase genes in a new interspecific anchored linkage map of eggplant // BMC Plant Biology. – 2014. – Vol. 14. – pp. 350–357.

21. Пат. 2706161 C1 RU. Use of chlorogenic acid as synergist of insecticides based on entomopathogenic bacteria Bacillus thuringiensis / Dubovckiy I.M., Grizanova E.V. – 2019.

22. Chongxi L., Bai L., Peng C., Shanshan L. Novel plant growth regulator guvermectin from plant growth-promoting rhizobacteria boosts biomass and grain yield in rice // Journal of Agricultural and Food Chemistry. – 2022. – Vol. 70, No. 51. – pp. 16229–16240.

23. Lukitasari M., Nuqroho A., Widodo N. Chlorogenic acid: the conceivable chemosensitizer leading to cancer growth suppression // Journal of Evidence-Based Integrative Medicine. – 2018. – No. 6. – pp. 9628–9634.

24. Ramabulana A.I., Steenkamp P.A., Madala N.E. Application of plant growth regulators modulates the profile of chlorogenic acids in cultured Bidens pilosa cells // Plants. – 2021. – Vol. 10, No. 3. – pp. 437–448.

25. Gil M., Wianowska D. Chlorogenic acids – their properties, occurrence and analysis // Annales Universitatis Mariae Curie-Sklodowska, Lublin – Polonia. – 2017. – Vol. 72, No. 1. – pp. 61–104.

26. Hosseini S.S., Mashayekhi K., Alizadeh M., Ebrahimi P. Effect of salicylic acid on somatic embryogenesis and chlorogenic acid levels of carrot (Daucus carota cv. Nantes) explants // Journal of Ornamental and Horticultural Plants. – 2011. – Vol. 1, No. 2. – pp. 105–113.

27. Miao M., Xiang L. Pharmacological action and potential targets of chlorogenic acid // Advances in Pharmacology. – 2020. – Vol. 87. – pp. 71–89.

28. Zucker M., Ahrens J.F. Quantitative assay of chlorogenic acid and its pattern of distribution within tobacco leaves // Plant Physiology. – 1958. – Vol. 33, No. 4. – pp. 216–219.

29. Fu K., Shu D., Zhang Y., Gong J. Natural product chlorogenic acid achieves pharmacological activity and health protection via regulating gut microbiota: a review // Food Science and Human Wellness. – 2025. – Vol. 14, No. 7. – pp. 9250153–9250159.

30. Martinez G., Regente M., Jacobi S., Del Rio M. Chlorogenic acid is a fungicide active against phytopathogenic fungi // Pesticide Biochemistry and Physiology. – 2017. – Vol. 140. – pp. 30–35.

31. Chen Ch., Aqrawal D., Lee M-R., Ren J-L., Chao L-K. Influence of LED light spectra on in vitro somatic embryogenesis and LC–MS analysis of chlorogenic acid and rutin in Peucedanum japonicum Thunb.: a medicinal herb // Botanical Studies. – 2016. – Vol. 57. – pp. 9–17.

32. Ramabulana A., Steenkamp P., Madala N., Dubery L. Application of plant growth regulators modulates the profile of chlorogenic acids in cultured Bidens pilosa cells // Plants. – 2021. – Vol. 10, No. 3. – pp. 1–13.

33. Chanqizi Z., Moslehi A., Rohani A-H., Akram E. Chlorogenic acid inhibits growth of 4T1 breast cancer cells through involvement in Bax/Bcl2 pathway // Journal of Cancer Research and Therapeutics. – 2020. – Vol. 16, No. 6. – pp. 1435–1442.

34. Johnson G. Chlorogenic acid a possible metabolite in the terminal oxidase system of the white potato // Science. – 1952. – Vol. 115, No. 2999. – pp. 675–679.

35. Floryanowicz-Czekalska K., Podsedek A., Wysokinska H. Chlorogenic acid in in vitro cultures of Eleutherococcus senticosus // Herba Polonica. – 2006. – Vol. 52, No. 1–2. – pp. 67–74.

36. Erb M., Gordon-Weeks R., Flors V., Camanes G. Belowground ABA boosts aboveground production of DIMBOA and primes induction of chlorogenic acid in maize // Plant Signaling and Behavior. – 2009. – Vol. 4, No. 7. – pp. 639–641.

37. Guan R., Fengdan G., Ruigi G., Wang Sh. Integrated metabolic profiling and transcriptome analysis of Lonicera japonica flowers for chlorogenic acid, luteolin and endogenous hormone syntheses // Gene. – 2023. – Vol. 888. – pp. 147739–147745.

38. del Moral R. On the variability of chlorogenic acid concentration // Oecologia (Berlin). – 1972. – Vol. 9, No. 3. – pp. 289–300.

39. Jing X., Jiahong Zh., Yanhui L., Honglin Zh. Comparative transcriptome and weighted correlation network analyses reveal candidate genes involved in chlorogenic acid biosynthesis in sweet potato // Scientific Reports. – 2022. – Vol. 12. – pp. 2770–2778.

40. Hongli W., Yangun L., Wang S., Kong D. Comparative transcriptomic analyses of chlorogenic acid and luteolosides biosynthesis pathways at different flowering stages of diploid and tetraploid Lonicera japonica // Plant Biology. – 2020. – Vol. 8. – pp. 131–139.

41. Jung H-I., Seung S-I., Song D-K., Hoon J-B. Effects of chlorogenic acid on intracellular calcium regulation in lysophosphatidylcholine-treated endothelial cells // BMB Reports. – 2017. – Vol. 50, No. 6. – pp. 323–328.

42. Ping X., Xiaobo X., Fotina H., Tetiana F. Anti-inflammatory effects of chlorogenic acid from Taraxacum officinale on LTA-stimulated bovine mammary epithelial cells via the TLR2/NF-κB pathway // PLOS One. – 2023. – Vol. 22. – pp. 134562–134567.

43. Chaowuttikul Ch., Palanuvej Ch., Ruangrungsi N. Quantification of chlorogenic acid, rosmarinic acid, and caffeic acid contents in selected Thai medicinal plants using RP-HPLC-DAD // Brazilian Journal of Pharmaceutical Sciences. – 2020. – Vol. 56. – pp. 7547–7552.

44. Atanasova-Penichon V., Pons S., Pinson-Gadais L., Picot A. Chlorogenic acid and maize ear rot resistance: a dynamic study investigating Fusarium graminearum development, deoxynivalenol production, and phenolic acid accumulation // American Phytopathological Society. – 2012. – Vol. 25, No. 12. – pp. 314–324.

## REFERENCES

1. Franklin G., Dias A.P. Chlorogenic acid participates in the regulation of shoot, root and root hair development in Hypericum perforatum // Plant Physiology and Biochemistry. – 2011. – Vol. 49, No. 8. – pp. 835–842.

2. Zhong J., Qingsong R., Yanfeng H., Longzhan G. Biosynthetic mechanisms of plant chlorogenic acid from a microbiological perspective // Microorganisms. – 2025. – Vol. 13, No. 5. – pp. 1114–1119.

3. Reine D., Soviguidi J., Pan R., Rao L. Chlorogenic acid metabolism: the evolution and roles in plant response to abiotic stress // Phyton-International Journal of Experimental Botany. – 2021. – Vol. 91, No. 2. – pp. 239–255.

4. Moreira E.A., Pilon A.C., Andrade L.E., Lopes N.P. New perspectives on chlorogenic acid accumulation in harvested leaf tissue:

impact on traditional medicine preparations // ACS Omega. – 2018. – Vol. 3, No. 12. – pp. 18380–18386.

5. Cheng J., Chen Y., Fengxia G., Dong P. Regulatory mechanisms and biosynthesis of chlorogenic acid in Lonicera japonica: insights from tissue culture and inducer treatments // Frontiers in Plant Science. – 2025. – Vol. 16. – pp. 31–39.

6. Kundu A., Vadassery J. Chlorogenic acid-mediated chemical defence of plants against insect herbivores // Plant Biology. – 2019. – Vol. 21, No. 2. – pp. 185–189.

7. Liangchen Y., Peng L., Qingzhang D., Quan M. Genetic architecture underlying the metabolites of chlorogenic acid biosynthesis in Populus tomentosa // International Journal of Molecular Sciences. – 2021. – Vol. 22, No. 5. – pp. 2386–2391.

8. Denaxa N-K., Petros R.A., Kostelenos D.G., Veminos N.S. Chlorogenic acid – a possible cofactor in the rooting of Kalamata olive cultivar // Journal of Plant Growth Regulation. – 2020. – Vol. 40. – pp. 2017–2027.

9. Payyavula R.S., Shakya R., Sengoda V.G., Munyaneza J.E. Synthesis and regulation of chlorogenic acid in potato: rerouting phenylpropanoid flux in HQT-silenced lines // Plant Biotechnology Journal. – 2015. – Vol. 13, No. 4. – pp. 551–564.

10. Bengyella L., Russell T.R., Kaminski J.E. Stimulatory and inhibitory role of allelopathic chlorogenic acid in seed germination and seedling growth of tall fescue grass (Festuca arundinaceae Schreb.) via pH reprogramming // Journal of Plant Growth Regulation. – 2023. – Vol. 42. – pp. 6969–6979.

11. Zebo L., Mohsin A., Wang Z., Xiaofeng Zh. Enhanced biosynthesis of chlorogenic acid and its derivatives in methyl-jasmonate-treated Gardenia jasminoides cells: a study on metabolic and transcriptional responses of cells // Frontiers in Bioengineering and Biotechnology. – 2020. – Vol. 8. – pp. 564–569.

12. Layee S., Avidan N., Pierik R.L. Chlorogenic acid – an independent morphogenesis regulator or a cofactor // Acta Horticulturae. – 1994. – Vol. 381. – pp. 52–61.

13. Yang H., Dong Y., Maoteng L., Wenwen J. Regulation mechanism of chlorogenic acid accumulation during the floral organ development of Lonicera confusa // International Journal of Agriculture and Biology. – 2016. – Vol. 18, No. 3. – pp. 509–514.

14. Narukawa M., Kanbara K., Tominaga Y., Aitani Y. Chlorogenic acid facilitates root hair formation in lettuce seedlings // Plant and Cell Physiology. – 2009. – Vol. 50, No. 3. – pp. 504–514.

15. Zhang M., Xiao Q., Yulong L., Tian Y. Exploration of exogenous chlorogenic acid as a potential plant stimulant enhancing

physiochemical properties in Lonicera japonica // Physiology and Molecular Biology of Plants. – 2024. – Vol. 30, No. 3. – pp. 453–466.

16. Yu X., Cheng D., Zeng X., Jiankang C. Evidences for chlorogenic acid – a major endogenous polyphenol involved in regulation of ripening and senescence of apple fruit // PLOS One. – 2016. – No. 1. – pp. 112364–112369.

17. Yanmei L., Jiang L., Xiang S.V., Chang L.B. Physiological regulation of exogenous chlorogenic acid on chilling tolerance of tomato seedlings // Journal of Plant Nutrition and Fertilizers. – 2024. – Vol. 30, No. 2. – pp. 315–330.

18. Wang X., Lifang Q., Zhou J., Youzhi L. A novel design to screen chlorogenic acid-producing microbial strains from the environment // Scientific Reports. – 2018. – Vol. 8. – pp. 14576–14582.

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

20. Gramazio P., Prohens J., Plazas M., Andujar I. Location of chlorogenic acid biosynthesis pathway and polyphenol oxidase genes in a new interspecific anchored linkage map of eggplant // BMC Plant Biology. – 2014. – Vol. 14. – pp. 350–357.

21. Пат. 2706161 C1 RU. Use of chlorogenic acid as synergist of insecticides based on entomopathogenic bacteria Bacillus thuringiensis / Dubovckiy I.M., Grizanova E.V. – 2019.

22. Chongxi L., Bai L., Peng C., Shanshan L. Novel plant growth regulator guvermectin from plant growth-promoting rhizobacteria boosts biomass and grain yield in rice // Journal of Agricultural and Food Chemistry. – 2022. – Vol. 70, No. 51. – pp. 16229–16240.

23. Lukitasari M., Nuqroho A., Widodo N. Chlorogenic acid: the conceivable chemosensitizer leading to cancer growth suppression // Journal of Evidence-Based Integrative Medicine. – 2018. – No. 6. – pp. 9628–9634.

24. Ramabulana A.I., Steenkamp P.A., Madala N.E. Application of plant growth regulators modulates the profile of chlorogenic acids in cultured Bidens pilosa cells // Plants. – 2021. – Vol. 10, No. 3. – pp. 437–448.

25. Gil M., Wianowska D. Chlorogenic acids – their properties, occurrence and analysis // Annales Universitatis Mariae Curie-Sklodowska, Lublin – Polonia. – 2017. – Vol. 72, No. 1. – pp. 61–104.

26. Hosseini S.S., Mashayekhi K., Alizadeh M., Ebrahimi P. Effect of salicylic acid on somatic embryogenesis and chlorogenic acid levels of carrot (Daucus carota cv. Nantes) explants // Journal of Ornamental and Horticultural Plants. – 2011. – Vol. 1, No. 2. – pp. 105–113.

27. Miao M., Xiang L. Pharmacological action and potential targets of chlorogenic acid // Advances in Pharmacology. – 2020. – Vol. 87. – pp. 71–89.

28. Zucker M., Ahrens J.F. Quantitative assay of chlorogenic acid and its pattern of distribution within tobacco leaves // Plant Physiology. – 1958. – Vol. 33, No. 4. – pp. 216–219.

29. Fu K., Shu D., Zhang Y., Gong J. Natural product chlorogenic acid achieves pharmacological activity and health protection via regulating gut microbiota: a review // Food Science and Human Wellness. – 2025. – Vol. 14, No. 7. – pp. 9250153–9250159.

30. Martinez G., Regente M., Jacobi S., Del Rio M. Chlorogenic acid is a fungicide active against phytopathogenic fungi // Pesticide Biochemistry and Physiology. – 2017. – Vol. 140. – pp. 30–35.

31. Chen Ch., Aqrawal D., Lee M-R., Ren J-L., Chao L-K. Influence of LED light spectra on in vitro somatic embryogenesis and LC–MS analysis of chlorogenic acid and rutin in Peucedanum japonicum Thunb.: a medicinal herb // Botanical Studies. – 2016. – Vol. 57. – pp. 9–17.

32. Ramabulana A., Steenkamp P., Madala N., Dubery L. Application of plant growth regulators modulates the profile of chlorogenic acids in cultured Bidens pilosa cells // Plants. – 2021. – Vol. 10, No. 3. – pp. 1–13.

33. Chanqizi Z., Moslehi A., Rohani A-H., Akram E. Chlorogenic acid inhibits growth of 4T1 breast cancer cells through involvement in Bax/Bcl2 pathway // Journal of Cancer Research and Therapeutics. – 2020. – Vol. 16, No. 6. – pp. 1435–1442.

34. Johnson G. Chlorogenic acid a possible metabolite in the terminal oxidase system of the white potato // Science. – 1952. – Vol. 115, No. 2999. – pp. 675–679.

35. Floryanowicz-Czekalska K., Podsedek A., Wysokinska H. Chlorogenic acid in in vitro cultures of Eleutherococcus senticosus // Herba Polonica. – 2006. – Vol. 52, No. 1–2. – pp. 67–74.

36. Erb M., Gordon-Weeks R., Flors V., Camanes G. Belowground ABA boosts aboveground production of DIMBOA and primes induction of chlorogenic acid in maize // Plant Signaling and Behavior. – 2009. – Vol. 4, No. 7. – pp. 639–641.

37. Guan R., Fengdan G., Ruigi G., Wang Sh. Integrated metabolic profiling and transcriptome analysis of Lonicera japonica flowers for chlorogenic acid, luteolin and endogenous hormone syntheses // Gene. – 2023. – Vol. 888. – pp. 147739–147745.

38. del Moral R. On the variability of chlorogenic acid concentration // Oecologia (Berlin). – 1972. – Vol. 9, No. 3. – pp. 289–300.

39. Jing X., Jiahong Zh., Yanhui L., Honglin Zh. Comparative transcriptome and weighted correlation network analyses reveal candidate

genes involved in chlorogenic acid biosynthesis in sweet potato // Scientific Reports. – 2022. – Vol. 12. – pp. 2770–2778.

40. Hongli W., Yangun L., Wang S., Kong D. Comparative transcriptomic analyses of chlorogenic acid and luteolosides biosynthesis pathways at different flowering stages of diploid and tetraploid Lonicera japonica // Plant Biology. – 2020. – Vol. 8. – pp. 131–139.

41. Jung H-I., Seung S-I., Song D-K., Hoon J-B. Effects of chlorogenic acid on intracellular calcium regulation in lysophosphatidylcholine-treated endothelial cells // BMB Reports. – 2017. – Vol. 50, No. 6. – pp. 323–328.

42. Ping X., Xiaobo X., Fotina H., Tetiana F. Anti-inflammatory effects of chlorogenic acid from Taraxacum officinale on LTA-stimulated bovine mammary epithelial cells via the TLR2/NF-κB pathway // PLOS One. – 2023. – Vol. 22. – pp. 134562–134567.

43. Chaowuttikul Ch., Palanuvej Ch., Ruangrungsi N. Quantification of chlorogenic acid, rosmarinic acid, and caffeic acid contents in selected Thai medicinal plants using RP-HPLC-DAD // Brazilian Journal of Pharmaceutical Sciences. – 2020. – Vol. 56. – pp. 7547–7552.

44. Atanasova-Penichon V., Pons S., Pinson-Gadais L., Picot A. Chlorogenic acid and maize ear rot resistance: a dynamic study investigating Fusarium graminearum development, deoxynivalenol production, and phenolic acid accumulation // American Phytopathological Society. – 2012. – Vol. 25, No. 12. – pp. 314–324.

### *Информация об авторах*

***У.Р. Гурбанова*** – докторант, младший научный сотрудник лаборатории «Химия и технология циклоалкилфенолов» ИНХП МНО Азербайджана;

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

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

***Г.З. Гейдарли*** – докторант, старший научный сотрудник лаборатории «Химия и технология циклоалкилфенолов» ИНХП МНО Азербайджана;

***П.В. Сулейманова*** – кандидат химических наук, преподаватель Сумгаитского государственного университета, г. Сумгаит, Азербайджан.

***Information about the authors***

***U.R. Qurbanova*** – doctoral student, junior researcher of the laboratory "Chemistry and Technology of Cycloalkylphenols", IPCP MES of Azerbaijan;

***Ch.K. Rasulov*** – Doctor of Chemical Sciences, Professor, Head of the laboratory "Chemistry and Technology of Cycloalkylphenols", IPCP MES of Azerbaijan;

***F.I. Qasymova*** – doctoral student of the laboratory "Chemistry and Technology of Cycloalkylphenols", IPCP MES of Azerbaijan;

***G.Z. Heydarli*** – doctoral student, senior researcher of the laboratory "Chemistry and Technology of Cycloalkylphenols", IPCP MES of Azerbaijan;

***P.V. Suleymanova*** – Candidate of Chemical Sciences, lecturer of Sumgayit State University, Sumgayit, Azerbaijan.

***Вклад авторов***

***У.Р. Гурбанова*** – научное редактирование текста, концепция исследования;

***Ч.К. Расулов*** – сбор материала, обработка материала;

***Ф.И. Гасымова*** – экспериментальная часть;

***Г.З. Гейдарли*** – экспериментальная часть;

***П.В. Сулейманова*** – экспериментальная часть.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

***Contribution of the authors***

***U.R. Qurbanova*** – scientific editing of the text, research concept;

***Ch.K. Rasulov*** – data collection, data processing;

***F.I. Qasymova*** – experimental part;

***G.Z. Heydarli*** – experimental part;

***P.V. Suleymanova*** – experimental part.

The authors declare no conflicts of interest.

*Статья поступила в редакцию 19.04.2026; принята к публикации 25.05.2026.*

*The article was submitted 19.04.2026; accepted forpublication 25.05.2026.*

ХИМИЧЕСКИЕ НАУКИ

Научная статья
УДК 547.541.3
DOI 10.21510/3034-266X-2026-3-46-66

# БИОРЕМЕДИАЦИЯ ПОЧВ, ЗАГРЯЗНЕННЫХ НЕФТЬЮ И НЕФТЕПРОДУКТАМИ

***Парвин Шамхал гызы Мамедова[1], Эльбей Расим оглу Бабаев[2], Кенуль Рамиз гызы Кахраманова[3], Айгюн Эршад гызы Алмамедова[4], Тарана Мурадага гызы Ибрагимова[6], Фидан Галиб гызы Муштагова[7]***
*[1,2,3,4,5,6]Институт химии Министерства науки и образования Азербайджана, Баку*
*[2,6]Государственная нефтяная компания Азербайджанской Республики*
*elbeibabaev@yahoo.de*

***Аннотация.*** Несмотря на потребность человечества в нефти, она негативно влияет на окружающую среду из-за своей токсичности. Экологическая проблема особенно серьезна на нефтедобывающих участках или во время транспортировки нефти. Поскольку заменить нефть менее токсичным топливом невозможно, необходимо разработать способы снижения токсического воздействия нефтяных углеводородов на окружающую среду. В данном обзоре рассматривается биоремедиация – биологический подход к разложению нефти, который в основном осуществляется микроорганизмами.

***Ключевые слова:*** биоремедиация, микроорганизмы, нефть и нефтепродукты, загрязнение почв нефтепродуктами

***Для цитирования:*** Мамедова П.Ш., Бабаев Э.Р., Кахраманова К.Р., Алмамедова А.Э., Ибрагимова Т.М.. Муштагова Ф.Г. Биоремедиация почв, загрязненных нефтью и нефтепродуктами // Вестник Башкирского государственного педагогического университета им. М.Акмуллы. Серия: Естественные науки. 2026. № 3. С. 46-66.

© Мамедова П. Ш., Бабаев Э. Р., Кахраманова К. Р., Алмамедова А. Э., Ибрагимова Т. М., Муштагова Ф. Г., 2026.

