

# Вестник<sup>16+</sup>

Башкирского государственного  
педагогического университета  
им. М. Акмуллы



Серия:  
Естественные науки

2/2025

# ВЕСТНИК



**БАШКИРСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО  
ПЕДАГОГИЧЕСКОГО УНИВЕРСИТЕТА  
ИМ. М. АКМУЛЛЫ**

**Научно-практический журнал**

**Серия:**

**Естественные науки**

**№ 2/ 2025**

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

**Ответственный редактор:**  
Аманбаева З.С.

**Ответственный секретарь:**  
Масалимова В.В.

**Тел.:** 8 (347) 246-92-42

**E-mail:** vestnik.bspu@yandex.ru

© Редакция Вестника БГПУ  
им. М. Акмуллы.

© Муратов И.М., обложка, 2024.

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.

## 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).
- 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).

<b>Маннапов Альфир Габдуллоевич</b>	д-р биол. наук, профессор, зав. кафедрой аквакультуры и пчеловодства ФГБОУ ВО «РГАУ – МСХА им. К.А. Тимирязева» (г. Москва, Россия).
<b>Морева Лариса Яковлевна</b>	д-р биол. наук, профессор кафедры зоологии ФГБОУ ВО «Кубанский государственный университет» (г. Краснодар, Россия).
<b>Насретдинова Римма Наилевна</b>	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).
<b>Седых Татьяна Александровна</b>	д-р биол. наук, зав. кафедрой генетики и химии ФГБОУ ВО «Башкирский государственный педагогический университет им. М. Акмуллы» (г. Уфа, Россия).
<b>Семенов Владимир Григорьевич</b>	д-р биол. наук, профессор, зав. кафедрой морфологии, акушерства и терапии ФГБОУ ВО «Чувашский государственный аграрный университет» (г. Чебоксары, Россия).
<b>Суханова Наталья Викторовна</b>	д-р биол. наук, зав. кафедрой биоэкологии и биологического образования ФГБОУ ВО «Башкирский государственный педагогический университет им. М. Акмуллы» (г. Уфа, Россия).
<b>Улугов Одилджон Пардаалиевич</b>	канд. с.-х. наук, зав. кафедрой естествознания ОУ «Таджикский государственный финансово-экономический университет» (г. Душанбе, Таджикистан).
<b>Юлдашбаев Юсупжан Артыкович</b>	д-р с.-х. наук, профессор, академик РАН, ФГБОУ ВО «РГАУ – МСХА им. К.А. Тимирязева» (г. Москва, Россия).
<b>Юсупов Азат Равилевич</b>	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

- Бабушкина А.С., Гареева С.А.* 6  
СТРУКТУРА МОРФОЛОГИЧЕСКОЙ ИЗМЕНЧИВОСТИ  
*ATRIPLEX PATULA L.*
- Баймурзина Б.Ж., Алиясова В.Н., Тарасовская Н.Е., Суханова Н.В.,  
Саттарова А.В.* 12  
ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПЛОДОВ АВОКАДО В  
КАЧЕСТВЕ ЗАМЕНИТЕЛЯ ЛАВРОВОГО ЛИСТА
- Дроздов Д.Н., Суднеко А.А.* 23  
АНАЛИЗ ДИНАМИКИ ПОЧЕЧНОЙ ФИЛЬТРАЦИИ И  
АРТЕРИАЛЬНОГО ДАВЛЕНИЯ В ВОЗРАСТНОМ АСПЕКТЕ
- Кутдугильдина Э.И., Гареева С.А.* 33  
СТРУКТУРА МОРФОЛОГИЧЕСКОЙ ИЗМЕНЧИВОСТИ  
*SICHORIUM INTYBUS L.*
- Факаетдинова Э.А., Бешеров С.Б., Бугрова К.Р.,  
Мухаметьярова А.И., Фазлутдинова А.И.* 39  
ВЛИЯНИЕ СУСПЕНЗИЙ ВОДОРΟΣЛЕЙ НА РАЗВИТИЕ  
ПРОРОСТКОВ САЛАТНЫХ ОВОЩНЫХ КУЛЬТУР
- Чернов В.М., Мухаметьярова А.И., Сафиуллина Л.М.* 51  
ПЕРВЫЕ СВЕДЕНИЯ О РАЗНООБРАЗИИ ВОДОРΟΣЛЕЙ И  
ЦИАНОБАКЕТИРИЙ ОЗ. ИК-КУЛЬ Г. ОКТЯБРЬСКИЙ  
РЕСПУБЛИКА БАШКОРТОСТАН
- Яковийчук А.В., Кочубей А.В., Мальцева И.А.* 61  
БИОХИМИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ *BRASTEACOSSUS MINOR*  
И *CHLOROCOCCUM OLEOFACIENS* ПРИ АФОТИЧЕСКОМ  
СТРЕССЕ
- Яхин Э.Р., Большакова Э.Р., Султанова Н.Н., Базарсадаева Е.М.,  
Янькова В.П., Шайдурова К.А., Дылгыров И.В., Басхаева Т.Г.,  
Суханова Н.В., Саттарова А.В.* 70  
СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ВИДОВОГО СОСТАВА ВЫСШИХ  
РАСТЕНИЙ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ГЕОГРАФИЧЕСКОГО  
ПОЛОЖЕНИЯ ПОДВИЖНЫХ ПЕСКОВ БАЙКАЛА

## **ХИМИЧЕСКИЕ НАУКИ**

<i>Аббасов В.М., Асадова Р.А., Гасанова Ф.М., Агаев Ф.Н.</i>	85
<b>ПРИМЕНЕНИЕ ГИДРОКСИКИСЛОТ В КАЧЕСТВЕ СТИМУЛЯТОРОВ РОСТА РАСТЕНИЙ</b>	
<i>Гейдарли Г.З., Расулов Ч.К., Гасанова Г.Дж., Алиева К.Ш.</i>	118
<b>АЦИЛИРОВАНИЕ КАРБОНИЛЬНЫХ СОЕДИНЕНИЙ</b>	
<i>Нагиева М.В., Расулов Ч.К., Гаджиева Г.Ф., Гейдарли Г.З.</i>	125
<b>ИЗУЧЕНИЕ РЕАКЦИИ АЦИЛИРОВАНИЯ АМИНОВ И ИХ ПРОИЗВОДНЫХ</b>	
<i>Расулов Ч.К., Гасанова Г.Д., Нагиева М.В., Гейдарли Г.З.</i>	143
<b>АЛКИЛИРОВАНИЕ ФЕНОЛА И ЕГО ГОМОЛОГОВ ЦИКЛИЧЕСКИМИ ОЛЕФИНАМИ</b>	

## **ПРАВИЛА ДЛЯ АВТОРОВ**

<i>Общие положения</i>	157
<i>Рекомендуемая структура публикаций</i>	158
<i>Требования к текстовой части статьи</i>	165
<i>Образцы оформления ссылок на литературу</i>	166

БИОЛОГИЧЕСКИЕ НАУКИ

Научная статья

УДК 581.4 + 582.651.2

DOI 10.21510/3034-266X-2025-2-6-11

**СТРУКТУРА МОРФОЛОГИЧЕСКОЙ ИЗМЕНЧИВОСТИ  
*ATRIPLEX PATULA* L.**

*Ангелина Сергеевна Бабушкина<sup>1</sup>, Светлана Айратовна  
Гареева<sup>2</sup>*

*<sup>1,2</sup>Башкирский государственный педагогический университет  
им. М. Акмуллы, Уфа, Россия*

*<sup>1,2</sup>gareeva.s.a@bspu.ru*

**