CHEMICAL SCIENCES

Original article

# BIOREMEDIATION OF SOILS CONTAMINATED BY PETROLEUMS AND OIL PRODUCTS

***Parvin Shamkhal Mammadova[1], Elbey Rasim Babayev[2], Kenul Ramiz Kahramanova[3], Aygun Erhsad Almammadova[4], Tarana Muradaga Ibrahimova[5], Fidan Qalib Mushtagova[6]***
*[1,2,3,4,5,6]Institute of Chemistry of the Ministry of Science and Education of Azerbaijan, Baku*
*[2,6]State Oil Company of Azerbaijan Republic*
*elbeibabaev@yahoo.de*

***Abstract.*** Despite humanity's need for oil, it negatively impacts the environment due to its toxicity. This environmental problem is particularly serious at oil production sites or during oil transportation. Since it is impossible to replace oil with less toxic fuels, it is necessary to develop methods to reduce the toxic impact of petroleum hydrocarbons on the environment. This review examines bioremediation – a biological approach to oil degradation primarily carried out by microorganisms.

***Keywords:*** bioremediation, microorganisms, oil and petroleum products, soil pollution by petroleum products

***For citing:*** Mammadova P.Sh., Babayev E.R., Kahramanova K.R., Almammadova A.E., Ibrahimova T.M., Mushtagova F.Q. Bioremediation of soils contaminated by petroleum and oil products // Bulletin of Bashkir State Pedagogical University named after M. Akmulla. Series: Natural Sciences. 2026. №3. pp. 46-66.

Биоремедиация загрязненной нефтью и нефтепродуктами почвы использует микроорганизмы (бактерии, грибы) или растения для расщепления углеводородов на менее вредные вещества, являясь устойчивым и экономически эффективным методом. Ключевые методы включают биостимуляцию (добавление питательных веществ, таких как азот/фосфор, для усиления активности местных микроорганизмов) и биоаугментацию (введение специализированных микроорганизмов, разлагающих нефть). Процессы могут быть *in situ* (обработка на месте) или *ex situ* (удаление для обработки), часто сочетая микроорганизмы, растения (фиторемедиация) и грибы (микоремедиация) для эффективной и экологически безопасной очистки.

Основные принципы и механизмы: биоремедиации включают в себя следующие процессы:

**1) микробное действие**: бактерии и грибы потребляют углеводороды в качестве источников углерода/энергии, преобразуя их в $CO_2$, воду и биомассу;

**2) биодоступность**: высокомолекулярные соединения труднее получить; биосурфактанты (производимые микробами) помогают растворять нефть, улучшая скорость её разложения. Факторы, влияющие на разложение: температура, баланс питательных веществ (N, P, O), pH и тип почвы влияют на эффективность.

К наиболее распространенным методам биоремедиации относятся:

**1) биостимуляция**: усиление существующих микробных популяций путем добавления лимитирующих питательных веществ (азота, фосфора) и кислорода;

**2) биоаугментация**: введение отобранных, сильнодействующих нефтеразлагающих микробов для дополнения местных популяций;

**3) фиторемедиация**: использование нефтеустойчивых растений (таких как райграс, люцерна) для стабилизации или разложения загрязняющих веществ;

**4) микоремедиация**: использование грибов, известных своим обширным производством ферментов и колонизацией почвы.

В этой работе нами рассмотрены наиболее основные результаты исследований в области биоремедиации почв, загрязненных нефтью и нефтепродуктами. Так, в работе [1] сообщается, что нефть – наиболее распространенное в мире ископаемое топливо. Это сложная многокомпонентная система, состоящая в основном из различных углеводородов, таких как алканы, циклоалканы, моно-, би- и полиароматические соединения, смолы и асфальтены. Несмотря на потребность человечества в нефти, она негативно влияет на окружающую среду из-за своей токсичности. Экологическая проблема особенно серьезна на нефтедобывающих участках или во время транспортировки нефти. Поскольку заменить нефть менее токсичным топливом невозможно, необходимо разработать способы снижения токсического воздействия нефтяных углеводородов на окружающую среду. В данном обзоре рассматривается биоремедиация – биологический подход к разложению нефти, который в основном осуществляется микроорганизмами. Подробно представлены пути разложения алканов, алкенов и ароматических углеводородов. Обсуждается влияние температуры, аэрации и присутствия биогенных элементов на микробное разложение нефти. Особое внимание уделяется взаимодействиям растений и микроорганизмов, участвующих в биоремедиации загрязненных нефтью почв.

Представленные в этом обзоре данные указывают на большой потенциал методов биоремедиации для очистки почв от нефтепродуктов.

Современная и экологически безопасная методология, использующая биологические процессы для тщательного удаления токсичных загрязняющих веществ предполагает использование почвы, отложений, воды и других продуктов загрязнения с применением микроорганизмов для разложения вредных химических веществ [2]. Химические компоненты также метаболизируются микроорганизмами для производства диоксида углерода или метана, воды и биомассы. Кроме того, загрязняющие вещества могут быть ферментативно преобразованы в менее токсичные или безвредные метаболиты. Биоремедиационные технологии могут применяться как на месте, так и вне. В случае биоремедиации на месте загрязненный материал обрабатывается непосредственно на участке, а загрязненный материал извлекается для обработки в другом месте. Биоремедиационные технологии включают в себя биопроекты, полигоны для захоронения отходов, биозоны, навоз, биоусиление и биостимуляцию. Биоремедиаторы – это микроорганизмы, выполняющие функции биоремедиации. Биоремедиация и другие методы широко использовались в прошлом и настоящем для очистки почвы от загрязняющих веществ, содержащих углеводороды нефти. Поскольку биоремедиация экономически эффективна и приводит к полной минерализации, она является отличным способом очистки загрязненных участков. В данной статье рассматриваются процессы биоремедиации в почвенной системе, с акцентом на разложение углеводородов нефти.

Нефть является не только важным энергетическим ресурсом, способствующим экономическому развитию, но и основным загрязнителем почвы. Токсичность нефти может оказывать негативное воздействие на экосистему, а также иметь негативные последствия, связанные с ее канцерогенностью как для животных, так и для человека [3]. В данном исследовании биоремедиация рассматривается как альтернативный инструмент восстановления загрязненных нефтью почв, при этом особое внимание уделяется фиторемедиационным растениям и микроорганизмам, разлагающим нефть. В данной работе подробно рассматривается биоремедиация загрязненных нефтью почв, а также факторы, влияющие на биоремедиацию, на основе последних исследований. Это позволит получить новое понимание биоремедиации и поможет улучшить стратегии восстановления загрязненных нефтью почв.

Нефтяные углеводороды (НУУ) являются ключевыми источниками энергии для ряда отраслей промышленности и

повседневной жизни. Загрязнение почвы нефтяными разливами НУУ часто обнаруживается в городах и на промышленных предприятиях, где используется сырая нефть. Выброс загрязняющих веществ НУУ в окружающую среду, будь то случайный выброс из нефтяной промышленности или в результате деятельности человека, стал одним из основных источников загрязнения почвы. Следовательно, минерализация загрязненных НУУ участков стала центральной проблемой во всем мире [4]. Хотя биоремедиация имеет первостепенное значение для экологической безопасности и управления, было разработано несколько подходов к биоремедиации НУУ. Однако многое еще предстоит изучить в этом отношении. В этом обзоре рассматривается биоремедиация загрязненной НУУ почвы и представлен всесторонний анализ принципов, механизмов деградации и последних достижений в этой области. Для изучения биоремедиации НУУ использовались различные виды микроорганизмов, при этом подчеркивается ключевая роль разнообразных микробных сообществ. Наиболее эффективными в ремедиации загрязненной НУУ почв оказались группы микроорганизмов *Aspergillus spp., Proteobacteria* и *Firmicutes*. Были разъяснены основные концепции биоремедиации полициклических ароматических углеводородов и сложные механизмы, управляющие их разложением. Также обсуждались ограничивающие факторы в процессе биоремедиации и последние инновации, продвигающие эту область. Таким образом, понимание пути разложения, обеспечение полного разложения загрязняющих веществ и гибкое законодательство для надлежащего использования генетически модифицированных микроорганизмов могут сделать биоремедиацию более устойчивой и экономически эффективной.

Усиление индустриализации, продолжающийся рост населения, высокий спрос и зависимость от нефтехимической продукции привели к беспрецедентному экономическому росту и развитию. Однако неизбежная зависимость от ископаемого топлива привела к серьезным экологическим проблемам в последние десятилетия. Экотоксичность и потенциальные последствия для здоровья, которые представляют собой углеводороды нефти, как для окружающей среды, так и для здоровья человека, привели к росту интереса к разработке методов детоксикации окружающей среды, загрязненной петрогенными соединениями, на основе экологической биотехнологии. Для очистки загрязненных участков с использованием производных нефти применяются различные подходы. Биоремедиация представляет собой экологически устойчивую и экономически выгодную перспективную технологию, позволяющую максимизировать метаболизм органических загрязнителей и минимизировать экологические последствия разливов нефти. Биоремедиация основана на микробной

метаболической активности в присутствии оптимальных экологических факторов и необходимых питательных веществ для преобразования органических загрязнителей, таких как петрогенные углеводороды. Хотя биодеградация часто занимает больше времени, чем традиционные методы очистки, полная деградация загрязняющего вещества часто достигается. Биологическая деградация углеводородов в почве определяется рядом экологических и биологических факторов, варьирующихся от участка к участку, таких как pH почвы, температура, доступность кислорода и содержание питательных веществ, рост и выживание микроорганизмов, разлагающих углеводороды, а также биодоступность загрязняющих веществ для микробного воздействия [5]. В данном обзоре авторы попытались расширить кругозор ученых, работающих в области биоремедиации. Авторы сосредоточились на наиболее распространенных технологиях биоремедиации, используемых в настоящее время для очистки почвы, и на механизмах, лежащих в основе разложения петрогенных углеводородов микроорганизмами.

Микробная биоремедиация – это экологически чистое и устойчивое решение неотложной проблемы загрязнения окружающей среды. Микробная биодеградация и трансформация загрязняющих веществ, таких как тяжелые металлы, углеводороды, масла, пестициды и красители, происходят в основном за счет ферментативных процессов. Этот метод микробной трансформации более удобен и предпочтительнее, чем прямая химическая или физическая обработка. Используя живые микроорганизмы, такие как бактерии, грибы и водоросли, можно детоксифицировать и разложить опасные загрязняющие вещества, содержащиеся в окружающей среде, на побочные продукты, менее токсичные, чем исходные соединения. Микроорганизмы могут быть обнаружены в природе на загрязненном участке или преднамеренно введены извне для целей биоремедиации. Эти микроорганизмы способны расщеплять и трансформировать загрязняющие вещества посредством своих метаболических процессов, используя их в качестве источника питания. Разложение загрязняющих веществ обычно требует сотрудничества нескольких типов микробов, поэтому в некоторых случаях добавление определенных микробов на загрязненный участок может ускорить процесс разложения. Процесс биодеградации зависит от подходящей среды, типа и растворимости загрязняющего вещества, а также его биодоступности для микроорганизмов. Поэтому условия окружающей среды контролируются или модифицируются для обеспечения достаточного роста микроорганизмов, что приводит к эффективной биодеградации. В недавних исследованиях особое внимание уделяется использованию генетически модифицированных микроорганизмов и методов

биоремедиации [6]. В данной работе представлен обзор различных стратегий, используемых в микробной биоремедиации, их преимуществ и недостатков, а также основных принципов и типов методов биоремедиации загрязняющих веществ.

Загрязнение почвы сырой нефтью – распространенное явление при случайных разливах, транспортировке или процессах переработки. Биоремедиация, как экологически чистый и экономически эффективный подход, представляет интерес для обработки загрязненных углеводородами участков с помощью природных микроорганизмов, способных расщеплять или преобразовывать углеводороды в менее токсичные вещества. Однако процесс биоремедиации занимает много времени из-за низкой доступности клеток к углеводородным загрязнителям в почве. Применение бактерий-деградаторов углеводородов, способных продуцировать биосурфактанты в процессе разложения углеводородов, может значительно решить эту проблему [7]. В данном исследовании была проведена оценка бактериального консорциума, состоящего из *Roseomonas aestuarii, Pseudomonas oryzihabitans, Pantoea agglomerans* и *Arthrobacter sp*., для удаления сырой нефти из водной среды и почвенного микрокосма. Для изучения влияния дополнительных биосурфактантов на процесс биоремедиации использовались сурфактин и рамнолипид (соотношение 1:1) в концентрации 1000 ppm. Полученные результаты показывают, что консорциум обладает высоким потенциалом в удалении насыщенных углеводородов из водной (эффективность удаления = 96,16% через 9 дней) и почвенной (эффективность удаления = 64,65% через 120 дней) сред. Консорциум продемонстрировал значительно более высокую эффективность удаления, чем обработка отдельными клетками, возможно, благодаря синергетическому эффекту видов. Анализ методом ГХ-МС подтвердил равномерное удаление консорциумом углеводородов различной молекулярной массы из почвы. Однако добавление дополнительных биосурфактантов показало незначительное изменение эффективности консорциума через 120 дней в почвенных микрокосмах (эффективность удаления насыщенных углеводородов составила 65,97%). Это исследование показало потенциальное применение данного консорциума, продуцирующего биосурфактанты *in situ*, для целей биоремедиации.

Загрязнение почвы нефтью представляет собой серьезную экологическую проблему, вызванную разливами нефти, утечками из резервуаров для хранения, промышленными выбросами и неправильной утилизацией нефтепродуктов в процессе добычи, переработки и транспортировки. Ежегодно в окружающую среду в глобальном масштабе выбрасывается около 6 миллионов тонн нефти,

что приводит к загрязнению почвы и представляет токсическую опасность для грунтовых вод, экосистем, растительности и здоровья человека [8]. Основная цель данной работы – оценить эффективность и потенциал микробной биоремедиации для очистки загрязненных нефтью почв, предлагая устойчивую альтернативу традиционным методам. Традиционные методы ремедиации, такие как выемка почвы, промывка, химическое окисление и сжигание, часто являются дорогостоящими и наносят ущерб окружающей среде. В отличие от них, биоремедиация с использованием микроорганизмов является экономически эффективной, устойчивой и экологически безопасной. В статье рассматриваются несколько микробных стратегий, включая естественное ослабление, биоусиление и биостимуляцию. Естественное разложение основано на использовании местных микроорганизмов, тогда как биоусиление предполагает добавление микроорганизмов, разлагающих углеводороды, а биостимуляция усиливает микробную активность за счет обеспечения питательными веществами. Среди этих методов биоусиление и биостимуляция, как правило, более эффективны, чем естественное разложение, в разложении нефтяных углеводородов. Однако микробная биоремедиация сталкивается с такими проблемами, как длительная обработка, неполное разложение свободными микроорганизмами и необходимость создания оптимальных условий, специфичных для конкретного участка. Будущие исследования должны быть сосредоточены на повышении эффективности микроорганизмов с помощью генной инженерии или микробных консорциумов, разработке более быстрых, специфичных для конкретного участка решений, оценке долгосрочных экологических последствий и интеграции биоремедиации с другими «зелеными» технологиями. В целом, микробная биоремедиация представляет собой многообещающую стратегию устойчивого управления почвами, загрязненными нефтью, благодаря своей низкой стоимости, минимальному воздействию на окружающую среду и адаптивности. Ключевые рассматриваемые темы включают воздействие нефтяного загрязнения на окружающую среду, традиционные и биологические методы ремедиации, сравнительную эффективность и потребности в дальнейшем развитии.

Отмечается [9], что нефть является основным источником энергии для различных отраслей промышленности и повседневной жизни. Выброс нефти в окружающую среду, будь то случайный или вызванный деятельностью человека, является основной причиной загрязнения почвы. Загрязненная нефтью почва представляет серьезную опасность для здоровья человека и вызывает экологические проблемы. Нефтяные загрязнители, в основном углеводороды,

классифицируются как приоритетные загрязнители. Применение микроорганизмов или микробных процессов для удаления или разложения загрязняющих веществ из почвы называется биоремедиацией. Эта микробиологическая дезактивация считается эффективной, экономичной и универсальной альтернативой физико-химической обработке. В данной статье представлен обзор биоремедиации загрязненной нефтью почвы. Также приводится объяснение типов технологий биоремедиации и самих процессов.

Разработка методов биоремедиации почв, загрязненных нефтепродуктами, является одной из самых актуальных задач нашего времени [10]. Выполнение этой задачи особенно затруднительно в высокогорных ландшафтах, на высоте более 4000 м над уровнем моря. Более того, эти высокогорные экосистемы наиболее уязвимы к различным видам антропогенного воздействия, поэтому актуальность биоремедиации очевидна. Исследование проводилось в высокогорных экосистемах Кыргызской Республики на Кумторском руднике. В данном исследовании была проведена биоремедиация загрязненной нефтью почвы с использованием методов биостимуляции, биоаугментации и биостимуляции + биоаугментации в течение 90 дней в климатических условиях высокогорного региона. Наибольший процент биодеградации общих углеводородов нефти (УВН) был достигнут при обработке методом биостимуляции – 62,78% по сравнению с биоаугментацией – 50,63% и биостимуляцией + биоаугментацией – 49,11%. Таким образом, метод биостимуляции оказался наиболее эффективным методом биоремедиации почв, загрязненных нефтепродуктами. Применение этого метода может стать одним из успешных способов переработки загрязненных почв. Данное исследование продемонстрировало возможность восстановления почв, загрязненных углеводородами нефти, с использованием биологических методов обработки почв в холодных климатических условиях высокогорья.

Технологии очистки почв, загрязненных нефтепродуктами, развиваются в двух основных направлениях: первое включает поиск новых эффективных биоагентов, а второе – изучение способов активации присутствующих в почве микроорганизмов, способных разлагать нефть [11]. Целью данного исследования было определить, возможно ли повысить эффективность биоразложения нефтепродуктов с помощью химических добавок. Почва была обогащена добавками: $CuSO_4$, $MnSO_4$, $KMnO_4$, $H_2O_2$, 5% и 10% осадка химических промышленных предприятий, 5% и 10% осадка очистных сооружений муниципальных сточных вод компании «Клайпедос вандуо» (СК«КВ»). Данные свидетельствуют о том, что все добавки статистически значимо стимулировали разложение дизельного топлива

(F = 12,01; p = 0,001) и нефтяной жижи (F = 9,93; p = 0,001) по сравнению с контролем. Было установлено, что дизельное топливо разлагалось быстрее всего в образцах с добавлением $KMnO_4$, где эффективность разложения составляла 90%, и 88% в образцах с 10% осадка сточных вод химической промышленности. Топливо лучше всего разлагалось в образцах с добавлением $KMnO_4$: эффективность разложения достигала 63%. В образцах с 10% осадка сточных вод химической промышленности эффективность разложения составляла 62%.

Загрязнение нефтью является наибольшей проблемой для человечества, и ее потенциальное решение – биоремедиация – является наглядным подходом к восстановлению окружающей среды. В вопросе загрязнения почвы и донных отложений нефтью существует множество методов. Это создает неопределенность в отношении точности результатов, временных затрат и финансовой эффективности, необходимых для успешного результата. Совместное компостирование, микоремедиация, фиторемедиация и биокучи – это устоявшиеся биологические методы. Однако такие методы имеют «серые зоны» и труднодостижимы [12]. В этой работе авторы предоставляют необходимые рекомендации и ключевые моменты для восстановления загрязненных нефтью территорий. Использование этих методов в полномасштабных проектах требует большей концентрации знаний, чем это было показано в ранее опубликованных работах. Эта работа обобщает ранее упущенные из виду идеи эффективной биоремедиации загрязненных нефтью почв и донных отложений.

Биоремедиация может рассматриваться как эффективная стратегия борьбы с загрязняющими веществами, содержащимися в нефтяных углеводородах [13]. В данной работе оценивается эффективность биоремедиации с использованием *Bacillus circulans C1* для очистки загрязненных сырой нефтью почв вокруг нефтеперерабатывающего завода Ти-Кар как в лабораторных условиях (зона выдержки), так и в полевых экспериментах. Начальный уровень общего содержания углеводородов (TPH) в образце почвы, использованном в лаборатории, составлял 15 000 мг/кг, а в почве, исследованной в полевых условиях, – 18 000 мг/кг. Образцы почвы, обработанные *Bacillus circulans C1* в лабораторных условиях, имели константу разложения первого порядка для TPH 0,798 с периодом разложения 30 дней. Таким образом, снижение составило 70% по сравнению с контрольными образцами, при общем снижении на 10%. Полевые испытания также показали аналогичные результаты по снижению уровня общего содержания углеводородов (TPH) на участках, обработанных в течение 60 дней: на обработанных участках уровень TPH снизился на 70 %, а на контрольных – на 10 %.

Исследования химического состава почвы показали, что значения pH, близкие к 8 (щелочная реакция), увеличение содержания азота и стабильность концентраций микроэлементов имеют решающее значение для стимуляции бактериальных процессов и выщелачивания углеводородов. Эти наблюдения подтверждают эффективность *Bacillus circulans C1* как мощного биологического средства для устранения загрязнения воды и почвы. Согласно полученным данным, *Bacillus circulans C1* можно рассматривать как эффективный и экологически чистый метод борьбы с загрязненной почвой и разливами нефти, и данная работа подтверждает его способность значительно снижать уровень углеводородов, что делает его пригодным для применения в больших масштабах. Рекомендуется проведение дополнительных исследований для уточнения методов биоремедиации и анализа связей с другими микроорганизмами.

Исследование [14] было проведено с целью оценки биоремедиации почвы, загрязненной общим количеством углеводородов нефти (УУН) на заброшенном нелегальном нефтеперерабатывающем заводе, с использованием органических добавок: сточных вод рыбоводного пруда (СРП), отработанного субстрата для выращивания грибов (ОСГ) и компостной почвы (КП) со старой свалки отходов. Были проведены базовые исследования образцов загрязненной почвы. Варианты обработки включали четыре экспериментальные установки, в том числе контрольную в глиняных горшках. Установки выдерживались в течение 28 дней, а мониторинг проводился каждые 7 дней с использованием стандартных микробиологических методов и газовой хроматографии. Базовый результат по УУН составил 25 350,2 ± 0,21 мг/кг. Это выше предельного значения, установленного Департаментом охраны окружающей среды (DPR), что означает необходимость принятия мер по очистке. Общее количество гетеротрофных бактерий (THB) варьировалось от: 1,3 ± 0,05 x $10^5$ до 2,3 ± 0,04 x $10^6$ КОЕ/г, общее количество грибов варьировалось от 9,0 ± 0,01 x $10^4$ до 7,0 ± 0,01 x $10^5$ КОЕ/г, количество бактерий, использующих углеводороды (HUB), варьировалось от 1,0 ± 0,04 x $10^5$ до 1,32 ± 0,04 x $10^6$ КОЕ/г, количество грибов, использующих углеводороды (HUF), варьировалось от: 7,0 ± 0,02 x $10^4$ до 5,1 ± 0,18 x $10^5$

КОЕ/г во всех установках. FPE показал период полураспада 9,6 дней с разложением TPH на 88,27%, SMS показал разложение TPH на 82,12% с периодом полураспада 12,2 дня, CS показал разложение TPH на 75,53% и период полураспада 14,81 дня, а контрольный образец показал наименьшее разложение TPH – 6,0% и более длительный период полураспада – 315,1 дня. Были выделены и идентифицированы следующие бактерии и грибы: *Pseudomonas sp, Bacillus sp, Micrococcus*

*sp, Chromobacterium sp, Alcaligenes sp, Arthrobacter sp, Fusarium sp, Rhizopus sp, Mucor sp, Aspergillus fumigates, Penicillium sp, Cryptococcus sp, Aspergillus lentulus, Rhodotolola sp.* Эти результаты показывают, что добавление этих добавок и естественной флоры усилило разложение углеводородов нефти, при этом FPE показал самый высокий процент биоремедиации. Следовательно, FPE можно рекомендовать для применения в биоремедиации загрязненных нефтью почв.

Одной из важнейших экологических проблем является дезактивация почв, загрязненных нефтяными углеводородами, особенно в нефтедобывающих странах. Биоремедиация – наиболее эффективный способ удаления этих загрязняющих веществ из почвы. Отработанный грибной компост обладает высокой способностью разлагать лигниноподобные загрязнения [15]. Целью данного исследования была биоремедиация почвы, загрязненной сырой нефтью, с помощью агарикомицетов. Образцы почвы были обработаны отработанным грибным компостом в концентрациях 3%, 5% и 10% (масс./масс.) с добавлением или без добавления удобрений. Был проведен тест на экотоксичность прорастания с использованием *Lipidium sativa*. Амплифицированный фрагмент (18s рДНК) последовательности этого гриба подтвердил, что штамм принадлежит к виду *Pleurotus ostreatus* с полной гомологией (100% идентичность). Все экспериментальные наборы тестов эффективно способствовали разложению почвы, загрязненной нефтяными углеводородами, в течение трех месяцев. Загрязнённая нефтью почва, обработанная 10% отработанным грибным компостом и удобрениями, позволила удалить 64,7% от общего количества углеводородов нефти по сравнению с контролем. Индекс всхожести (%) в тестах на экотоксичность варьировался от 60,4 до 93,8%. Это показало, что загрязненная нефтью почва, обработанная 10% отработанным грибным компостом, обладает более высокой биоремедиационной способностью и снижает токсичность почвы менее чем за три месяца.

Биоуголь экспериментально исследуется как новая высокоэффективная добавка для ремедиации загрязненных почв. Ключевым моментом является влияние биоугля на биоремедиацию почв, загрязненных общими углеводородами нефти (УУН), и, в частности, использование биоугля в качестве носителя для иммобилизации бактерий с синергетическим эффектом абсорбции и разложения [16]. Поэтому авторы изучили способность нефтеразлагающих бактерий, иммобилизованных на биоугле, свободных бактерий и одного только биоугля, к удалению УУН из почвы с помощью гравиметрического анализа и газовой хроматографии-масс-спектрометрии. После 60 дней ремедиации стратегия с использованием иммобилизованных бактерий на биоугле

оказалась более эффективной, чем другие методы, в снижении содержания УУН и *н*-алканов с $C_{12–18}$, что показало самый короткий период полураспада и самую высокую эффективность биоразложения; изменения в характеристиках ферментативной активности и микробного дыхания показали, что обработка биоуглем улучшила не только удобрение почвы и накопление углерода, но и иммобилизация значительно повлияла как на физико-химические свойства почвы, так и на бактериальную активность. Более того, разнообразие бактериальной популяции и биодоступность углеводородов повышались при добавлении биоугля и нефтеразлагающих бактерий. В целом, полученные результаты подчеркивают потенциал применения иммобилизованных микроорганизмов на биоугле для ускорения биодеградации нефти и поддержания баланса почвенной экосистемы, что может быть объяснено синергетическим эффектом биостимуляции и биоусиления.

В работе [17] рассматривается глобальная угроза загрязнения почв, в частности, опасность, создаваемая нефтяными загрязнителями. Обсуждаются недостатки традиционных физических и химических методов очистки и подчеркиваются преимущества биоремедиации, которая является экологически чистой и экономически эффективной. Основное внимание уделяется микробной биоремедиации, включая роль бактерий, архей, грибов и микроводорослей в разложении нефтяных загрязнителей. В работе также рассматриваются механизмы микробной деградации и факторы, влияющие на процесс биоремедиации. Обсуждаются последние достижения и новые технологии в этой области, вселяющие надежду на более эффективные и масштабируемые решения проблемы нефтяного загрязнения. В заключение подчеркивается важность микробной биоремедиации в решении глобальной проблемы загрязнения почв нефтяными отложениями.

Загрязнение окружающей среды нефтепродуктами и нефтехимической продукцией в последние десятилетия привлекает к себе большое внимание [18]. Загрязнение природной среды производными нефти приводит к деградации почвы, включая пахотные земли, а образование многочисленных очагов и зон загрязнения может привести к образованию подземных загрязнений. Доказано, что это оказывает вредное воздействие на окружающую среду и человека в целом. Поэтому улучшение наших знаний о последствиях и методах очистки от загрязнения, связанного с нефтью, имеет важное значение для будущего развивающихся стран в отношении устойчивого использования окружающей среды. Биоремедиация является одной из наиболее популярных технологий очистки благодаря относительно низкой стоимости. Это быстро развивающаяся область восстановления

окружающей среды, использующая естественную микробную активность для снижения концентрации и/или токсичности различных химических веществ, таких как нефтепродукты, алифатические и ароматические углеводороды. Биодеградация – это естественный процесс, осуществляемый почвенными и водными микроорганизмами, в основном бактериями и грибами. Некоторые штаммы бактерий обладают доказанной способностью расщеплять или трансформировать химические вещества, присутствующие в нефтепродуктах. Цель методов биоремедиации нефтяных разливов заключается в создании благоприятных условий по содержанию кислорода, температуры и питательных веществ для максимального биологического разложения углеводородов. Данная статья представляет собой краткий обзор биодеградации и биоремедиации нефтяных углеводородов.

В исследовании [19] в лабораторных условиях в течение 180 дней изучалось влияние биоугля из рисовой соломы на биодеградацию загрязняющих веществ в почве и состав микробного сообщества. Результаты экспериментов в почвенных микрокосмах показали, что эффективность разложения загрязняющих веществ была значительно выше в почвах, обработанных биоуглем, чем в почвах без него. Время добавления биоугля оказывало явное влияние на эффективность разложения. Эффективность удаления общих углеводородов нефти (УВН) составляла 61,2%, 77,8% и 84,8% в почвах без биоугля, а также в почвах, обработанных биоуглем в начале эксперимента и на 80-й день соответственно. При добавлении биоугля на 80-й день концентрация УВН снизилась до уровня ниже порогового значения, требуемого для качества почв в Китае (3000 мг/кг сухого веса), за 140 дней. Добавление биоугля не привело к существенному негативному воздействию на состав микробного сообщества почвы. Было высказано предположение, что при добавлении биоугля на 80-й день большое количество метаболитов может абсорбироваться на биоугле, что приведет к значительному снижению токсичности почвы и усилению биоразложения.

Загрязнение почвы нефтью из различных источников, включая случайные утечки, промышленную деятельность и неправильную утилизацию отходов, приводит к нарушению экосистем, загрязнению воды, нанесению вреда здоровью человека и снижению сельскохозяйственной продуктивности. Биоремедиация становится наиболее важным методом, признанным в качестве обработки загрязненных углеводородами почв с использованием местной микробной флоры, целью которого является восстановление почв до их доуглеводородного состояния [20]. В этой статье авторы приводят несколько примеров передовой практики биоремедиации загрязненных

нефтью почв на некоторых участках на северо-востоке Румынии. На первом этапе были нанесены на карту все нефтедобывающие скважины на северо-западе Румынии, как действующие, так и заброшенные, всего 695 скважин. Для 7 тематических исследований были взяты почвенные профили вблизи скважинной колонны и из точек, расположенных вблизи нее в обсадной трубе скважины, для которых была определена концентрация общих углеводородов нефти. С помощью методов пространственной интерполяции ГИС была определена теоретическая концентрация углеводородов нефти в почве. Загрязнённая почва была доставлена на станцию биоремедиации, где подверглась процедурам биоремедиации, и был проанализирован период и продолжительность времени, необходимого для приведения почвы к допустимым параметрам с точки зрения допустимых концентраций. Время, необходимое для биоремедиации, варьируется от 17 до 36 недель. На основе практического применения можно сделать вывод, что время, необходимое для биоремедиации, напрямую зависит от начальной концентрации загрязняющих веществ и количества химических и физических воздействий на почву.

В тепличном эксперименте исследовали разложение отдельных углеводородов нефти в ризосфере люцерны. В загрязненные и незагрязненные нефтью почвы добавляли 100 ppm полинуклеарных ароматических и алифатических углеводородов. В качестве контроля использовали незагрязненную почву без добавления углеводородов. Подсчет микробного состава в почвах с растениями и без них для каждого варианта обработки почвы проводили через 4, 8, 16 и 24 недели после посадки. Численность микробов была значительно выше в почве с растениями, по сравнению с почвой без растений, что указывает на то, что корни растений усиливали микробные популяции в загрязненной почве. Обработка почвы не оказывала влияния на численность микробов в присутствии растений [21].

Таким образом, обобщая вышесказанное, можно заключить, что нефть является не только важным энергетическим ресурсом для стимулирования экономического развития, но и основным источником загрязнения почвы [22]. Токсичность нефти может оказывать негативное воздействие на окружающую среду, а также негативно влиять на животных и людей из-за ее канцерогенных свойств. Поэтому ее удаление из окружающей среды становится актуальной проблемой. Хотя для очистки загрязненных нефтью почв используется множество методов, применение грибов представляет собой устойчивое решение этой проблемы благодаря их способности выживать в суровых условиях окружающей среды. Микоремедиация – это метод биоремедиации, используемый для удаления токсичных соединений с помощью грибной биомассы. Грибы доказали свою потенциальную

способность к деградации сложных органических соединений за счет биомассы, что приводит к выработке разнообразных внеклеточных ферментов.

## СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Stepanova A.Y., Gladkov E.A., Osipova E.S., Gladkova O.V., Tereshonok D.V. Bioremediation of soil from petroleum contamination // Processes. – 2022. – Vol. 10, No. 6. – pp. 1224–1249.

2. Ajona M., Vasanthi P. Bioremediation of petroleum contaminated soils – a review // Materials Today: Proceedings. – 2021. – Vol. 45, No. 7. – pp. 7117–7122.

3. Chen Sh., Zhong M. Bioremediation of petroleum-contaminated soil // Chapter in book Environmental Chemistry and Recent Pollution Control Approaches. – 2019. – 214 p.

4. Mekonnen B.A., Aragaw T.A., Genet M.B. Bioremediation of petroleum hydrocarbon contaminated soil: a review on principles, degradation mechanisms, and advancements // Frontiers in Environmental Science. – 2024. – Vol. 12. – pp. 311–318.

5. Koshlaf E., Ball A.S. Soil bioremediation approaches for petroleum hydrocarbon polluted environments // Microbiology. – 2017. – Vol. 3, No. 1. – pp. 25–49.

6. Elshafei A.M., Mansour R. Microbial bioremediation of soils contaminated with petroleum hydrocarbons // Discover Soil. – 2024. – Vol. 1. – pp. 9–16.

7. Hosseini S., Sharifi R., Habibi A. Efficient bioremediation of crude oil contaminated soil by a consortium of in-situ biosurfactant producing hydrocarbon-degraders // Scientific Reports. – 2025. – Vol. 15. – pp. 19852–19857.

8. Rizai A., Nordin R., Navarro A.R., Reyes J.C. Microbial bioremediation of petroleum-contaminated soil – a sustainable approach // Tropical Aquatic and Soil Pollution. – 2025. – Vol. 5, No. 1. – pp. 71–87.

9. Yuniati M.D. Bioremediation of petroleum-contaminated soil – a review // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. – 2018. – 17–18 October. – pp. 13–16.

10. Totubaeva N., Tokpaeva Zh., Izakov J., Moldobaev M. Bioremediation approaches for oil contaminated soils in extremely high-mountainous conditions // Plant, Soil and Environment. – 2023. – Vol. 69, No. 4. – pp. 188–193.

11. Jakubauskaite V., Zukauskaite A., Kryzevivius Z., Ambrazatiene D. Bioremediation of the soil contaminated with petroleum oil products using sewage sludge // Acta Agriculturae Scandinavica. Section B. – Soil and Plant Sciences. – 2016. – Vol. 66, No. 8. – pp. 664–670.

12. Parnian A., Vara Prasad M.N., Furze J.N., Jaafarzadeh N. Bioremediation of petroleum contaminated soil and sediment // Book. – 2025. – 312 p.

13. Oudah I.S. Bioremediation of soil contaminated with crude oil using some of bacteria // European Journal of Medical and Health Research. – 2024. – Vol. 2, No. 4. – pp. 32–49.

14. Ibietela D.S., Ugboma C.J., Orwukwe J.O. Bioremediation of total petroleum hydrocarbon polluted soil from an abandoned illegal crude oil refining site using organic amendments // Acta Scientific Microbiology. – 2022. – Vol. 5, No. 1. – pp. 70–79.

15. Sichani M.S., Assadi M., Farazmand A., Kianirad M. Bioremediation of soil contaminated crude oil by Agaricomycetes // Journal of Environmental Health Science and Engineering. – 2017. – Vol. 15. – pp. 8–20.

16. Zhang B., Liang Zh., Xiuxia Zh. Bioremediation of petroleum hydrocarbon-contaminated soil by petroleum-degrading bacteria immobilized on biochar // RSC Advances. – 2019. – Vol. 9. – pp. 35304–35311.

17. Waychal Y., Gawas Sh., Barage S.H. Bioremediation of petroleum-contaminated soil // Chapter 10 in book Advances in Bioremediation and Phytoremediation for Sustainable Soil Management. – 2022. – pp. 82–116.

18. Dindar E., Olcay F., Sagban T., Baskaya H.S. Bioremediation of petroleum-contaminated soil // Journal of Biological and Environmental Sciences. – 2013. – Vol. 7, No. 19. – pp. 39–47.

19. Gang Q., Gong D., Mei-Ying F. Bioremediation of petroleum-contaminated soil by biostimulation amended with biochar // International Biodeterioration and Biodegradation. – 2013. – Vol. 185, No. 5. – pp. 150–155.

20. Brejea R., Boros M., Rosca S., Traian J.E. Bioremediation of oil contaminated soil and restoration of land historically polluted with oil products in the agricultural circuit in the Plain and Western Hills, Romania // Applied Sciences. – 2023. – Vol. 13, No. 18. – pp. 10245–10251.

21. Lee E., Banks M.K. Bioremediation of petroleum contaminated soil using vegetation: a microbial study // Journal of Environmental Science and Health. Part A. Environmental Science and Engineering and Toxicology. – 1993. – Vol. 28, No. 10. – pp. 2187–2198.

22. Ravi K.R., Gupta Sh., Verina P. Bioremediation of petroleum-contaminated soil // Chapter in book Crude Oil – New Technologies and Recent Approaches. – 2022. – pp. 121–145.

## REFERENCES

1. Stepanova A.Y., Gladkov E.A., Osipova E.S., Gladkova O.V., Tereshonok D.V. Bioremediation of soil from petroleum contamination // Processes. – 2022. – Vol. 10, No. 6. – pp. 1224–1249.

2. Ajona M., Vasanthi P. Bioremediation of petroleum contaminated soils – a review // Materials Today: Proceedings. – 2021. – Vol. 45, No. 7. – pp. 7117–7122.

3. Chen Sh., Zhong M. Bioremediation of petroleum-contaminated soil // Chapter in book Environmental Chemistry and Recent Pollution Control Approaches. – 2019. – 214 p.

4. Mekonnen B.A., Aragaw T.A., Genet M.B. Bioremediation of petroleum hydrocarbon contaminated soil: a review on principles, degradation mechanisms, and advancements // Frontiers in Environmental Science. – 2024. – Vol. 12. – pp. 311–318.

5. Koshlaf E., Ball A.S. Soil bioremediation approaches for petroleum hydrocarbon polluted environments // Microbiology. – 2017. – Vol. 3, No. 1. – pp. 25–49.

6. Elshafei A.M., Mansour R. Microbial bioremediation of soils contaminated with petroleum hydrocarbons // Discover Soil. – 2024. – Vol. 1. – pp. 9–16.

7. Hosseini S., Sharifi R., Habibi A. Efficient bioremediation of crude oil contaminated soil by a consortium of in-situ biosurfactant producing hydrocarbon-degraders // Scientific Reports. – 2025. – Vol. 15. – pp. 19852–19857.

8. Rizai A., Nordin R., Navarro A.R., Reyes J.C. Microbial bioremediation of petroleum-contaminated soil – a sustainable approach // Tropical Aquatic and Soil Pollution. – 2025. – Vol. 5, No. 1. – pp. 71–87.

9. Yuniati M.D. Bioremediation of petroleum-contaminated soil – a review // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. – 2018. – 17–18 October. – pp. 13–16.

10. Totubaeva N., Tokpaeva Zh., Izakov J., Moldobaev M. Bioremediation approaches for oil contaminated soils in extremely high-mountainous conditions // Plant, Soil and Environment. – 2023. – Vol. 69, No. 4. – pp. 188–193.

11. Jakubauskaite V., Zukauskaite A., Kryzevivius Z., Ambrazatiene D. Bioremediation of the soil contaminated with petroleum oil products using sewage sludge // Acta Agriculturae Scandinavica. Section B. – Soil and Plant Sciences. – 2016. – Vol. 66, No. 8. – pp. 664–670.

12. Parnian A., Vara Prasad M.N., Furze J.N., Jaafarzadeh N. Bioremediation of petroleum contaminated soil and sediment // Book. – 2025. – 312 p.

13. Oudah I.S. Bioremediation of soil contaminated with crude oil using some of bacteria // European Journal of Medical and Health Research. – 2024. – Vol. 2, No. 4. – pp. 32–49.

14. Ibietela D.S., Ugboma C.J., Orwukwe J.O. Bioremediation of total petroleum hydrocarbon polluted soil from an abandoned illegal crude oil refining site using organic amendments // Acta Scientific Microbiology. – 2022. – Vol. 5, No. 1. – pp. 70–79.

15. Sichani M.S., Assadi M., Farazmand A., Kianirad M. Bioremediation of soil contaminated crude oil by Agaricomycetes // Journal of Environmental Health Science and Engineering. – 2017. – Vol. 15. – pp. 8–20.

16. Zhang B., Liang Zh., Xiuxia Zh. Bioremediation of petroleum hydrocarbon-contaminated soil by petroleum-degrading bacteria immobilized on biochar // RSC Advances. – 2019. – Vol. 9. – pp. 35304–35311.

17. Waychal Y., Gawas Sh., Barage S.H. Bioremediation of petroleum-contaminated soil // Chapter 10 in book Advances in Bioremediation and Phytoremediation for Sustainable Soil Management. – 2022. – pp. 82–116.

18. Dindar E., Olcay F., Sagban T., Baskaya H.S. Bioremediation of petroleum-contaminated soil // Journal of Biological and Environmental Sciences. – 2013. – Vol. 7, No. 19. – pp. 39–47.

19. Gang Q., Gong D., Mei-Ying F. Bioremediation of petroleum-contaminated soil by biostimulation amended with biochar // International Biodeterioration and Biodegradation. – 2013. – Vol. 185, No. 5. – pp. 150–155.

20. Brejea R., Boros M., Rosca S., Traian J.E. Bioremediation of oil contaminated soil and restoration of land historically polluted with oil products in the agricultural circuit in the Plain and Western Hills, Romania // Applied Sciences. – 2023. – Vol. 13, No. 18. – pp. 10245–10251.

21. Lee E., Banks M.K. Bioremediation of petroleum contaminated soil using vegetation: a microbial study // Journal of Environmental Science and Health. Part A. Environmental Science and Engineering and Toxicology. – 1993. – Vol. 28, No. 10. – pp. 2187–2198.

22. Ravi K.R., Gupta Sh., Verina P. Bioremediation of petroleum-contaminated soil // Chapter in book Crude Oil – New Technologies and Recent Approaches. – 2022. – pp. 121–145.

### *Информация об авторах*

***П.Ш. Мамедова*** – доктор химических наук, заведующая лабораторией «Смазочно-охлаждающие жидкости» Института химии присадок МНО Азербайджана;

***Э.Р. Бабаев*** – кандидат химических наук, ведущий научный сотрудник лаборатории «Защитные органические соединения» ИХП МНО Азербайджана;
***К.Р. Кахраманова*** – докторант лаборатории «Смазочно-охлаждающие жидкости» Института химии присадок МНО Азербайджана;
***А.Э. Алмамедова*** – научный сотрудник лаборатории «Смазочно-охлаждающие жидкости» Института химии присадок МНО Азербайджана;
***Т.М. Ибрагимова*** – научный сотрудник лаборатории «Смазочно-охлаждающие жидкости» Института химии присадок МНО Азербайджана;
***Ф.Г. Муштагова*** – докторант, государственная нефтяная компания Азербайджанской Республики.

### *Information about the authors*

***P.Sh. Mamedova*** – Doctor of Chemical Sciences, Head of the "Cutting Fluids" Laboratory, Institute of Chemistry of Additives, Ministry of Education of Azerbaijan;
***E.R. Babayev*** – candidate of Chemical Sciences, leading researcher of the "Protective Organic Compounds" Laboratory, Institute of Chemical Compounds, Ministry of Education of Azerbaijan;
***K.R. Kahramanova*** – doctoral student of the "Cutting Fluids" Laboratory, Institute of Chemistry of Additives, Ministry of Education of Azerbaijan;
***A.E. Almamedova*** – researcher of the "Cutting Fluids" Laboratory, Institute of Chemistry of Additives, Ministry of Education of Azerbaijan;
***T.M. Ibrahimova*** – researcher of the "Cutting Fluids" Laboratory, Institute of Chemistry of Additives, Ministry of Education of Azerbaijan;
***F.G. Mushtagova*** – doctoral student, State Oil Company of the Republic of Azerbaijan.

### *Вклад авторов*

***Т.М. Ибрагимова*** – экспериментальная часть;
***А.Э. Алмамедова*** – экспериментальная часть;
***К.Р. Кахраманова*** – сбор материала, обработка материала;
***Э.Р. Бабаев*** – постановка статьи;
***Ф.Г. Муштагова*** – экспериментальная часть, оформление статьи;

***П.Ш. Мамедова*** – научное редактирование текста, концепция исследования.
Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

***Author contributions***

***T.M. Ibrahimova*** – experimental part;
***A.E. Almamedova*** – experimental part;
***K.R. Kahramanova*** – data collection, data processing;
***E.R. Babayev*** – article formulation;
***F.G. Mushtagova*** – experimental part, article formatting;
***P.Sh. Mamedova*** – scientific editing of the text, research concept.
The authors declare no conflicts of interest.

*Статья поступила в редакцию 19.04.2026; принята к публикации 25.06.2026.*

*The article was submitted 19.04.2026; accepted forpublication 25.06.2026.*

ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ФИЗИКА

Научная статья
УДК 537.218;531.51
DOI 10.21510/3034-266X-2026-3-67-77

***Валентин Дмитриевич Павлов***
*Владимирский государственный университет им. А.Г. и Н.Г. Столетовых, Владимир, Россия*
*pavlov.val.75@mail.ru*

# ЭЛЕКТРОСТАТИЧЕСКОЕ И ГРАВИТАЦИОННОЕ ПОЛЯ: ПРОБЛЕМЫ С ЭНЕРГЕТИЧЕСКИМ БАЛАНСОМ

***Аннотация.*** Установлено, что электростатическое взаимодействие одноименных электрических зарядов не является парадоксальным. Электростатическое взаимодействие разноименных электрических зарядов является парадоксальным. Этот парадокс устранен. Гравитационное взаимодействие является неустранимо парадоксальным.

***Ключевые слова:*** заряд, сфера, масса, тело, поле, энергия, работа, взаимодействие.

***Для цитирования:*** Павлов В.Д. Электростатическое и гравитационное поля: проблемы с энергетическим балансом // Вестник Башкирского государственного педагогического университета им. М. Акмуллы. Серия: Естественные науки. 2026. № 3. С. 67-77.

Original article

THEORETICAL PHYSICS

# ELECTROSTATIC AND GRAVITATIONAL FIELDS: PROBLEMS WITH ENERGY BALANCE

***Valentin D. Pavlov***
*Vladimir State University A.G. and N.G. Stoletovs, Vladimir, Russia*
*pavlov.val.75@mail.ru*

[5]© Павлов В. Д., 2026.

***Abstract.*** It has been established that the electrostatic interaction of like electric charges is not paradoxical. The electrostatic interaction of unlike electric charges is paradoxical. This paradox has been resolved. Gravitational interaction is irreducibly paradoxical.

***Keywords:*** charge, sphere, mass, body, field, energy, work, interaction.

***For citing:*** Pavlov V.D. Electrostatic and gravitational fields: problems with energy balance // Bulletin of the Bashkir State Pedagogical University named after M. Akmulla. Series: Natural Sciences. 2026; 3: 67-77.

**Введение**

Потенциальная энергия электростатического взаимодействия двух одинаково и ОДНОИМЕННО заряженных сфер равна

$$U_1 = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0\varepsilon}\frac{q^2}{r}, \qquad (1)$$

где $\varepsilon_0$ – постоянная электрическая, $\varepsilon$ – относительная диэлектрическая проницаемость, $q$ – электрический заряд, $r$ – расстояние между центрами сфер.

Потенциальная энергия РАЗНОИМЕННО заряженных сфер равна

$$U_2 = -\frac{1}{4\pi\varepsilon_0\varepsilon}\frac{q^2}{r}. \qquad (2)$$

Потенциальная энергия гравитационного взаимодействия двух одинаковых массивных круглых тел равна

$$U_3 = -\gamma\frac{m^2}{r}, \qquad (3)$$

где $\gamma$ – гравитационная постоянная, $m$ – масса.

Представленные величины существенно характеризуют электростатическое и гравитационное поля. Эти величины естественным образом являются математически изоморфными.

Последнее замечание не распространяется на знаки величин, которые в любом случае имеют принципиальное значение.

Дальнейшее рассмотрение, так или иначе, связано со знаками энергий и имеет своей целью обнаружение связанных с ними (знаками) проблем энергии полей и их решения.

**Постановка задачи**

Не существует отрицательной массы [1-3], и скорость света – величина не комплексная. В этой связи энергия в соответствии со знаменитой формулой Пуанкаре

$$E = mc^2 \qquad (4)$$

(*E* – энергия, *c* – скорость света) В ПРИНЦИПЕ не может быть отрицательной, чего не скажешь о (2) и (3). Отрицательной может быть лишь РАЗНОСТЬ энергий, но не сама энергия. Однако величины (2) и (3) не являются разностями энергий.[6]

В этом состоит ПЕРВЫЙ парадокс соответствующих полевых взаимодействий.

Но парадокс устранимый. Правильный выбор постоянных интегрирования этот парадокс устраняет [4, 5].

Задача исследования заключается:

- в установлении соотношений между потенциальной энергией взаимодействия, энергией поля и работой им совершаемой;
- в анализе энергетического баланса;
- в устранении выявляемых противоречий.

**Метод**

(на примере одноименных зарядов)

Плотность энергии электростатического поля равна

$$w = \frac{\varepsilon_0 \varepsilon}{2} \mathbf{E}^2 = \frac{\varepsilon_0 \varepsilon}{2} \left( \frac{q}{4\pi\varepsilon_0 \varepsilon r^2} \right)^2 = \frac{q^2}{32\pi^2 \varepsilon_0 \varepsilon r^4}, \qquad (5)$$

где **E** – напряженность электрического поля.

Энергия поля заряженной сферы радиуса *a* равна

$$W = \int_V w dV = \frac{q^2}{32\pi^2 \varepsilon_0 \varepsilon} \int_a^\infty \frac{4\pi r^2}{r^4} dr = \frac{q^2}{8\pi\varepsilon_0 \varepsilon} \int_a^\infty \frac{dr}{r^2} = \frac{q^2}{8\pi\varepsilon_0 \varepsilon a}, \qquad (6)$$

где *dV* – элемент объема.

Энергия поля двух одинаковых заряженных сфер при бесконечно большом расстоянии между ними равна

$$W_\infty = 2W = \frac{q^2}{4\pi\varepsilon_0 \varepsilon a}. \qquad (7)$$

Энергия поля двух одинаково и одноименно заряженных сфер при нулевом расстоянии между их центрами равна

$$W_0 = \frac{(2q)^2}{8\pi\varepsilon_0 \varepsilon a} = \frac{q^2}{2\pi\varepsilon_0 \varepsilon a}. \qquad (8)$$

[6] Энергия – это материальный ресурс (который стоит денег). Подобный другим материальным ресурсам, например, дровам. Минимальное количество дров В РЕАЛЬНОМ МИРЕ (а не в бухгалтерских балансах) – 0 м$^3$. Меньше (отрицательной величины) быть не может. Буквально так же, как не может быть отрицательных дров, не может быть и отрицательной энергии. Математиков, бухгалтеров и юристов отрицательные дрова не смутят (как и полтора землекопа). Физиков должны бы смутить.

$$W_0 = 2W_\infty . \qquad (9)$$

При совершении полем работы $A$ (при удалении зарядов) его энергия уменьшается

$$A_{0\infty} = W_0 - W_\infty = \frac{q^2}{4\pi\varepsilon_0\varepsilon a} = W_\infty . \qquad (10)$$

В [5] показано, что потенциальная энергия электростатического взаимодействия двух одинаково и одноименно заряженных сфер при нулевом расстоянии между их центрами равна

$$U_0 = \frac{q^2}{4\pi\varepsilon_0\varepsilon a} . \qquad (11)$$

При этом

$$U_0 = W_0 - W_\infty = A_{0\infty} . \qquad (12)$$

Соотношения между потенциальной энергией взаимодействия $U$, энергией поля $W$ и работой $A$ не противоречат здравому смыслу и закону сохранения энергии. Другими словами, электростатическое взаимодействие одноименных электрических зарядов [6-8] не является парадоксальным.

**Полевое взаимодействие разноименных зарядов**

Энергия поля двух одинаковых разноименно заряженных сфер при бесконечно большом расстоянии между ними совпадает с (7).

Энергия поля этих же сфер при нулевом расстоянии между их центрами равна нулю.

При совершении полем работы (при сближении зарядов) его энергия уменьшается

$$A_{\infty 0} = W_\infty - W_0 = \frac{q^2}{4\pi\varepsilon_0\varepsilon a} = W_\infty . \qquad (13)$$

В [5] показано, что потенциальная энергия электростатического взаимодействия двух одинаковых разноименно заряженных сфер при бесконечно большом расстоянии между ними равна

$$U_\infty = \frac{q^2}{4\pi\varepsilon_0\varepsilon a} . \qquad (14)$$

При этом

$$U_\infty = W_\infty - W_0 = A_{\infty 0} . \qquad (15)$$

Соотношения между потенциальной энергией взаимодействия $U$, энергией поля $W$ и работой $A$ не противоречат здравому смыслу и закону сохранения энергии.

Остается парадокс, связанный с отрицательной энергией (2).

N.B. Он возник из-за того, что постоянная интегрирования при вычислении энергии волюнтаристски, бездоказательно и ошибочно принята равной нулю. В результате потенциальная энергия

взаимодействия зарядов (хрестоматийная) при бесконечно большом расстоянии между ними стала равна НУЛЮ. В то время как в действительности она МАКСИМАЛЬНА и равна (14). Ведь именно в этом положении работа (15), которую ПОТЕНЦИАЛЬНО может совершить поле, является максимальной.

В [5] показано, что потенциальная энергия электростатического взаимодействия двух разноименно заряженных сфер равна

$$U = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0\varepsilon}\frac{q_{1\pm}q_{2\mp}}{a_2} - \frac{1}{4\pi\varepsilon_0\varepsilon}\frac{q_{1\pm}q_{2\mp}}{r},\ r \geq a_1 + a_2,\ a_2 \geq a_1. \qquad (16)$$

При любых обстоятельствах $U \geq 0$.

Применительно к одинаковым сферам и равновеликим зарядам постоянная интегрирования совпадает с (14).

Парадокс отрицательной энергии устранен.

**Гравитационное взаимодействие**

Пусть два одинаковых существенно массивных неподвижных тела удерживаются на значительном расстоянии друг от друга, таком, что потенциальная энергия их взаимодействия ПРЕНЕБРЕЖИМО МАЛА. В какой-то момент телам предоставляется свобода, и они очень медленно устремляются друг к другу. По мере сближения сила притяжения между ними возрастает, возрастает их ускорение и скорость. В конце пути их кинетическая энергия уже НЕ ЯВЛЯЕТСЯ ПРЕНЕБРЕЖИМО МАЛОЙ, что недвусмысленно подтверждается деформацией тел при столкновении [9].

Из этого простого эксперимента следует, что в процессе сближения тела приобрели энергию, которой они не обладали до этого процесса [10, 11].

В этой связи ДОЛЖНО возникнуть недоумение – откуда же взялась существенная кинетическая энергия сближающихся тел, если изначально никакой энергии по существу не было?

В этом состоит ВТОРОЙ парадокс гравитационного взаимодействия (ПЕРВЫЙ – отрицательная энергия (3)).

**Происхождение кинетической энергии. Вариант первый (хрестоматийный)**

На бесконечном удалении друг от друга двух массивных одинаковых круглых тел радиуса $a$ потенциальная энергия их взаимодействия $U_\infty$ равна нулю. При соприкосновении тел она равна

$$U_{a+a} = -\gamma\frac{mm}{a+a} = -0,5\frac{\gamma m^2}{a}. \qquad (17)$$

Кинетическая энергия при соприкосновении тел равна

$$\mathrm{K} = 0,5\frac{\gamma m^2}{a}. \qquad (18)$$

Энергетический баланс

$$\mathrm{K} = U_{\infty} - U_{a+a} = 0 - \left( -0,5\frac{\gamma m^2}{a} \right) = 0,5\frac{\gamma m^2}{a}. \qquad (19)$$

Математиков в этом выражении ничто не смутит.

У физиков ДОЛЖЕН бы возникнуть дискомфорт в связи с тем, что положительная энергия, преобразованная в положительную же работу, извлечена из НИЧЕГО (из нуля)

**Происхождение кинетической энергии. Вариант второй**

В соответствии с [4] на бесконечном удалении друг от друга двух массивных одинаковых круглых тел радиуса $a$ потенциальная энергия их взаимодействия $U_{\infty}$ равна

$$U_{\infty} = 1,2\frac{\gamma m^2}{a}. \qquad (20)$$

При соприкосновении тел она равна

$$U_{a+a} = 0,7\frac{\gamma m^2}{a}. \qquad (21)$$

Кинетическая энергия (энергетический баланс)

$$\mathrm{K} = U_{\infty} - U_{a+a} = 1,2\frac{\gamma m^2}{a} - 0,7\frac{\gamma m^2}{a} = 0,5\frac{\gamma m^2}{a} \qquad (22)$$

(ср. с (19)).

В этом варианте нет никакой мистики, и энергия из НИЧЕГО не возникает.

**Парадокс,**

связанный с отрицательной энергией (3), имеет абсолютно ту же причину, что и в случае разноименно заряженных сфер (2) (см. N.B.).

В [4] показано, что потенциальная энергия гравитационного взаимодействия двух круглых массивных тел равна

$$U = \frac{\gamma m_1 m_2}{a_2}\left( 1,5 - 0,3\frac{a_1^2}{a_2^2} \right) - \frac{\gamma m_1 m_2}{r},\ r \geq a_1 + a_2,\ a_2 \geq a_1. \qquad (23)$$

При любых обстоятельствах $U \geq 0$.

Парадокс отрицательной энергии устранен.

**Но это еще не все**

Плотность энергии гравитационного поля вне тела радиуса $a$ равна

$$w_2 = \frac{k}{2\gamma} g^2 = \frac{k}{2\gamma}\left( \gamma\frac{m}{r^2} \right)^2 = \frac{k\gamma m^2}{2r^4}. \qquad (24)$$

Здесь $k$ – безразмерный коэффициент, величина которого для целей настоящей работы не имеет никакого значения, $g$ – напряженность гравитационного поля.

Энергия поля вне тела равна

$$W_2 = \int_V w_2 dV = \frac{k\gamma m^2}{2} \int_a^\infty \frac{4\pi r^2}{r^4} dr = 2\pi k\gamma m^2 \int_a^\infty \frac{dr}{r^2} = \frac{2\pi k\gamma m^2}{a}. \quad (25)$$

Плотность энергии внутри тела равна

$$w_1 = \frac{k\gamma}{2r^4}\left(m\frac{r^3}{a^3}\right)^2 = \frac{k\gamma m^2 r^2}{2a^6}. \quad (26)$$

Энергия поля внутри тела равна

$$W_1 = \int_V w_1 dV = \frac{k\gamma m^2}{2a^6} \int_0^a r^2 4\pi r^2 dr = \frac{2\pi k\gamma m^2}{a^6} \int_0^a r^4 dr = \frac{2}{5}\frac{\pi k\gamma m^2}{a}. \quad (27)$$

Полная энергии гравитационного поля одного тела равна

$$W = W_1 + W_2 = 2,4\frac{\pi k\gamma m^2}{a}. \quad (28)$$

Энергия поля двух одинаковых массивных круглых тел при бесконечно большом расстоянии между ними равна

$$W_\infty = 2W = 4,8\frac{\pi k\gamma m^2}{a}. \quad (29)$$

Энергия поля этих двух тел при нулевом расстоянии между их центрами равна

$$W_0 = 2,4\frac{\pi k\gamma (2m)^2}{a} = 9,6\frac{\pi k\gamma m^2}{a}. \quad (30)$$

При совершении полем работы (при сближении тел из бесконечности до нуля) его энергия ДОЛЖНА УМЕНЬШАТЬСЯ.

А она УВЕЛИЧИВАЕТСЯ. Вдвое. Это ТРЕТИЙ парадокс гравитационного взаимодействия.

И ЭТОТ ПАРАДОКС НЕУСТРАНИМ.

***Обсуждение***

Одноименные магнитные заряды $d\boldsymbol{\mu} = Id\mathbf{l}$ [12, 13], как и гравитпционные, тоже притягиваются. Но там парадокс подобный третьему (увеличения энергии поля при совершении им положительной работы) не возникает из-за спасительного действия электромагнитной индукции [14, 15], за счет которой магнитные заряды, а, следовательно, и энергия их поля уменьшаются.

Излишне говорить, что подлобного механизма у гравитации нет.

Отрицательная энергия, разумеется, без внимания не оставалась. Но практически всегда ее отрицательный знак принимался как вынужденный формализм.

Считалось, что за счет отрицательной энергии можно устранить неустранимый третий парадокс гравитационного взаимодействия.

Но, неустранимый парадокс, он потому и неустранимый, что устранить его НЕЛЬЗЯ. Ведь энергия отрицательной быть не может. И кинетическая энергия при столкновении тел из НИЧЕГО (нуля) возникнуть не может (второй парадокс).

Другими словами, попытка за счет отрицательной энергии разрешить третий парадокс необходимо порождает второй парадокс.

В настоящее время публикаций, посвященных разрешению третьего+второго парадокса, не выявлено.

***Заключение***

Электростатическое взаимодействие одноименных электрических зарядов не является парадоксальным. Электростатическое взаимодействие разноименных электрических зарядов является парадоксальным. Формула (16) этот парадокс устраняет. Гравитационное взаимодействие является неустранимо парадоксальным. Этот парадокс (третий + второй), как и большинство парадоксов, может оказаться продуктивным. Последующие исследования планируется посвятить его разрешению, которое может пополнить сведения о природе гравитации.

## СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Белоглазова С.Ю. Периодически изменяющийся дефект массы // Инженерная физика. № 3, 2026. – С. 26-29. DOI: 10.25791/infizik.3.2026.1540

2. Popov I.P. Hypothesis on the chemical structure of dark matter // Butlerov Communications B. Vol. 11, No.4, 2025. – Id.1. DOI: 10.37952/ROI-jbc-01/25-84-10-58/ROI-jbc-B/25-11-4-1

3. Павлов В.Д. Формальная модель сильного взаимодействия // Инженерная физика. № 2, 2026. – С. 34-37. DOI: 10.25791/infizik.2.2026.1535

4. Popov I.P. Full Account of the Energy of the Gravitational Field in Cosmology and Spacecraft Ballistics // Technical Physics. 2024. Vol. 69, No. 1. P. 53–56. DOI: 10.1134/S1063784224700300

5. Попов И.П. Расчет полной энергии электростатического поля // Труды Крыловского государственного научного центра. 2020. Т. 2, № 392. С. 107–114. DOI: 10.24937/2542-2324-2020-2-392-107-114

6. Pavlov V.D. On the electronic quantum structures of conductors // Physics of Complex Systems. Vol. 6, No. 1, 2025. P. 49–53. DOI: 10.33910/2687-153X-2025-6-1-49-53 EDN MDSAWK

7. Павлов В.Д. Вариативность релятивистской скорости сближения объектов на основе данных Большого адронного

коллайдера // Вестник НФ БГТУ: мехмат. 2024. Том 4, № 3 (15). С. 4–11. DOI: 10.51639/2713-0657_2024_4_3_4

8. Безденежных В.И. Сопоставление сильного ядерного и электрического дипольного взаимодействий // Физическое образование в ВУЗах. Т. 31, № 4, 2025. – С. 36-43. DOI: 10.54965/1609-3143-2025-31-4-36-43

9. Павлов В.Д. Моделирование скорости метеороидов // Математическое и программное обеспечение систем в промышленной и социальной сферах. 2021. Т. 9, № 2. С. 6-10. DOI: 10.18503/2306-2053-2021-9-2-6-10.

10. Попов И.П. О взаимодействии пространства-времени с материальными объектами // Инженерная физика. 2024. № 10. С. 45–51. DOI: 10.25791/infi zik.10.2024.1432

11. Павлов В.Д. Моделирование механизмов некоторых гравитационных эффектов // Математическое и программное обеспечение систем в промышленной и социальной сферах. 2025. Т. 13, № 1. С. 12-16.

12. Popov I.P. Theoretical and experimental discovery of the magnetic monopole and magnetic charge // Physics of Complex Systems. Vol. 6, No. 2, 2025. – P. 110–115. DOI: 10.33910/2687-153X-2025-6-2-110-115 EDN WCYYUP

13. Попов И.П. Неожиданное открытие магнитных монополей и магнитных зарядов // Прикладная физика и математика. 2025. № 3. С. 20-23. DOI: 10.25791/pfim.03.2025.1334

14. Безденежных В.И. Моделирование электромагнитного преобразователя для ориентирования космических аппаратов // Математическое и программное обеспечение систем в промышленной и социальной сферах. Т.13, № 2, 2025. – С. 2-4.

15. Безденежных В.И. Мгновенное значение момента, развиваемого синхронным генератором при индуктивной и емкостной нагрузке // Вестник Тверского государственного технического университета. Серия «Строительство. Электротехника и химические технологии». № 2 (26), 2025. – С. 36–39. DOI: 10.46573/2658-7459-2025-2-36-39

## REFERENCES

1. Beloglazova S.YU. Periodicheski izmenyayushchiysya defekt massy [Periodically changing mass defect] // Inzhenernaya fizika. No. 3, 2026. – PP. 26-29. DOI: 10.25791/infizik.3.2026.1540

2. Popov I.P. Hypothesis on the chemical structure of dark matter // Butlerov Communications B. Vol. 11, No.4, 2025. – Id.1. DOI: 10.37952/ROI-jbc-01/25-84-10-58/ROI-jbc-B/25-11-4-1

3. Pavlov V.D. Formal'naya model' sil'nogo vzaimodeystviya [Formal model of strong interaction] // Inzhenernaya fizika. No. 2, 2026. – PP. 34-37. DOI: 10.25791/infizik.2.2026.1535

4. Popov I.P. Full Account of the Energy of the Gravitational Field in Cosmology and Spacecraft Ballistics // Technical Physics. 2024. Vol. 69, No. 1. – PP. 53–56. DOI: 10.1134/S1063784224700300

5. Popov I.P. Raschet polnoy energii elektrostaticheskogo polya [Calculation of the total energy of an electrostatic field] // Trudy Krylovskogo gosudarstvennogo nauchnogo tsentra. 2020. Vol. 2, No. 392. – PP. 107–114. DOI: 10.24937/2542-2324-2020-2-392-107-114

6. Pavlov V.D. On the electronic quantum structures of conductors // Physics of Complex Systems. Vol. 6, No. 1, 2025. – PP. 49–53. DOI: 10.33910/2687-153X-2025-6-1-49-53 EDN MDSAWK

7. Pavlov V.D. Variativnost' relyativistskoy skorosti sblizheniya ob''yektov na osnove dannykh Bol'shogo adronnogo kollaydera [Variability of the relativistic velocity of approaching objects based on the data of the Large Hadron Collider] // Vestnik NF BGTU: mekhmat. 2024. Vol 4, No. 3 (15). – PP. 4–11. DOI: 10.51639/2713-0657_2024_4_3_4

8. Bezdenezhnykh V.I. Sopostavleniye sil'nogo yadernogo i elektricheskogo dipol'nogo vzaimodeystviy [Comparison of strong nuclear and electric dipole interactions] // Fizicheskoye obrazovaniye v VUZakh. Vol. 31, No. 4, 2025. – PP. 36-43. DOI: 10.54965/1609-3143-2025-31-4-36-43

9. Pavlov V.D. Modelirovaniye skorosti meteoroidov [Modeling the speed of meteoroids] // Matematicheskoye i programmnoye obespecheniye sistem v promyshlennoy i sotsial'noy sferakh. 2021. Vol. 9, No. 2. – PP. 6-10. DOI: 10.18503/2306-2053-2021-9-2-6-10.

10. Popov I.P. O vzaimodeystvii prostranstva-vremeni s material'nymi ob''yektami [On the interaction of space-time with material objects] // Inzhenernaya fizika. 2024. No. 10. – PP. 45–51. DOI: 10.25791/infi zik.10.2024.1432

11. Pavlov V.D. Modelirovaniye mekhanizmov nekotorykh gravitatsionnykh effektov [Modeling the mechanisms of some gravitational effects] // Matematicheskoye i programmnoye obespecheniye sistem v promyshlennoy i sotsial'noy sferakh. 2025. Vol. 13, No. 1. – PP. 12-16.

12. Popov I.P. Theoretical and experimental discovery of the magnetic monopole and magnetic charge // Physics of Complex Systems. Vol. 6, No. 2, 2025. – PP. 110–115. DOI: 10.33910/2687-153X-2025-6-2-110-115 EDN WCYYUP

13. Popov I.P. Neozhidannoye otkrytiye magnitnykh monopoley i magnitnykh zaryadov [Unexpected discovery of magnetic monopoles and magnetic charges] // Prikladnaya fizika i matematika. 2025. No. 3. – PP. 20-23. DOI: 10.25791/pfim.03.2025.1334

14. Bezdenezhnykh V.I. Modelirovaniye elektromagnitnogo preobrazovatelya dlya oriyentirovaniya kosmicheskikh apparatov [Modeling of an electromagnetic converter for spacecraft orientation] // Matematicheskoye i programmnoye obespecheniye sistem v promyshlennoy i sotsial'noy sferakh. Vol.13, No. 2, 2025. – PP. 2-4.

15. Bezdenezhnykh V.I. Mgnovennoye znacheniye momenta, razvivayemogo sinkhronnym generatorom pri induktivnoy i yemkostnoy nagruzke [Instantaneous value of the torque developed by a synchronous generator under inductive and capacitive loads] // Vestnik Tverskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Seriya «Stroitel'stvo. Elektrotekhnika i khimicheskiye tekhnologii». No. 2 (26), 2025. – PP. 36–39. DOI: 10.46573/2658-7459-2025-2-36-39

### *Информация об авторе*

***В.Д. Павлов*** – кандидат физико-математических наук, старший преподаватель.

### *Information about the author*

***V.D. Pavlov*** – Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Senior Lecturer

*Статья поступила в редакцию 28.07.2026; принята к публикации 14.09.2026.*
*The article was submitted 28.07.2026; accepted for publication 14.09.2026.*

ОБРАЗОВАНИЕ И ПЕДАГОГИЧЕСКИЕ НАУКИ

Научная статья
УДК 502(07): 37:502
DOI 10.21510/3034-266X-2026-3-78-97

# ПРОФЕССИОНАЛЬНОЕ ЭКОЛОГИЧЕСКОЕ ОБРАЗОВАНИЕ В УНИВЕРСИТЕТАХ АЗЕРБАЙДЖАНА

***Севда Малик кызы Искендерова***
*Бакинский государственный университет, Азербайджан, Баку*
*https://orcid.org/0009-0004-9493-3035*
*sevda_bdu@mail.ru*

***Аннотация.*** В статье анализируются понятия экологического образования и экологической педагогики, факторы, влияющие на формирование этих областей, и их значение как педагогической дисциплины. Разъясняются цели экологической педагогики, основные методические подходы, применяемые в этой области, и принципы, на которых она основана, а также показано влияние этих принципов на развитие экологического образования. Представлена информация о структуре экологического образования, его основных и вспомогательных подсистемах, а также о его компонентах. Также анализируются образовательные, воспитательные и развивающие цели экологического образования, и одновременно исследуются специфические особенности этого образования на уровне бакалавриата. Работа также затрагивает развитие содержания экологического образования. Здесь отражены логическое единство и целостность образовательного процесса, формирование осмысленных и взаимосвязей между всеми его компонентами и деятельностью преподавателя, а также роль этих связей в достижении образовательных целей. Статья отражает высокий потенциал развития и образования в области экологии, в том числе экологической подготовки студентов, поскольку ее содержание определяется мировоззренческой, культурной и творческой сущностью экологической науки. Основное внимание уделяется глобальным экологическим процессам и проблемам, угрожающим человечеству; исследуются их причины, возможные последствия и выдвигаются на первый план пути их предотвращения.

© Искендерова С. М., 2026.

***Ключевые слова:*** экологическое образование, экологические проблемы, экологическая педагогика, методика, система экологической подготовки, система экологического образования, природа-общество, экологические знания, экологическая культура, экологическое сознание

***Для цитирования***: Искендерова С.М. Профессиональное экологическое образование в университетах Азербайджана // Вестник Башкирского государственного педагогического университета им. М. Акмуллы. Серия: Естественные науки. 2026. № 3. С. 78-97.

EDUCATION AND PEDAGOGICAL SCIENCES

Original article

# PROFESSIONAL ECOLOGICAL EDUCATION AT UNIVERSITIES IN AZERBAIJAN

***Sevda Malik Iskandarova***
*Baku State University, Azerbaijan, Baku, sevda_bdu@mail.ru*
*https://orcid.org/0009-0004-9493-3035*

***Abstract.*** This article explores the concepts of environmental education and environmental pedagogy, the factors shaping them, and their role as a pedagogical science. It presents the objectives of environmental pedagogy, the main methodological approaches used in this process, the principles on which it is based, the principles of environmental pedagogy, and their role in the development of environmental education. The article provides information on the system and subsystem of environmental training and its components. It also explores the educational, developmental, and developmental goals of environmental training, as well as the unique features of bachelor's degree environmental training. The development of environmental training content is also noted. Here, the logic of the environmental training process, with its unity and integrity, is reflected in the emergence of common and meaningful connections and relationships between all components of learning and teacher activity, leading to the achievement of educational goals. Environmental education as a whole, including student environmental training, possesses significant developmental and educational potential due to the specifics of its content, which are determined by the worldview and cultural and creative nature of environmental science. The focus is on global environmental processes and related problems threatening humanity, studying their causes and potential consequences, and understanding possible methods for their prevention.

***Key words*:** environmental education, environmental problems, environmental pedagogy, methodology, environmental training system, environmental education system, nature-society, environmental knowledge, environmental culture, environmental consciousness

***For citing***: Iskandarova S.M. Professional ecological education at universities in Azerbaijan // Bulletin of Bashkir State Pedagogical University named after M. Akmulla. Series: Natural Sciences. 2026. No. 3. pp. 78-97.

***Introduction***. The modern environmental crisis, understood as a sharp disruption of ecosystem stability and the emerging fear of its destruction, is rooted in acute contradictions between civilization's relationship with nature and the biosphere's ability to maintain the natural biogeochemical cycle of self-renewal. Although the issue of environmental security is currently being studied at all levels – global, regional, and local – a thorough understanding of the nature of interactions between nature and humans is of particular importance. Thus, it is necessary to utilize not only the material resource value of nature, but also its full cultural potential, which can help humans embrace its moral, aesthetic, ethical, and scientific values. However, since the problem of human survival has become extremely complex today, amid the global environmental crisis, it is imperative to sound the alarm for the future of civilization. Serious measures must be taken to prevent the cultural indoctrination that has occurred in society and may occur in the future with the onset of an environmental crisis [19].

For the harmonious interaction and development of society and nature, the system of science, education, and culture as a whole must be structured in such a way that it serves as the basis for the formation of new moral criteria that promote an understanding of man and nature, life and health as absolute values. Since solving such an important problem is closely linked to a number of challenges, including education, environmental education is becoming increasingly relevant in the context of a scientific approach to resolving the contradictions between society and nature. In this regard, environmental education for future teachers is currently receiving special attention worldwide [14].

Environmental education is crucial in this area to overcome the environmental crisis that has arisen in the modern era. Developing an environmental worldview is primarily aimed at ensuring that young professionals who receive higher education adhere to environmental principles in their future work. Furthermore, developing an ecological worldview in students for their future professional activities is of great importance to teaching staff studying at higher education institutions. This approach increases the relevance of environmental education and is becoming one of the key avenues for overcoming the environmental crisis [13].

Since gaining independence, our republic's material and technical base has been strengthened, and the population's standard of living has increased due to significant changes in the socio-political, economic, and cultural life of our society. The positive changes that have occurred in the socio-political, economic, and cultural life of our country since independence, in turn, highlight the manifestation of Creative thinking – that is, imaginative thinking – in the consciousness, thinking, worldview, and behavior of people living in the republic, in their attitudes toward nature, the flora and fauna of their homeland, and environmental protection. For this reason, training specialists in this field is of paramount importance for ensuring the health of the younger generation.

The development of environmental knowledge in higher education institutions is one of the pressing issues of our time in order to implement the provisions enshrined in Article 39 of the Constitution of the Republic of Azerbaijan, adopted at a national referendum on November 12, 1995 (everyone has the right to live in a healthy environment; the state ensures the maintenance of ecological balance, the protection of species of wild plants and wild animals established by law, etc.) [4].

In light of the above, public education institutions – the family and society – must direct all efforts toward instilling in future generations (especially high school students) a caring attitude toward the environment, flora, and fauna of the republic, and a high level of environmental protection in the country. However, without diminishing the role of other state institutions in this area, it is necessary to emphasize that a great responsibility falls on the education system, where professional specialists in this field work.

The inclusion of our country's education system in the Bologna Process and the transition of higher professional education to a multi-level system under the influence of this process have led to the emergence of new pedagogical problems in the implementation of environmental education. Research on environmental education of future teachers at various levels of education (bachelor's, master's, etc.) in pedagogical specialties at higher education institutions has not been conducted. This has implications for the implementation of environmental education, particularly for teacher training. As a result, the requirements for environmental education in higher education institutions, in particular its purpose and functions, have not been defined, and the content of education has not been determined taking into account the interaction and mutual influence of science and teaching in the structure of ecology and pedagogy [16].

In light of the above, the relevance of the problem under study is determined by the following principles:

– the special significance of environmental education in the formation of culture, a globally oriented worldview, and personal development;

– particular attention to the role of environmental education as a factor in the professionalization and socialization of the individual;
– understanding the importance of environmental education at the state and societal levels and taking the necessary measures in this area; – environmental education should play a leading role in solving environmental problems and preventing the escalation of an environmental crisis into an environmental disaster;
- the importance of environmental education of students at the bachelor's level in the training of teaching staff in the field of environmental education of schoolchildren; - the lack of development of the theoretical concept of environmental education of future teachers in the multi-level system of higher education [18].

The study aims to address the following issues:
– the real need for environmental teachers in comprehensive schools, primary and secondary vocational education institutions, and the lack of training in the specialty of "Ecology" with the provision of the specialty "Ecology Teacher";
- the objective need for greening, integrating, and humanizing general education and the lack of a holistic theoretical framework for the environmental training of future teachers;
- a humanistic educational system that determines the development of future science teachers who are not only bearers of a traditional, functional system of education and knowledge, but also bearers of universal and professional values;
– structural and functional distinction between environmental and pedagogical training and the importance of an integrated system of environmental training as a means of developing the professional competence of bachelors in natural sciences, capable of performing various professional duties;
– the need to develop professional skills in the field of environmental knowledge in future teachers, coupled with the absence of such a mechanism in the modern practice of training teaching staff in higher education institutions [13].

The elimination of the above-mentioned problems requires the development of a system of environmental training for future teachers of natural sciences in the field of developing environmental knowledge in accordance with the current conditions of the environmental crisis.

A significant amount of research has been devoted to the development of environmental knowledge and the study of its individual aspects. These studies primarily examine the following issues:
– cultural, sociological, and pedagogical understandings of the relationship between education and culture, and the role and functions of general and vocational education;

- conceptual approaches explaining the essence, content, and structure of professional and pedagogical education;
- scientific and theoretical foundations of the multi-level concept of methodological knowledge;
- research conducted at the scientific and theoretical level in the context of continuous professional pedagogical education;
– the concept of human development as a subject of activity, personality, and individuality [17].

***Materials and Methods.*** The object of the study is the learning process of students majoring in the natural sciences at pedagogical universities.

***Research Results.*** The aim of the study is to examine the pedagogical foundations for developing environmental knowledge in students majoring in the natural sciences at pedagogical universities. Theoretical analysis and composition; observation, interview, questionnaire, generalization, abstraction, systems approach, quantitative and qualitative analysis of empirical data; statistical methods of mathematical processing of experimental data, pedagogical experiment.

Based on the research objective, the following tasks were set:

1) to identify current trends in the development of educational activities to develop environmental knowledge in our country and to substantiate the leading role of environmental education in the development of society, science, and education;
2) determine the role of higher education institutions in achieving the goal of developing environmental knowledge in connection with the transition of our country's education system to the Bologna process;
3) reveal the functions of methodological approaches in the study of pedagogical activity in relation to the development of environmental knowledge in higher education institutions in our country;
4) develop a framework for a theoretical concept for preparation for teaching activities within the framework of developing environmental knowledge in the continuous education system;
5) define principles for environmental training of students studying natural sciences and develop requirements for the personality of a teacher engaged in teaching activities;
6) to substantiate a system of environmental training for students studying natural sciences and identify the main models of its core;
7) to determine the organizational and methodological foundations and content of environmental training for students, and to identify effective ways to develop a system of environmental knowledge.

The scientific novelty of the study lies in its solution to the problem of environmental readiness of students majoring in natural sciences in higher education institutions at the methodological, theoretical-didactic, and

methodological levels. Scientific concepts of the interaction between society and nature were examined, their influence on the development of environmental education was identified, and the influence of political, socio-economic, scientific and pedagogical factors, as well as synergistic, Cultural and student-centered approaches to developing environmental knowledge are explored. Key ideas, trends (humanization, democratization, greening, integration into the European educational space), and specific features in the development of environmental knowledge are identified, and the role of natural science faculties at higher education institutions in achieving environmental knowledge development goals is explored in the context of the integration of our country's higher education system into the Bologna Framework.

The theoretical significance of the study lies in identifying the functions of methodological approaches (systemic, personality-oriented) in building a system of environmental training for students: development of a system of environmental training for students studying natural sciences; from identifying the relationships that link all components into a single system, from identifying external and internal factors that determine the openness and multifunctionality of the system; It lies in determining the functions of systems (social, cultural and creative, ideological, methodological, integrative, professional and pedagogical), ensuring the organization and development of the system. In addition, the theoretical significance of the study lies in identifying the organizational and methodological conditions that contribute to the formation of specific professional competencies of future teachers and the justification for training; This is due to the development of the concept of environmental readiness, based on the ideas of harmonious development of the personality of students, continuous environmental education, interdisciplinary integration and humanization, based on the study of the function of training as a function of the development of professional competence and culture of students [20].

In most developed countries, the system of environmental training is highly valued in the undergraduate curriculum for students majoring in Natural Science Education (Ecology). This system is built on the concept of content, structure, purpose, principles, and patterns of the components of the educational process and curriculum, as well as the functioning of methodological and pedagogical concepts. It is also based on the requirements for ensuring the active involvement of specialists in social and pedagogical activities and the development of socially and professionally significant personal qualities.

This system operates within the educational space of a multi-level higher education system and acts as a complex of socio-economic, professional, and pedagogical conditions that determine the upbringing and development of the individual.

The factors for improving and developing the environmental education system are determined by resolving the following contradictions:
- contradictions between the modern requirements of the transition to an intensive education system and the lack of sufficient theoretical justification for the optimal means and methods of implementing them;
- contradictions between the level of theoretical and practical mastery of pedagogical education and the degree of their assimilation in the process of professional training and environmental education of students;
- contradictions between the real demand for environmental educators in secondary schools and the absence of ecology as a subject in the core curriculum [6].

The State Educational Standard of the Ministry of Education of the Republic of Azerbaijan, which defines the mandatory minimum requirements for the content and level of training of a bachelor in a specialty (program), states: 1. 050510. Specialty (program) "Ecology" (approved by the Resolution of the Cabinet of Ministers of the Republic of Azerbaijan No. 08 dated January 12, 2009) in the requirements for the level of training and knowledge of a graduate who has completed a bachelor's degree [3] It is noted that a bachelor's degree must: be comprehensively informed about the processes and phenomena occurring in living and inanimate nature, understand the capabilities of modern methods of scientific knowledge of nature, possess the necessary level of knowledge to resolve issues required in the performance of professional functions; have the ability to design in their professional field based on a systems approach, be able to build and use models to describe and predict various phenomena, and also conduct their quantitative and qualitative analysis (2.1.).

Article 2 of the Action Plan for the implementation of the “State Strategy for the Development of Education in the Republic of Azerbaijan”, approved by the Decree of the President of the Republic of Azerbaijan dated January 19, 2015, entitled “Formation of a highly qualified teacher ensuring the effective acquisition of educational content through innovative teaching methods and technologies that take into account the individual characteristics of students”, includes the following strategic goals: “Creation of a new system that ensures the continuous improvement of the professionalism of teachers” (2.1) and Demonstration Aimed at developing students' thinking and personality, taking into account their individual characteristics, the environmental education system also reveals the importance of the environmental education system in the specialized training of bachelors in our country [1; 2].

The environmental education system is a subsystem of the entire system of training bachelors in natural science education in the multi-level system of higher pedagogical education.

Important subsystems of the environmental education system include:

- external factors influencing the structure, content, and functioning of the system (political, cultural, socio-economic, environmental, pedagogical, scientific and informational);
- professional characteristics of bachelors in natural science education, requirements for their professional activities and personal development;
- methodological and theoretical foundations, including pedagogical principles and patterns, ecological and pedagogical ideas, interdisciplinary methodology, and trends in the development of science and education;
- components of the environmental education system (goals, content, principles of training and education, the educational process, scientific, methodological, and material and technical equipment, learning outcomes);
- functions of the environmental education system: social, cultural and creative, ideological, methodological, integrative, and professional and pedagogical;
- results of environmental education: formation of worldview orientation, development of intellectual qualities and environmental culture of the individual, formation of environmental knowledge and skills, promotion of the formation of professional competence.

Despite the relative independence of the system's components, which is explained by their gender diversity, there are systematizing connections between them, uniting them into a single, coherent system. These connections and dependencies exist between the components and the content of the educational process, between its content and goals, between the means and methods, and between the modes and forms of instruction. The methodological significance of achieving the goals of environmental training lies in the interaction of the processes of professionalization and socialization of the individual as a leading principle of higher professional education. This principle has broad implications.

The importance of the interaction between professionalization and socialization of the student's personality necessitated the adoption of the principle of interaction between the environmental and methodological training of undergraduate students. The key connecting factor between these systems is the interaction of specific professional competencies and environmental culture, which determines the integrative nature of future environmental educators.

Environmental education in general, including the environmental training of bachelors, has a powerful developmental and educational potential, which is due to the peculiarities of its content, which are determined by the ideological and cultural-creative nature of environmental science.

Global environmental processes and related problems threatening humanity, the study of their causes and possible consequences, an understanding of possible methods for their prevention - all this determines

the emerging environmental style of thinking, the characteristic features of which are: globality, noosphericity, a holistic perception of the world with its numerous connections, an understanding of the place and role of man in this world, an openness of the individual to innovation, mobility, the ability to see alternative solutions to environmental problems, and an understanding of one's own experience in a universal human context.

The educational goals of bachelor's degree programs in environmental science are:

- to develop students' knowledge of the laws of natural development and their inextricable interaction with nature and society; and the causes of contradictions in the "nature-society" system;
- to acquire knowledge and skills in specialized subjects to understand the modern scientific picture of the world:

General ecology, global ecology, geoecology of the Earth's surface, social ecology and ethnoecology, human ecology, nature management, regional ecology, environmental research methods, environmental monitoring;

- to provide an understanding of a holistic scientific picture of the world based on the integration of natural science, humanities, and purely environmental knowledge, and an understanding of natural science knowledge from an environmental perspective;
- to impart skills and abilities in environmental monitoring, the application of experimental methods for specific research purposes, the study of ecological systems, the development of practical knowledge, and laboratory and field training in environmental disciplines;
- to assist in developing the research skills and abilities of bachelor's degree students in ecology.

Environmental education contributes to the enrichment of graduate students' personal qualities through the high value of environmental knowledge, which allows them to recognize the uniqueness and diversity of natural resources [5].

The educational goals of environmental education are as follows:

- creating conditions for the development of a value orientation that reflects the objective integrity of nature (ensured by numerous connections) and its values; human life and health as the highest value, and human beings as part of nature;
- providing conditions not only for understanding nature, but also for its emotional and aesthetic perception;
- developing students' legal and regulatory orientation consistent with environmental sovereignty and a sense of responsibility for environmental protection.

The developmental goals of environmental education include:

- developing a global, scientifically oriented worldview based on the integration of knowledge about nature and society;
- promoting the development of students' needs and abilities for environmental education, self-education and self-discipline, the development of environmental thinking, and their intellectual development;
- ensuring the development of a need for scientific research and an interest in teaching and research activities in order to develop professional competence.

The structure and content of environmental education are often determined by trends in humanization, informatization, and integration.

The following didactic principles serve as the theoretical basis for developing the content of environmental conditions:

1. Unity of structural elements. This principle is determined by the interaction of activities, facts, concepts, laws, and environmental theories within the content structure.
2. Functional dependence of content on the goals and objectives of environmental education.
3. Unity of the substantive and procedural aspects of environmental education.

The following components can be roughly identified in the content of bachelor's degree environmental training:

- Environmental knowledge: theories, patterns, principles, laws, concepts, scientific facts;
- Activities: educational and research skills, intellectual and practical (ecological, environmental) skills;
- Normative and value component (values, norms, rules).

When implementing integration at the intra-subject level, the integration processes move from the didactic to the methodological level, and models of individual academic subjects, lesson plans, and teaching aids are created [5]. The following pedagogical principles and patterns of teaching and training serve as the basis for structuring the content in the environmental education system:

- interaction of natural science and environmental knowledge;
- interaction of environmental and professional training goals;
- interaction of theoretical and practical training;
- continuity in the acquisition of general and applied environmental knowledge;
- unity of professionalization and socialization of the individual.

A study of the mandatory minimum requirements for the bachelor's degree program in "Natural Science Education" (major in "Ecology"), established by the State Educational Standard for Higher Professional Education [3], allowed us to identify the components of environmental training and identify comprehensive academic subjects that represent its foundations. All of these subjects are aimed at achieving the goals of

environmental education and contribute to the development of specific professional competencies.

In developing the content of the environmental training course for students, we utilized B. Gershunsky's approach. The primary objective is the assimilation of scientific theory and its structural components [7]. Content development was also based on the approach proposed by I. Ilyasov and N. Galatenko [8]. This approach structures the material by identifying key interrelated learning skills: the ability to solve sample subject-specific problems using subject-specific knowledge, implement logical methods within subject-specific knowledge, solve non-standard problems using subject-specific knowledge, and implement general methods of academic work.

The logic of the environmental education process, with its unity and integrity, is revealed in the general and essential connections and relationships of all components of the teacher's teaching and educational activities, leading to the achievement of educational goals. From the perspective of a student-centered approach, we evaluate the environmental education process as the unity of an external process, combining the activities of acquiring and assimilating environmental knowledge, skills, abilities, value relationships, norms and rules, and the internal process of developing the student's personality and professionally significant personal qualities [15].

In the practice of educational schools, the requirements and interests for the implementation of environmental education and professional training for students majoring in Ecology and receiving education in the natural sciences play a leading role. It is these personal and professional interests and educational requirements that determine the motivation for learning.

*Table 1.*

**Components of the environmental education system for students**

| **Target Component** | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Formation of environmental knowledge, skills and abilities | Development of research skills, intellectual development of personality | Formation of value orientations | Formation of a global scientifically oriented world-view | Formation of ecological culture | Development of interest in professional activities in the field of environmental education | Assistance in developing professional competence |
| **Component constituent** | | | | | | |

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| General ecology | Global ecology | Geoecology of the Earth's surface | Social ecology and ethno-ecology | Human ecology | Using nature |
| Regional ecology | | Methods of environmental research | | Environmental monitoring | |

**Organizational and procedural component**

| Training Objectives Process Organization Stages of Activity Student Activities Teacher Preparation | | | | |
|---|---|---|---|---|
| Forms of training | | | Teaching methods: teaching and research | |
| Audience | Outside the classroom | | Technolo-gy, Informa-tion, Modular learning, Collabora-tive learning, Project-based learning | Learning Tools |
| Lectures, labs, practical classes, seminars | Teaching and research practice | Independent work | | Material Information Technology |
| | | | | Didactic |

**Evaluative and performance component**

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| Formalization of environmental knowledge and skills, worldview orientation. Formalization of research skills | Development of ecological culture | Intellectual development of personality | Development of value orientations | Development of environmental and pedagogical skills |

The student is the central figure in the environmental education process, but the final outcome of their learning is determined by the activity of all components of the system in their interaction and joint activities of all participants in the educational process [11].

The environmental education process has the following unique features:

1. Increasing the level of environmental literacy and the validity of students' environmental education by strengthening theoretical training, which

involves organizing students' cognitive activities to assimilate environmental theories, concepts, laws, and patterns, and increasing their share in scientific research.

2. Expanding the role of environmental educators requires the inclusion in the preparatory process of methods and forms of instruction that develop the ability to transform activities in these subjects within the field of environmental education and enhance students' mastery of various types of environmental activities. These activities are a means of professional development for future environmental educators and are a possible result of environmental knowledge, skills, and abilities.

3. The development of mobility and efficiency of actions of future teachers in the field of environmental education necessitates the inclusion in the learning process of students of pedagogical technologies that help them take an active position in mastering the content of environmental subjects and at the same time facilitate the students' mastery of these pedagogical technologies as a type of their future pedagogical activity.

4. Strengthening the multifunctionality of the environmental teacher (in connection with the requirements of the principles of continuity, universality and compulsory nature of environmental education and the dynamic conditions of the general education system) requires their inclusion in the process of environmental education, devoting a significant share to practical and laboratory classes that contribute to the development of not only educational and subject-based activities, but also scientific research activities.

5. To integrate procedural content and the personally-oriented developmental components of the educational process, environmental training incorporates methods, techniques, and tools that ensure the development and formation of the student's personality not only as a holder of knowledge and skills, but also as a bearer of universal moral and professional values. Therefore, the training process includes extensive student activities aimed at solving situational issues and creative problems requiring independent and responsible decision-making in specific contexts.

6. The importance of developing students' qualities such as respect and tolerance for the opinions of others and communication requires the coordination of collective, group, and individual learning methods and activities in the process of environmental training [6].

The "State Strategy for the Development of Education in the Republic of Azerbaijan" envisages large-scale measures in five strategic areas to create an education system in our country that occupies a leading position among countries worldwide in terms of the quality of results and comprehensiveness, with competent teachers and education system administrators, and an infrastructure based on advanced technologies:

The first strategic direction is aimed at creating competence-oriented, personality-oriented educational content and includes the important task of

developing curricula for all levels of education, including pre-school, general primary vocational education, secondary vocational education and higher education.

The second strategic direction involves modernizing human resources in education. This direction aims to develop competent teachers who utilize innovative teaching methods and ensure effective learning of educational content. It includes enhancing teacher professionalism, creating new systems for assessing student performance, identifying and developing student talent, and developing inclusive teaching methods for those with special needs.

The third strategic direction involves creating accountable, transparent, and effective results-oriented governance mechanisms in education. This direction includes goals such as modernizing regulation and management in the education system based on international best practices, creating a results-oriented and transparent management model in educational institutions, and developing new information and reporting systems to ensure and manage the quality of education.

The fourth strategic direction involves the creation of an educational infrastructure that meets modern requirements and ensures lifelong learning.

This direction includes such measures as the creation of infrastructure in educational institutions in accordance with the teaching methodology based on information and communication technologies, rationalization of the network of educational institutions, distance learning, education and development of gifted children and children with special needs, education of the elderly, the creation of regional universal centers, modernly equipped centers and vocational training complexes, as well as the creation of campuses [12].

The fifth strategic direction is the creation of an economically sustainable education financing model in the Republic of Azerbaijan that meets the standards of leading global education systems. This direction includes, among other things, improving the education financing mechanism using various sources, transitioning to per capita funding of educational institutions, supporting fee-based educational services, and establishing an Education Development Fund.

Based on the measures envisaged in these strategy areas, the core principles of an environmental education strategy can be formulated using international experience in environmental education, as well as in other areas.

The core principles of an environmental education strategy are as follows:

- The humanistic principle of environmental education stems from the human right to a favorable environment; it expresses the idea of saving humanity from environmental catastrophe and the formation of a new, imaginative individual capable of ecologically focused activity aimed at preserving life on Earth;

- The evolution of environmental education, its historicity, and its relevance to culture and nature;

- guaranteeing that every citizen acquires general environmental knowledge;

- mandatory environmental education in the education system;

- inclusion of environmental education in all state programs;

- citizen participation in all decision-making processes related to the implementation of every project affecting the use of natural resources and potentially impacting the environment and human health;

- the priority of environmental education as a humanitarian and socio-natural component of general and vocational education; the universality of environmental education; ensuring the education and training of all social and age groups of the population;

- the continuity of environmental education, determined by:

1) personal development and the gradual acquisition of various knowledge, with the formation of sustainable confidence and intellectual growth in the process of environmental education;

2) the importance of a constant supply of new information in line with the rapid scientific and technological development of humanity;

3) the need to integrate and ensure the coordination and functioning of all elements of the education, upbringing, information, and cultural systems, including preschools, schools, extracurricular organizations, universities, museums, libraries, nature reserves and parks, the media, and scientific institutions;

• unity and interaction;

• environmental education and upbringing;

• enlightenment;

• public activities and raising public awareness;

- the interdisciplinary nature and complexity of environmental education, given the fact that each science (subject) contains both independent and interdisciplinary fields of knowledge and academic subjects, as well as the parallel development of environmental issues;

- the principle of solving global, national, regional, and local environmental problems, implemented in practice under the international motto "think globally, act locally";

- regionalization of components for the application of knowledge acquired in the field of environmental protection and rational use of nature, facilitating the rapid application of theoretical information and acquired skills in practice, taking into account local characteristics of natural production and socio-economic character, etc. [9,10,12,16].

To achieve the strategic goals of environmental education, it is necessary to create and develop a system of environmental education.

***Conclusion***. Thus, the environmental education system is an open system, developing within the multi-level structure of higher pedagogical education. The components of the environmental education system include the student's qualitative and professional characteristics, their learning outcomes, scientific, methodological, and logistical resources, the educational process, and the reasons, content, and purpose of teaching and training, all of which have an integrative nature, manifested in the student's personal development. The functions of the environmental education system include social, cultural and creative, ideological, methodological, integrative, and professional-pedagogical functions. The content of environmental education is formed by environmental education disciplines and comprises theoretical and applied natural sciences, a system of general and specialized environmental knowledge, a system of intellectual and practice-oriented activities, environmental ideas, values, norms, and rules.

## СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. State Strategy for the Development of Education in the Republic of Azerbaijan. Baku, October 24, 2013.

2. Action Plan for the Implementation of the State Strategy for the Development of Education in the Republic of Azerbaijan. Baku, January 19, 2015.

3. State Educational Standard of the Republic of Azerbaijan, specialty (program) 050510 – "Ecology". Baku, 2009.

4. Law of the Republic of Azerbaijan "On Environmental Education and Raising Public Awareness". Environmental Legislation of the Republic of Azerbaijan. // Collection of Laws of the Republic of Azerbaijan (Date of publication: January 31, 2003, publication number: 01, article number: 17) Volume I. – Baku: Kanun, – 2006. – pp. 279-284.

5. Alizade A., Alizade H. New Pedagogical Thinking: Introduction to Psychopedagogy. Monograph. Baku, 2008, 479 p.

6. Gadzhiev M.M. Methodological and Theoretical Foundations of Environmental Training of Students in the Structure of a Multilevel Education System at a Pedagogical University: Monograph, Makhachkala, 2006, p. 177.

7. Gershunsky B.S. Philosophy of Education for the 21st Century. Moscow: Perfection Publishing House, 1998, p. 608.

8. Zair-Bek E.S. Fundamentals of Pedagogical Design: Textbook. SPU: Prosveshchenie Publishing House, 1995, p. 233.

9. Moiseev N.M. The Teacher and the System of Environmental Education // Science in Russia. M., 1996. No. 1, pp. 50-53.

10. Komensky Ya. Selected Pedagogical Works. M. Pedagogy. 1982. p. 665. vols. I. II.

11. Andreeva, N.D. Education and Sustainable Development // Education for Sustainable Development: Problems, Search, and Solutions in a Pedagogical University. / N.D. Andreeva. - St. Petersburg: SPbAsEco, - 2000. – pp. 13-23.

12. Bogoslovsky, V.I. Scientific Support of the Educational Process at a Pedagogical University as a Factor in Improving the Quality of Education Specialist Training // Continuous Pedagogical Education. Iss. XVI. Theoretical foundations of multi-level natural science education: Collective monograph. / V.I. Bogoslovsky. – St. Petersburg: Publishing house of the A.I. Herzen State Pedagogical Univ., – 2002. – pp.16-30.

13. Ponomareva, I.N. Environmental Education in Russian Schools: History. Theory. Methodology: Textbook / I.N. Ponomareva, V.P. Solomina. - St. Petersburg: Publishing House of the Russian State Pedagogical Univ. named after A.I. Herzen, – 2005. – p.15-20.

14. Mardanov, M. Azerbaijani Education at a New Stage of Development. Baku, Chasıoğlu, 2009.

15. Aleksandrova, N.M. Scientific Foundations of Training Students in Vocational Educational Institutions for Environmental Professions / N.M. Aleksandrova. – St. Petersburg: IPTO RAO, – 1997. – pp.32-56.

16. The Magna Charta of University // Website of the Berlin Summit on the Bologna Process // http://www.bologna-berlin2003. 276. Values in education in values / Ed. by J. Halstead and M. Taylor. – L.: The Falmer Press, 1996, p.

17. Alekseev, C.B. Theory and methods of environmental training in the system of postgraduate education: Monograph. / C.B. Alekseev. – St. Petersburg: Spetslit, – 2001. – pp. 8-14.

18. Ecology and education (Proceedings of the Round Table of the journals “Problems of Philosophy” and “Ecology and Life” // Problems of Philosophy.-2001. – № 10. – p.21.

19. Solving environmental problems at the global level and the role of this problem in the environmental education of students // “Actual problems of studying the humanities”, translation, 2006, № 1, pp. 201-206.

20. www.celt.az|The Bologna system and Azerbaijani education.

## REFERENCES

1. State Strategy for the Development of Education in the Republic of Azerbaijan. Baku, October 24, 2013.

2. Action Plan for the Implementation of the State Strategy for the Development of Education in the Republic of Azerbaijan. Baku, January 19, 2015.

3. State Educational Standard of the Republic of Azerbaijan, specialty (program) 050510 – "Ecology". Baku, 2009.

4. Law of the Republic of Azerbaijan "On Environmental Education and Raising Public Awareness". Environmental Legislation of the Republic of Azerbaijan. // Collection of Laws of the Republic of Azerbaijan (Date of publication: January 31, 2003, publication number: 01, article number: 17) Volume I. – Baku: Kanun, – 2006. – pp. 279-284.

5. Alizade A., Alizade H. New Pedagogical Thinking: Introduction to Psychopedagogy. Monograph. Baku, 2008, 479 p.

6. Gadzhiev M.M. Methodological and Theoretical Foundations of Environmental Training of Students in the Structure of a Multilevel Education System at a Pedagogical University: Monograph, Makhachkala, 2006, p. 177.

7. Gershunsky B.S. Philosophy of Education for the 21st Century. Moscow: Perfection Publishing House, 1998, p. 608.

8. Zair-Bek E.S. Fundamentals of Pedagogical Design: Textbook. SPU: Prosveshchenie Publishing House, 1995, p. 233.

9. Moiseev N.M. The Teacher and the System of Environmental Education // Science in Russia. M., 1996. No. 1, pp. 50-53.

10. Komensky Ya. Selected Pedagogical Works. M. Pedagogy. 1982. p. 665. vols. I. II.

11. Andreeva, N.D. Education and Sustainable Development // Education for Sustainable Development: Problems, Search, and Solutions in a Pedagogical University. / N.D. Andreeva. - St. Petersburg: SPbAsEco, - 2000. – pp. 13-23.

12. Bogoslovsky, V.I. Scientific Support of the Educational Process at a Pedagogical University as a Factor in Improving the Quality of Education Specialist Training // Continuous Pedagogical Education. Iss. XVI. Theoretical foundations of multi-level natural science education: Collective monograph. / V.I. Bogoslovsky. – St. Petersburg: Publishing house of the A.I. Herzen State Pedagogical Univ., – 2002. – pp.16-30.

13. Ponomareva, I.N. Environmental Education in Russian Schools: History. Theory. Methodology: Textbook / I.N. Ponomareva, V.P. Solomina. - St. Petersburg: Publishing House of the Russian State Pedagogical Univ. named after A.I. Herzen, – 2005. – p.15-20.

14. Mardanov, M. Azerbaijani Education at a New Stage of Development. Baku, Chasıoğlu, 2009.

15. Aleksandrova, N.M. Scientific Foundations of Training Students in Vocational Educational Institutions for Environmental Professions / N.M. Aleksandrova. – St. Petersburg: IPTO RAO, – 1997. – pp.32-56.

16. The Magna Charta of University // Website of the Berlin Summit on the Bologna Process // http://www.bologna-berlin2003. 276. Values in education in values / Ed. by J. Halstead and M. Taylor. – L.: The Falmer Press, 1996, p.

17. Alekseev, C.B. Theory and methods of environmental training in the system of postgraduate education: Monograph. / C.B. Alekseev. – St. Petersburg: Spetslit, – 2001. – pp. 8-14.

18. Ecology and education (Proceedings of the Round Table of the journals “Problems of Philosophy” and “Ecology and Life” // Problems of Philosophy.-2001. – № 10. – p.21.

19. Solving environmental problems at the global level and the role of this problem in the environmental education of students // “Actual problems of studying the humanities”, translation, 2006, № 1, pp. 201-206.

20. www.celt.az|The Bologna system and Azerbaijani education.

***Информация об авторе***

***С.М. Искендерова*** – доктор философии по педагогике.

***Information about the author***

***S.M. Iskandarova –*** doctor of Philosophy in Pedagogy

*Статья поступила в редакцию 10.07.2026; принята к публикации 21.09.2026.*

*The article was submitted 10.07.2026; accepted forpublication 21.09.2026.*

ОБРАЗОВАНИЕ И ПЕДАГОГИЧЕСКИЕ НАУКИ

Научная статья
УДК 372.854
DOI 10.21510/3034-266X-2026-3-98-112

# ХРОМАТО-РЕФЛЕКСО-ГРАФИЧЕСКАЯ МЕТОДИКА (ХРГМ) ПРЕПОДАВАНИЯ ХИМИИ В 8-9 КЛАССАХ СРЕДНЕЙ ШКОЛЫ

***Елена Алексеевна Ткаченко***
*Институт геохимии и аналитической химии им. Вернадского Российской академии наук, Москва, Россия*
*tkachenko@geokhi.ru, ORCID 0009-0004-6569-2754*

***Аннотация.*** Работа посвящена эффективному онлайн преподавания химии в средних школах в условиях современной системы образования Российской Федерации. Пробуждение заинтересованности у учащихся, отсутствие прямого живого взаимодействия и возможности быстро получать ответы – это сложности, с которыми часто сталкиваются учителя и ученики в системе онлайн образования. С целью решения этих проблем предложена Хромато-Рефлексо-Графическая Методика (ХРГМ) – новая методика, основанная на авторском опыте преподавания, арт-терапии, на важности использовании цвета как средства усвоения материала. Основная идея работы заключается в том, что использование методики ХРГМ позволит сделать обучение химии в 8-9 классах более доступным, удобным и продуктивным, особенно в условиях формата онлайн. В методике предложено использование новых обучающих способов, психологических методов и визуальных средств для повышения качества современного химического образования. Цветовой (греческое «Хромато») фокус в данной методике применяется для выделения важнейших химических терминов, наглядности таблиц, реакций и схем. Использование ярких цветов и оттенков помогает учащимся легче запоминать формулы, классифицировать вещества, а также позволяет наглядно представить сложные для понимания процессы, что особенно эффективно и ценно при дистанционном обучении. Образы (латинское «Рефлексо»), юмор, стихи, иллюстрации и жизненные примеры также способствуют развитию эмоциональной вовлечённости школьников: они учатся

© Ткаченко Е.А., 2026.

вдумчиво анализировать и глубоко осмысливать информацию, что обеспечивает лучшее усвоение и долговременное запоминание. Графический (греческое «Писать. Рисовать») элемент ХРГМ – это наглядность преподавания через записывание и рисунки, которая помогает ученикам структурировать знания, развивать визуальное мышление и облегчает понимание сложных тем. Внедрение методики ХРГМ в учебный процесс школ предполагает разносторонний подход к химическому образованию и формирует устойчивый интерес к предмету химии. ХРГМ – это новаторский шаг к более гибкой, адаптивной и ориентированной на ученика системе химического образования в России.

***Ключевые слова:*** химия, преподавание онлайн, школа, методика, цвет, восприятие, цветовое кодирование, обучение, ХРГМ, Хромато-Рефлексо-Графическая Методика, среднее образование

***Для цитирования:*** Ткаченко Е.А. Хромато-Рефлексо-Графическая Методика (ХРГМ) преподавания химии в 8-9 классах средней школы // Вестник Башкирского государственного педагогического университета им. М. Акмуллы. Серия: Естественные науки. 2026. №3. С. 98-112.

EDUCATION AND PEDAGOGICAL SCIENCES

Original article

## CHROMATO-REFLEXO-GRAPHICAL METHODOLOGY (CRGM) FOR TEACHING CHEMISTRY IN GRADES 8-9 OF SECONDARY SCHOOL

***Elena A. Tkachenko***
[1]*Vernadsky Institute of Geochemistry and Analytical Chemistry, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia*
*tkachenko@geokhi.ru*

***Abstract.*** This paper focuses on effective online chemistry teaching in secondary schools within current Russian education system. Stimulating pupils' engagement, the lack of direct face-to-face interaction, and the ability to receive answers quickly are the challenges faced often by teachers and students in the online education system. To address these challenges, we propose the Chromatic-Reflexo-Graphic Method (CRGM) – a new method based on the author's teaching experience, art therapy, and the importance of using color as a learning tool. The paper main idea is the using of the CRGM method can make chemistry instruction more accessible in grades 8 and 9, convenient, and productive - for online education especially. The

method proposes the use of new teaching methods, psychological approaches, and visual aids to improve the quality of modern chemistry education. This method utilizes color (Greek "Chromato") to highlight key chemical terms and enhance the clarity of tables, reactions, and diagrams. The use of bright colors and shades helps pupils to memorize formulas and classify substances more easily, and allows them to visualize complex processes also, which is especially effective and valuable for distance learning. Imagery (Latin "Reflexo"), humor, poetry, illustrations, and real-life examples also foster emotional engagement for pupils: they learn to analyze thoughtfully and to comprehend information deeply, which ensures better absorption and long-term retention. The Graphic (Greek "to write, to draw") element of CRGM is the visualization of teaching through writing and drawing, which helps trainees to structure knowledge, to develop visual thinking, and to facilitate the complex topics understanding. The introduction of the CRGM method into school education offers a comprehensive approach to chemistry education and fosters a lasting interest to the chemistry subject. CRGM is an innovative step toward a more flexible, adaptive, and student-centered chemistry education system in Russia.

***Keywords***: chemistry, online teaching, school, methodology, color, perception, color coding, learning, CRGM, Chromato-Reflexo-Graphic Methodology, secondary education

***For citation***: Tkachenko E.A. Chromato-Reflexo-Graphic Methodology (CRGM) for Teaching Chemistry in 8–9 Grades of Secondary School // Bulletin of the Bashkir State Pedagogical University named after M. Akmulla. Series: Natural Sciences. 2026. No.3. pp. 98-112.

В современных условиях онлайн преподавания в школах России у штатных учителей часто возникают проблемы эффективного преподавания химии. Подобные проблемы появляются и у учащихся: отсутствие живого общения с педагогом и одноклассниками, возможности задать вопрос и сразу получить ответ. В связи с актуальностью онлайн преподавания возникла идея создать новую методику, способствующую более эффективному преподаванию химии в 8-9 классах и лёгкому усвоению химии школьниками. Методика ХРГМ (Хромато-Рефлексо-Графическая методика) возникла на базе авторского многолетнего опыта преподавания химии в школе, вузе и на используемой в психологии арт-терапии цветом.

За период с начала 2020 года все школы в Российской Федерации вынуждены были перейти на дистанционное обучение. Оно не было отлажено в начале и устоялось примерно через полгода. Цель настоящей работы – представить инновационную методику преподавания химии онлайн в средних школах и решить задачу

успешного усвоения предмета учениками. Методика ХРГМ позволяет проводить очное и дистанционное обучение интересно и результативно.

ХРГМ основана на цвете [1, 2, 3-7], его восприятии [6], цветовом кодировании [4-6], на положительных ассоциациях [8, 9, 10, 11, 12] и на жизненных примерах авторского опыта, а также на опыте коллег, учителей и педагогов по химии [13, 14, 15, 16, 17]. Основной акцент данной методики сделан на объяснении любой темы по химии наглядно, доступно, с юмором [8, 18] и иронией, чтобы ученики понимали и запомнили материал. Оказалось, что практически 100 % учеников с большим интересом воспринимают «весёлые картинки» при объяснении, например, строения атома или решении химических задач. Под фразой «весёлые картинки», подразумеваются схемы и рисунки [19, 20] по конкретной теме или ассоциативные картинки, с использованием нескольких разноцветных фломастеров. Последние играют значимую роль в методике ХРГМ, основанной на восприятии знаний через цвет, образы и ассоциации [21, 22]. Суть настоящей методики - в подаче материала через цвет и ассоциации, причём цвета выбираются заранее перед соответствующей темой по химии: основные 7 цветов радуги и несколько дополнительных. Например, красный и зелёный для обозначения электронов и протонов, соответственно. Для темы электролитическая диссоциация используются 4 цвета: красный, розовый, синий и голубой. Для решения химических задач с арифметическими вычислениями ХРГМ допускает выбор цветов на усмотрение учителя. Ассоциативные образы, стихи, фотографии, картинки подбираются педагогом заранее – в зависимости от темы урока.

***Методы, материалы и инструменты***

Необходимое оборудование:

1. Компьютер/ноутбук/планшет
2. Веб-камера с микрофоном
3. Планшет для рисования и черчения + стилус (карандаш)
4. Интернет

Преподавание по методике ХРГМ начинается с подготовки учителем предстоящего урока с помощью компьютера, ноутбука или планшета: составляется план урока и готовятся необходимые материалы по теме. Делается подбор соответствующих теме рисунков, ассоциаций, поговорок или стихотворений, готовятся таблицы и схемы. В процессе урока педагог обращается к этим источникам, комментирует, задаёт вопросы и вносит дополнения или пояснения при необходимости. Целесообразно вести видеозапись каждого онлайн урока и делать акцент на то, чтобы учениками максимально чётко было

записано объяснение учителя. Цель видеозаписи - возможность учащимся повторно просмотреть урок и прослушать пройденную тему.

Примером использования основ ХРГМ (Хромато-Рефлексо-Графическая методика) может служить объяснение темы сильных и слабых электролитов в разделе ТЭД (Теория Электролитической Диссоциации). Традиционный формат обучения [23, 24, 25, 26] в стиле «чёрно-белого кино» не способствует развитию критического мышления и творческого потенциала учащихся, так как современное образование требует более ярких и разнообразных подходов. В рамках данной методики предлагается применение палитры, включающей не менее 7 базовых цветов, аналогичных спектру радуги, который является общеизвестным и легко узнаваемым даже для школьников. Дополнительные цвета рекомендуется привлекать для контраста или для схожести каких-либо понятий, свойств, особенностей в химии – как, например, для сильных и слабых электролитов (табл.1).

*Таблица 1.*

*«**Перекрёстная таблица ┼**» для сильных и слабых кислот и оснований*

| **Сильные кислоты** | **Слабые кислоты** |
|---|---|
| $H_2SO_4$, $H_2SeO_4$, $HNO_3$,<br>HCl, HBr, HI,<br>$HClO_4$, $HClO_3$,<br>$HBrO_4$, $HBrO_3$,<br>$HIO_4$, $HIO_3$,<br>COOH-COOH<br>$CF_3$-COOH<br>и галоген'замещённые органические к-ты | $H_2SO_3$, $H_2SeO_3$, $HNO_2$,<br>HF, $H_2SiO_3$, $H_2CO_3$,<br>$HClO_2$, HClO,<br>$HBrO_2$, HBrO,<br>$HIO_2$, HIO,<br>$H_3PO_4$, $H_3PO_3$, $H_3PO_2$,<br>$CH_3$-COOH, H-COOH<br>и почти все органические кислоты |

| **Сильные основания** | | **Слабые основания** | | |
|---|---|---|---|---|
| **I-A** | **II-A** | $Be(OH)_2$ | $Al(OH)_3$ | AgOH, |
| | | $Mg(OH)_2$ | $Cr(OH)_3$ | $NH_4OH$ |
| Li OH | $Ca(OH)_2$ | $Mn(OH)_2$ | $Fe(OH)_3$ | |
| NaOH | $Sr(OH)_2$ | $Zn(OH)_2$ | $Co(OH)_3$ | |
| KOH | $Ba(OH)_2$ | $Cr(OH)_2$ | $Ni(OH)_3$ | |
| RbOH | $Ra(OH)_2$ | $Fe(OH)_2$ | $Sb(OH)_3$ | |
| CsOH | | $Cd(OH)_2$ | $Bi(OH)_3$ | |
| FrOH | | $Co(OH)_2$ | $Pt(OH)_2$, | |
| | **III-A** | $Ni(OH)_2$ | $Pt(OH)_4$, | |
| | | $Sn(OH)_2$ | $Au(OH)_3$ | |
| | TlOH | $Pb(OH)_2$ | | H |
| | | $Cu(OH)_2$ | | – |
| | | $Hg(OH)_2$ | | |

*Примечание: у слабых оснований в таблице растворимости стоят знаки «Н» (нерастворим) или «+» (в водной среде разлагается); у одновалентного таллия гидроксид TlOH по свойствам близок к щелочам, но в школьном курсе не изучается; гидроксид аммония $NH_4OH$ в школьном курсе часто представляют как гидрат аммиака $NH_3 \cdot H_2O$.*

В таблице 1 приведены сильные и слабые кислоты и основания, выделенные соответствующим цветом: красный и розовый - для кислот, синий и голубой - для оснований. Данные цвета выбраны на основе цветов универсального индикатора (т.наз. индикаторная

бумажка), где сильные кислоты дают красный цвет, а сильные основания – синий. Название «**Перекрёстная таблица ┼**» получила благодаря двум чёрным перекрёстным линиям ┼, разделяющим её на 4 квадрата. Два других цвета (розовый и голубой) в данной методике выбраны как аналоги красного и синего, как «разбавленные» или «ослабленные» цвета. Целесообразно давать *все* кислоты и основания, встречающиеся в школьном курсе химии за 8-9 классы, единой «**Перекрёстной таблицей ┼**», так как соли, тоже электролиты, есть в таблице растворимости. Согласно ХРГМ, цвет работает как «триггер» или «точка кристаллизации» памяти [6, 14]. Особое внимание школьников следует обратить на количество сильных и слабых электролитов: сильных меньше (табл. 1). Для более комфортного и лёгкого принятия школьниками данного факта, целесообразно привести пример из жизни: среди зверей сильных значительно меньше слабых.

Таблицу 1 учителю можно начертить заранее и/или заполнять по ходу урока вместе с обучающимися, используя соответствующие цвета. Также имеет смысл обратить внимание учащихся на то, что элементы в сильных основаниях записаны в том же порядке, что и в Периодической таблице Менделеева (ПТМ): сверху вниз по главным подгруппам, соответственно Li, Na, K, Rb, Cs, Fr и Ca, Sr, Ba, Ra.

***Результаты***

За период с 2013 по 2026 год преподавания химии ученикам 8-9 классов средней школы (Москва, Россия) методика ХРГМ показала свои положительные результаты как в течение учебного года и на экзаменах (ОГЭ и ЕГЭ), так и при поступлении в вузы. Учащиеся, активно использовавшие ХРГМ в 2-3 раза быстрее запоминали учебный материал, легче понимали сложные темы, такие как гидролиз, с удовольствием сами вносили дополнения в методику и успешно сдавали выпускные и вступительные экзамены (табл. 2)

*Таблица 2*

*Сравнение результатов обучения* с применением методики ХРГМ и без неё о темах «Строение атома» и «Сильные и слабые электролиты»*

| Темы | С применением методики ХРГМ | Без применения методики ХРГМ |
|---|---|---|
| Строение атома | 4* | 8* |
| Сила электролитов | 3* | 9* |

*Примечание: данные приведены для двух параллельных восьмых классов (по 25 обучающихся в каждом), 2019 г.; * — количество уроков (45 мин), за которые школьники полностью усвоили соответствующие темы, пользуясь Хромато-Рефлексо-Графической методикой.*

Ученики, ведущие конспекты [9] тем для подготовки к ОГЭ или ЕГЭ, используя ХРГМ, на порядок быстрее ориентируются в потоке информации благодаря цветовому восприятию и положительным ассоциациям.

На рис. 1 приведено изменение роста уровня знаний ученицы 11 класса за учебный год (2014-2015), имевший весьма низкий уровень знаний по химии в сентябре 2014 и повысившей его к маю 2015, используя Хромато-Рефлексо-Графическую методику. За ноль баллов (рис. 1) принят уровень знаний на первых уроках химии и к концу года наблюдалась экспоненциальная зависимость роста знаний до 10 баллов, что свидетельствует о результативности применения ХРГМ.

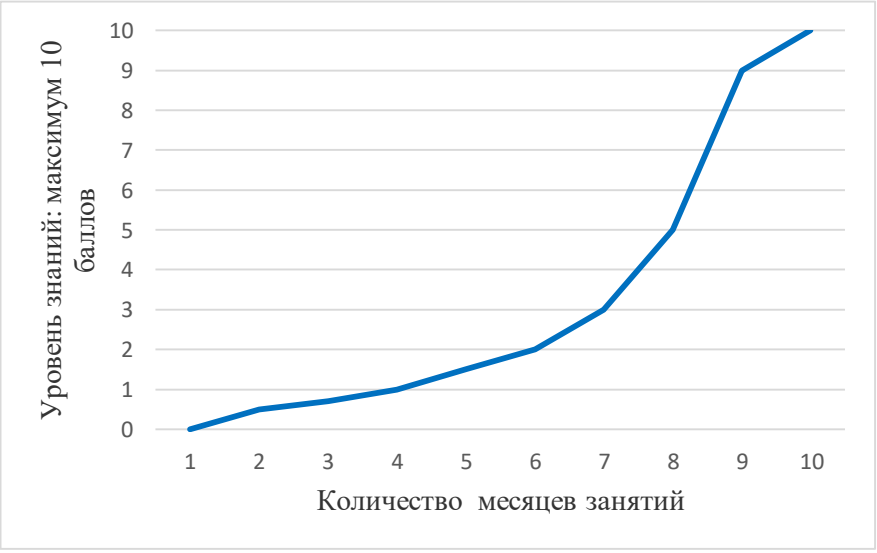



*Рис. 1 – Рост уровня знаний по десятибалльной шкале ученицы 11 класса в 2014-2015 гг. (очные уроки по ХРГМ), в зависимости от количества месяцев занятий: за начало отсчёта принят сентябрь (1), за окончание – июнь (10)*

Исходя из данного примера, можно отметить, что повышение показателя компетентности учащихся не растёт линейно, а имеет эффект накопления и резкий скачок после нескольких месяцев использования данной методики.

Отличным показателем действенности ХРГМ является факт поступления учеников в вузы. Примером успешной интеграции цвета по данной методике является сдача ЕГЭ по химии в 2016 году с первого раза на 98 баллов из 100 и поступление в медицинский вуз. Это подтверждено психологическими исследованиями по работе с цветотерапией [2, 6, 7, 14].

**Обсуждение**

В качестве дискуссионного можно поставить вопрос о преемственности методики преподавания (ХРГМ) химии в 8-9 классах средней школы для Российских школ, не обладающих достаточным современным оснащением. В частности, наличие электронной/ интерактивной доски (оффлайн обучение) или планшета для рисования (онлайн обучение) влияет на возможность использовать цвет при объяснении материала. Однако даже при отсутствии цифрового оборудования базовые принципы цветового кодирования и ассоциаций может быть реализован с помощью цветных фломастеров, что делает методику ХРГМ потенциально доступной для большинства российских школ. Современные исследования [8, 9, 10, 12, 14, 15, 18, 27, 28, 29, 30] подтверждают действенность подобного интерактивного обучения.

**Заключение**

По результатам использования автором новаторского способа преподавания по ХРГМ (Хромато-Рефлексо-Графическая методика) в средних школах Москвы наблюдается увеличение скорости усвоения знаний по химии в 2-3 раза у школьников 8-9 классов, а также сдача экзаменов в 9 и 11 классах на высокие баллы. Эффективность преподавания по ХРГМ продемонстрирована как в очном, так и в онлайн форматах. В заключение, целесообразно рассмотреть возможность внедрения данной методики в образовательный процесс в ряде школ, оснащённых современным оборудованием. Данная методика представляет собой эффективный инструмент, который позволяет глубже изучать любые темы по химии школьного курса, используя цвет (цветовое кодирование), рифму, схемы ↕, таблицы ┼, рисунки ⸙ и ассоциации ☼. ХРГМ может существенно повысить уровень вовлечённости учащихся в изучение сложного предмета химии.

Синтез современных технологий в процессе обучения, требований ФГОС (Федеральных государственных образовательных стандартов) [31] и принципов ХРГМ способствует развитию у школьников навыков работы и анализу научной информации, что является ключевым элементом для подготовки к дальнейшему обучению в вузах. Кроме того, данная методика облегчает понимание сложных тем в области химии, что способствует более глубокому усвоению материала. Школы, обладающие соответствующим необходимым оборудованием, могут инициировать экспериментальные программы, направленные на оценку эффективности ХРГМ в учебном процессе. Данная инициатива позволит и протестировать методику, и собрать данные о её потенциальном использовании в более широких масштабах. Следует

подчеркнуть, что внедрение ХРГМ может потребовать подготовку учителей химии, чтобы они могли эффективно применять методику и адаптировать к ней современные учебные материалы. В перспективе использование ХРГМ в химическом образовании может стать значительным шагом вперёд, способствующим улучшению качества обучения и подготовки будущих специалистов в области химии.

## СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Хохлова Л.П. Методы запоминания информации (мнемотехника) // Санкт-Петербургский образовательный вестник. 2017. №2(6). С. 40–43. URL: https://cyberleninka.ru/article/n/metody-zapominaniya-informatsii-mnemotehnika

2. Бектаева А.Э. Цветотерапия: психология цвета // Проблемы современной науки и образования. 2020. №2(147). С. 84–92. URL: https://ipi1.ru/images/PDF/2020/147/PMSE-2-147-.pdf

3. Кулметова Ш.С., Алтынбекова М.О. Формирование творческого потенциала учащихся в преподавании химии в школе [Formation of students' creativity in chemistry at school] // Студенческий научный форум: материалы XIII Междунар. студ. науч. конф. 2021. URL: https://scienceforum.ru/2021/article/2018026940

4. Гёте И.В. Учение о цвете. Москва: АСТ, 2021. 181 с.

5. Месяц С.В. Иоганн Вольфганг Гёте и его учение о цвете. Ч. 1. Москва: Круг, 2012. 496 с. URL: https://interesi.files.wordpress.com/2014/06/...pdf

6. Грибер Ю.А. Влияние цвета на протекание интеллектуальных событий в средах с различным типом погружения // Психология и психотехника. 2025. № 4. С. 56–65. DOI: 10.7256/2454-0722.2025.4.77069

7. Грибер Ю.А., Милонас Д. Картография цвета: эмпирический анализ цветонаименований русского языка // Человек и культура. 2015. № 6. С. 64–94. DOI: 10.7256/2409-8744.2015.6.16636. URL: https://e-notabene.ru/ca/article_16636.html

8. Иванов К. Пять способов провести урок химии интересно // Сферум для учителей. 2023. URL: prof.sferum.ru/interesting_chemistry

9. Кудинова Н.Ф. Формирование интереса учащихся к химии на основе реализации в преподавании принципа связи обучения с жизнью: автореф. дис. ... канд. пед. наук. Москва, 2009. URL: https://nauka-pedagogika.com/pedagogika-13-00-02/dissertaciya-formirovanie-interesa-uchaschihsya-k-himii-na-osnove-realizatsii-v-prepodavanii-printsipa-svyazi-obucheniya-s-zhiznyu

10. Близникова Е. Нескучная химия: как учителю сделать урок интересным // Семья и школа. 2022. URL: https://семьяишкола.рф/2022/12/13/

11. Акбарова М.М., Расулов С.А. Особенности использования исторического материала по «бытовой химии» в школьном курсе химии // Инновации в преподавании химии: сб. науч. и науч.-метод. тр. V Междунар. науч.-практ. конф. (Казань, 27–28 марта 2014 г.) / под ред. С.И. Гильманшиной. Казань: Казан. ун-т, 2014. С. 10–14. URL: https://kpfu.ru/staff_files/F_1949846872/0_806941.pdf

12. Галяутдинова Р.И., Космодемьянская С.С. Применение элементов игровых технологий при обучении химии в лицее // Инновации в преподавании химии: сб. науч. и науч.-метод. тр. V Междунар. науч.-практ. конф. (Казань, 27–28 марта 2014 г.) / под ред. С.И. Гильманшиной. Казань: Казан. ун-т, 2014. С. 46–49. URL: https://kpfu.ru/staff_files/F_1949846872/0_806941.pdf

13. Левина Л. Химия и школа: как химию превратили во второстепенный предмет и почему это плохо. 2020. URL: https://mel.fm/blog/uchi-ru/97246-khimiya-i-shkola-kak-khimiyu-prevratili-vo-vtorostepenny-predmet-i-pochemu-eto-plokho

14. Изюмова С.А. Мнемические способности и усвоение знаний в школе // Вопросы психологии. 1986. №3. С. 53–62. URL: http://www.voppsy.ru/issues/1986/863/863053.htm

15. Гараева А.И. Интерактивное обучение химии в школе // Инновации в преподавании химии: сб. науч. и науч.-метод. тр. V Междунар. науч.-практ. конф. (Казань, 27–28 марта 2014 г.) / под ред. С. И. Гильманшиной. Казань: Казан. ун-т, 2014. С. 52–53. URL: https://kpfu.ru/staff_files/F_1949846872/0_806941.pdf

16. Белохвостов А.А., Аршанский Е.Я. Методическая подготовка учителя химии в свете основных направлений информатизации образования // Инновации в преподавании химии: сб. науч. и науч.-метод. тр. V Междунар. науч.-практ. конф. (Казань, 27–28 марта 2014 г.) / под ред. С.И. Гильманшиной. Казань: Казан. ун-т, 2014. С. 177–183. URL: https://kpfu.ru/staff_files/F_1949846872/0_806941.pdf

17. Халикова Ф.Д., Киршина К.А. Проектирование процесса обучения будущих учителей на основе метода проектов в области химического образования // Инновации в преподавании химии: сб. науч. и науч.-метод. тр. V Междунар. науч.-практ. конф. (Казань, 27–28 марта 2014 г.) / под ред. С.И. Гильманшиной. Казань: Казан. ун-т, 2014. С. 296–299. URL: https://kpfu.ru/staff_files/F_1949846872/0_806941.pdf

18. Макаров В. Опасный опыт с сантехникой: почему нельзя кидать натрий в воду. 02.05.2023. URL: https://www.techinsider.ru/diy/292942-pochemu-ne-stoit-kidat-natriy-v-vodu-santekhnicheskiy-eksperiment/

19. Боднар А.М. Психология памяти: курс лекций. Екатеринбург: Изд-во Урал. ун-та, 2014. 100 с. URL: https://elar.urfu.ru/bitstream/10995/27844/1/978-5-7996-1262-7.pdf

20. Клацки Р. Память человека: структуры и процессы. [Б. м.], 2014. 216 с. URL: https://www.klex.ru/afl. Пер. с англ.: Klatzky R.L. Human Memory: Structures and Processes. 1980.

21. Бахтиярова Ю.В., Сиразиева Е.В., Рахманова А.Р., Гиниятова А.Р. Химический эксперимент – средство обучения химии // Инновации в преподавании химии: сб. науч. и науч.-метод. тр. V Междунар. науч.-практ. конф. (Казань, 27–28 марта 2014 г.) / под ред. С.И. Гильманшиной. Казань: Казан. ун-т, 2014. С. 20–21. URL: https://kpfu.ru/staff_files/F_1949846872/0_806941.pdf

22. Сироткин О.С. Традиционная методология преподавания химии: проблемы, недостатки и причины ее использования в XXI веке (обзор) // Инновации в преподавании химии : сб. науч. и науч.-метод. тр. V Междунар. науч.-практ. конф. (Казань, 27–28 марта 2014 г.) / под ред. С. И. Гильманшиной. Казань: Казан. ун-т, 2014. С. 272–276. URL: https://kpfu.ru/staff_files/F_1949846872/0_806941.pdf

23. Румянцев Б.В. Формирование умения использовать значения физических величин в задачах классификации на уроках химии в средней школе // Инновации в преподавании химии: сб. науч. и науч.-метод. тр. V Междунар. науч.-практ. конф. (Казань, 27–28 марта 2014 г.) / под ред. С.И. Гильманшиной. Казань: Казан. ун-т, 2014. С. 116–118. URL: https://kpfu.ru/staff_files/F_1949846872/0_806941.pdf

24. Карманова О.Г. Теория электролитической диссоциации. URL: https://zftsh.online/articles/5120

25. Онлайн-лекция по теме «Экзаменационная химия. Электролиты. Сильные и слабые электролиты. Реакции с участием электролитов. Качественные реакции» (02.02.2025) / ГБОУ г. Москвы Школа № 1793 им. Героя Советского Союза А.К. Новикова. URL: https://lyc1793uv.mskobr.ru/articles/4909

26. Перевалова Е.А. Растворы электролитов: электронное учебное пособие. Волгоград: Волжский политехнический институт (филиал) ВолгГТУ, 2019. 77 с. URL: http://lib.volpi.ru:57772/csp/lib/PDF/622294984.pdf

27. Мелитовская И.Н. Методика преподавания химии. Практикум : учеб. пособие для вузов. Санкт-Петербург: Лань, 2026. С. 64. URL: https://reader.lanbook.com/book/506987

28. Пак М.С. Теория и методика обучения химии: учебник для вузов. Санкт-Петербург: Изд-во РГПУ им. А. И. Герцена, 2015. 306 с. URL: https://mspak.herzen.spb.ru/wp-content/uploads/2014/10/d6.pdf

29. Кибальченко И.А., Эксакусто Т.В. Методы обучения химии в современной образовательной среде: возможности и перспективы // Современная наука: актуальные проблемы теории и практики. Серия: Гуманитарные науки. 2021. №8. С. 70–75. DOI: 10.37882/2223-2982.2021.08.18

30. Мин А.М., Кабулова Н.А. Современные методы преподавания химии с использованием информационно-коммуникационных технологий // Экономика и социум. 2022. № 1 (92)-2. С. 612–613. URL: https://cyberleninka.ru/article/n/sovremennye-metody-prepodavaniya-himii-s-ispolzovaniem-informatsionno-kommunikatsionnyh-tehnologiy/viewer

31. Аннотация к рабочей программе основной школы по ФГОС ООО на 2025–2026 учебный год. Химия. 8–9 классы. URL: https://403school.spb.ru/wp-content/uploads/2025/09/...pdf

## REFERENCES

1. Khokhlova L.P. Metody zapominaniya informatsii (mnemotekhnika). Sankt-Peterburgskiy obrazovatel'nyy vestnik = Saint Petersburg Educational Bulletin. 2017;(2(6)):40–43. (In Russ.) URL: https://cyberleninka.ru/article/n/metody-zapominaniya-informatsii-mnemotehnika

2. Bektaeva A.E. Tsvetoterapiya: psikhologiya tsveta. Problemy sovremennoy nauki i obrazovaniya = Problems of Modern Science and Education. 2020;(2(147)):84–92. (In Russ.) URL: https://ipi1.ru/images/PDF/2020/147/PMSE-2-147-.pdf

3. Kulmetova Sh.S., Altynbekova M.O. Formirovanie tvorcheskogo potentsiala uchashchikhsya v prepodavanii khimii v shkole. In: Studencheskiy nauchnyy forum: materialy XIII Mezhdunarodnoy studencheskoy nauchnoy konferentsii. 2021. (In Russ.) URL: https://scienceforum.ru/2021/article/2018026940

4. Goethe J.W. von. Uchenie o tsvete. Moscow: AST; 2021. 181 p. (In Russ.)

5. Mesyats S.V. Iogann Vol'fgang Gete i ego uchenie o tsvete. Ch. 1. Moscow: Krug; 2012. 496 p. (In Russ.) URL: https://interesi.files.wordpress.com/2014/06/...pdf

6. Griber Yu. A. Vliyanie tsveta na protekanie intellektual'nykh sobytiy v sredakh s razlichnym tipom pogruzheniya. Psikhologiya i Psikhotekhnika = Psychology and Psychotechnics. 2025;(4):56–65. (In Russ.) DOI: 10.7256/2454-0722.2025.4.77069

7. Griber Yu. A., Milonas D. Kartografiya tsveta: empiricheskiy analiz tsvetonaimenovaniy russkogo yazyka. Chelovek i kul'tura = Man and Culture. 2015;(6):64–94. (In Russ.) DOI: 10.7256/2409-8744.2015.6.16636. URL: https://e-notabene.ru/ca/article_16636.html

8. Ivanov K. Pyat' sposobov provesti urok khimii interesno. Sferum dlya uchiteley. 2023. (In Russ.) URL: prof.sferum.ru/interesting_chemistry

9. Kudinova N. F. Formirovanie interesa uchashchikhsya k khimii na osnove realizatsii v prepodavanii printsipa svyazi obucheniya s

zhizn'yu: avtoref. dis. ... kand. ped. nauk. Moscow; 2009. (In Russ.) URL: https://nauka-pedagogika.com/pedagogika-13-00-02/dissertaciya-formirovanie-interesa-uchaschihsya-k-himii-na-osnove-realizatsii-v-prepodavanii-printsipa-svyazi-obucheniya-s-zhiznyu

10. Bliznikova E. Neskuchnaya khimiya: kak uchitelyu sdelat' urok interesnym. Sem'ya i shkola. 2022. (In Russ.) URL: https://семьяишкола.рф/2022/12/13/

11. Akbarova M.M., Rasulov S.A. Osobennosti ispol'zovaniya istoricheskogo materiala po «bytovoy khimii» v shkol'nom kurse khimii. In: Innovatsii v prepodavanii khimii: sb. nauch. i nauch.-metod. tr. V Mezhdunar. nauch.-prakt. konf. (Kazan', 27–28 marta 2014 g.). Ed. by S. I. Gil'manshina. Kazan: Kazan University; 2014. P. 10–14. (In Russ.) URL: https://kpfu.ru/staff_files/F_1949846872/0_806941.pdf

12. Galyautdinova R.I., Kosmodem'yanskaya S.S. Primenenie elementov igrovykh tekhnologiy pri obuchenii khimii v litsee. In: Innovatsii v prepodavanii khimii: sb. nauch. i nauch.-metod. tr. V Mezhdunar. nauch.-prakt. konf. (Kazan', 27–28 marta 2014 g.). Ed. by S. I. Gil'manshina. Kazan: Kazan University; 2014. P. 46–49. (In Russ.) URL: https://kpfu.ru/staff_files/F_1949846872/0_806941.pdf

13. Levina L. Khimiya i shkola: kak khimiyu prevratili vo vtorostepennyy predmet i pochemu eto plokho. 2020. (In Russ.) URL: https://mel.fm/blog/uchi-ru/97246-khimiya-i-shkola-kak-khimiyu-prevratili-vo-vtorostepenny-predmet-i-pochemu-eto-plokho

14. Izyumova S.A. Mnemicheskie sposobnosti i usvoenie znaniy v shkole. Voprosy psikhologii = Questions of Psychology. 1986;(3):53–62. (In Russ.) URL: http://www.voppsy.ru/issues/1986/863/863053.htm

15. Garaeva A.I. Interaktivnoe obuchenie khimii v shkole. In: Innovatsii v prepodavanii khimii: sb. nauch. i nauch.-metod. tr. V Mezhdunar. nauch.-prakt. konf. (Kazan', 27–28 marta 2014 g.). Ed. by S. I. Gil'manshina. Kazan: Kazan University; 2014. P. 52–53. (In Russ.) URL: https://kpfu.ru/staff_files/F_1949846872/0_806941.pdf

16. Belokhvostov A.A., Arshanskiy E.Ya. Metodicheskaya podgotovka uchitelya khimii v svete osnovnykh napravleniy informatizatsii obrazovaniya. In: Innovatsii v prepodavanii khimii: sb. nauch. i nauch.-metod. tr. V Mezhdunar. nauch.-prakt. konf. (Kazan', 27–28 marta 2014 g.). Ed. by S. I. Gil'manshina. Kazan: Kazan University; 2014. P. 177–183. (In Russ.) URL: https://kpfu.ru/staff_files/F_1949846872/0_806941.pdf

17. Khalikova F.D., Kirshina K.A. Proektirovanie protsessa obucheniya budushchikh uchiteley na osnove metoda proektov v oblasti khimicheskogo obrazovaniya. In: Innovatsii v prepodavanii khimii: sb. nauch. i nauch.-metod. tr. V Mezhdunar. nauch.-prakt. konf. (Kazan', 27–28 marta 2014 g.). Ed. by S. I. Gil'manshina. Kazan: Kazan University; 2014.

P. 296–299. (In Russ.) URL: https://kpfu.ru/staff_files/F_1949846872/0_806941.pdf

18. Makarov V. Opasnyy opyt s santekhnikoy: pochemu nel'zya kidat' natriy v vodu. 02.05.2023. (In Russ.) URL: https://www.techinsider.ru/diy/292942-pochemu-ne-stoit-kidat-natriy-v-vodu-santekhnicheskiy-eksperiment/

19. Bodnar A.M. Psikhologiya pamyati: kurs lektsiy. Ekaterinburg: Ural University Publishing House; 2014. 100 p. (In Russ.) URL: https://elar.urfu.ru/bitstream/10995/27844/1/978-5-7996-1262-7.pdf

20. Klatsky R. Pamyat' cheloveka: struktury i protsessy. [S. l.]; 2014. 216 p. (In Russ.) URL: https://www.klex.ru/afl. Translated from: Klatzky R. L. Human Memory: Structures and Processes. 1980.

21. Bakhtiyarova Yu.V., Sirazieva E.V., Rakhmanova A.R., Giniyatova A.R. Khimicheskiy eksperiment – sredstvo obucheniya khimii. In: Innovatsii v prepodavanii khimii: sb. nauch. i nauch.-metod. tr. V Mezhdunar. nauch.-prakt. konf. (Kazan', 27–28 marta 2014 g.). Ed. by S. I. Gil'manshina. Kazan: Kazan University; 2014. P. 20–21. (In Russ.) URL: https://kpfu.ru/staff_files/F_1949846872/0_806941.pdf

22. Sirotkin O.S. Traditsionnaya metodologiya prepodavaniya khimii: problemy, nedostatki i prichiny ee ispol'zovaniya v XXI veke (obzor). In: Innovatsii v prepodavanii khimii: sb. nauch. i nauch.-metod. tr. V Mezhdunar. nauch.-prakt. konf. (Kazan', 27–28 marta 2014 g.). Ed. by S. I. Gil'manshina. Kazan: Kazan University; 2014. P. 272–276. (In Russ.) URL: https://kpfu.ru/staff_files/F_1949846872/0_806941.pdf

23. Rumyantsev B.V. Formirovanie umeniya ispol'zovat' znacheniya fizicheskikh velichin v zadachakh klassifikatsii na urokakh khimii v sredney shkole. In: Innovatsii v prepodavanii khimii: sb. nauch. i nauch.-metod. tr. V Mezhdunar. nauch.-prakt. konf. (Kazan', 27–28 marta 2014 g.). Ed. by S. I. Gil'manshina. Kazan: Kazan University; 2014. P. 116–118. (In Russ.) URL: https://kpfu.ru/staff_files/F_1949846872/0_806941.pdf

24. Karmanova O.G. Teoriya elektroliticheskoy dissotsiatsii. (In Russ.) URL: https://zftsh.online/articles/5120

25. Onlayn-lektsiya po teme «Ekzamenatsionnaya khimiya. Elektrolity. Sil'nye i slabye elektrolity. Reaktsii s uchastiem elektrolitov. Kachestvennye reaktsii» (02.02.2025). Moscow School No. 1793 named after Hero of the Soviet Union A. K. Novikov. (In Russ.) URL: https://lyc1793uv.mskobr.ru/articles/4909

26. Perevalova E.A. Rastvory elektrolitov: elektronnoe uchebnoe posobie. Volgograd: Volzhsky Polytechnic Institute (branch) of VolgGTU; 2019. 77 p. (In Russ.) URL: http://lib.volpi.ru:57772/csp/lib/PDF/622294984.pdf

27. Melitovskaya I.N. Metodika prepodavaniya khimii. Praktikum: ucheb. posobie dlya vuzov. Saint Petersburg: Lan'; 2026. P. 64. (In Russ.) URL: https://reader.lanbook.com/book/506987

28. Pak M.S. Teoriya i metodika obucheniya khimii: uchebnik dlya vuzov. Saint Petersburg: Herzen State Pedagogical University Publishing House; 2015. 306 p. (In Russ.) URL: https://mspak.herzen.spb.ru/wp-content/uploads/2014/10/d6.pdf

29. Kibal'chenko I.A., Eksakusto T.V. Metody obucheniya khimii v sovremennoy obrazovatel'noy srede: vozmozhnosti i perspektivy. Sovremennaya nauka: aktual'nye problemy teorii i praktiki. Seriya: Gumanitarnye nauki = Modern Science: Actual Problems of Theory and Practice. Series: Humanities. 2021;(8):70–75. (In Russ.) DOI: 10.37882/2223-2982.2021.08.18

30. Min A.M., Kabulova N.A. Sovremennye metody prepodavaniya khimii s ispol'zovaniem informatsionno-kommunikatsionnykh tekhnologiy. Ekonomika i sotsium = Economics and Society. 2022;(1(92)-2):612–613. (In Russ.) URL: https://cyberleninka.ru/article/n/sovremennye-metody-prepodavaniya-himii-s-ispolzovaniem-informatsionno-kommunikatsionnyh-tehnologiy/viewer

31. Annotatsiya k rabochey programme osnovnoy shkoly po FGOS OOO na 2025–2026 uchebnyy god. Khimiya. 8–9 klassy. (In Russ.) URL: https://403school.spb.ru/wp-content/uploads/2025/09/...pdf

### *Информация об авторе*

***Е.А. Ткаченко*** – кандидат химических наук, младший научный сотрудник лаборатории геохимии углерода имени академика Э.М. Галимова Института геохимии и аналитической химии имени В. И. Вернадского Российской академии наук.

### *Information about the author*

***E.A. Tkachenko*** – Candidate of Chemical Sciences, Junior Researcher of the Academician E. M. Galimov Laboratory of Carbon Geochemistry, V. I. Vernadsky Institute of Geochemistry and Analytical Chemistry of the Russian Academy of Sciences.

*Статья поступила в редакцию 13.04.2026; принята к публикации 09.07.2026.*

*The article was submitted 13.04.2026; accepted forpublication 09.07.2026.*

# 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 –***
***Арпик Ашотовна Асратян[1, 2]***
***[1]Национальный исследовательский центр эпидемиологии и микробиологии имени почетного академика Н.Ф. Гамалеи, Москва, Россия, zasratyan@yahoo.com, https://orcid.org/0000-0003-1288-7561***
***[2]Первый 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 обозначений

1).

***Пример –***
***Пётр Анатольевич Коротков[1], Алексей Борисович Трубянов[2], Екатерина Андреевна Загайнова[3]***
***[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 Зубок[1], Владимир Ильич Чупров[2]***
***[1, 2]Институт социально-политических исследований, Федеральный научно-исследовательский социологический центр, Российская академия наук, Москва, Россия***
***[1]uzubok@mail.ru, https://orcid.org/0000-0002-3108-261***
***[2]chuprov443@yandex.ru, https://orcid.org/0000-0002-7881-9388***

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. Объём аннотации не превышает 250 слов. Перед аннотацией приводят слово «Аннотация» ("Abstract").

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

8. Ключевые слова (словосочетания) должны соответствовать теме статьи и отражать её предметную, терминологическую область.

Не используют обобщённые и многозначные слова, а также словосочетания, содержащие причастные обороты.

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

***Пример –***
***Книгоиздание России в 2019 г.***
***Галина Викторовна Перова[1], Константин Михайлович Сухоруков[2]***
*[1, 2]Российская книжная палата, Москва, Россия*
*[1]perova_g@tass.ru*
*[2]a-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. Perova[1], Konstantin M. Sukhorukov[2]***
*[1, 2]Russian Book Chamber, Moscow, Russia*
*[1]perova_g@tass.ru*
*[2]a-bibliograf@mail.ru*

***Abstract.*** The authors provide the main statistics of the Russian book publish-ing 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 implemen-tation; 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, *.pcx. 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*; $\xi$ и $\zeta$; $v$, $\vartheta$ 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 ($\underline{\underline{P}}$, $\overline{\overline{p}}$; $\underline{\underline{S}}$, $\overline{\overline{s}}$). 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 (нуль), а также сокращения слов в индексах подчеркиваются прямой скобкой – $\underline{\quad}$.

Употребление в формулах специальных, в частности, готических и русских букв, а также символов (например, $\mathcal{L}, \mathcal{P}, \mathcal{A}, \mathfrak{D}, \mathfrak{M}, \mathfrak{G}, \mathfrak{F}, \mathbb{Z}, \mathbb{P}, \mathbb{R}, \nabla, \bigoplus, \exists$ 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 Иванов*** [1]***, Иван Иванович Сидоров*** [2]
[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. Ivanov*** [1]***, Ivan I. Sidorov*** [2]

[1,2] *Bashkir State Pedagogical University n.a. M. Akmulla, Ufa, Russia*
[1] *ivanov@mail.ru*
[2] *nova8@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. Akmulla. 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. Башҡорт халыҡ ижады. 5-се том. Тарихи ҡобайырҙар, хикәйәттәр, иртәктәр. / Төҙөүсе, инеш мәҡәлә, коммент., глоссарий авторы Н.Т. Зарипов. Яуаплы редактор З.Ғ. Ураҡсин. – Өфө, 2000. – 391 б.

4. Башҡорт халыҡ ижады. XIII т. Хайуандар тураһында әкиәттәр / Төҙ, баш һүҙ авторы Г. Р. Хөсәйенова, аңл. авт-ры Л.Г. Бараг, М.М. Мингажетдинов, Г.Р. Хөсәйенова. – Өфө: Китап, 2009. – 200 б.

5. Башҡорт халыҡ ижады. Әкиәттәр III китап / Төҙ. Н.Т. Зарипов, М.М. Минһажетдинов, аңл. авт.-ры Л.Г. Бараг, Н.Т. Зарипов. – Өфө: Башкитап нәшриәте, 1978, – 351-се б.

6. Башҡорт халыҡ ижады. Йола фольклоры / Төҙ., инеш һүҙ, аңл. авт-ры Ә. Сөләймәнов, Р. Солтангәрәева. – Өфө, Китап: 1995. – 556 б.

7. Башҡорт халыҡ ижады. Мәҡәлдәр һәм әйтемдәр. Беренсе китап / Төҙ., башһүҙ, аңлатм. авторы. Ф.А. Нәҙершина. – Өфө: Китап, 2006. – 544 б.

8. Башҡорт халыҡ ижады. Т.5. Тарихи ҡобайырҙар, хикәйәттәр, иртәктәр/ Төҙөүсе, инеш мәҡәлә, коммент., глоссарий авторы Н.Т. Зарипов. Яуаплы редактор З.Ғ. Ураҡсин. – 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-kraeveda).

3. Bashҡort halyҡ izhady. 5-se tom. Tarihi ҡobajyrҙar, hikәjәttәr, irtәktәr [Bashkir folk art. Volume 5. Historical kubairs, legends, tales] / Tөҙөүse, inesh mәҡәlә, komment., glossarij avtory N.T. Zaripov. YAuaply redaktor Z.Ғ. Uraҡsin. – Өfө, 2000. – 391 b.

4. Bashҡort halyҡ izhady. XIII t. Hajuandar turahynda әkiәttәr [Bashkir folk art. XIII vol . Animal Tales] / Tөҙ, bash hүҙ avtory G.R. Hөsәjenova, aңl. avt-ry L.G. Barag, M.M. Mingazhetdinov, G.R. Hөsәjenova. – Өfө: Kitap, 2009. – 200 b.

5. Bashҡort halyҡ izhady. Әkiәttәr III kitap [Bashkir folk art. Fairy Tales book III] / Tөҙ. N.T. Zaripov, M.M. Minhazhetdinov, aңl. avt.-ry L.G. Barag, N.T. Zaripov. – Өfө: Bashkitap nәshriәte, 1978, – 351-se b.

6. Bashҡort halyҡ izhady. Jola fol'klory [Bashkir folk art. Ritual folklore] / Tөҙ., inesh hүҙ, aңl. avt-ry Ә. Sөlәjmәnov, R. Soltangәrәeva. – Өfө, Kitap: 1995. – 556 b.

7. Bashҡort halyҡ izhady. Mәҡәldәr hәm әjtemdәr. Berense kitap [Bashkir folk art. Proverbs and sayings. The first book] / Tөҙ., bashhүҙ, aңlatm. avtory. F.A. Nәҙershina. – Өfө: Kitap, 2006. – 544 b.

8. Bashҡort halyҡ izhady. T.5. Tarihi ҡobajyrҙar, hikәjәttәr, irtәktәr [Bashkir folk art. Vol. 5. Historical kubairs, tales, tales] / Tөҙөүse, inesh mәҡәlә, komment., glossarij avtory N.T. Zaripov. YAuaply redaktor Z.Ғ. Uraҡsin. – Өfө, 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 civilizaciyami. − SPb.: IIMK RAN. «Periferiya». Red. kollegiya. 2012. kn. 2. − 584 s.

10. V preddverii filosofii: duhovnye iskaniya drevnego cheloveka G. Frankfort, G.A. Frankfort, Dzh. Uilson, T. Yakobsen [On the threshold of philosophy: the spiritual quest of ancient man G. Frankfort, G.A. Frankfort, J. Wilson, T. Jacobsen]. – SPb.: Amfora, 2001. – 314 s

11. Zaharova A.E. Arhaicheskaya ritual'no-obryadovaya simvolika naroda Saha [Archaic ritual and ceremonial symbols of the Sakha people]. – Novosibirsk: Nauka, 2004. – 312s.

12. Inan A. SHamanizm tarihta həm bөgөn [Shamanism in history and today]. – Өfө: 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 forpublication 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: 15.10.2026 г.
Формат 70×108/16
Бумага офсетная.
Гарнитура Times New Roman
Усл. печ. л. 11,9
Уч-изд.л.6,12
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.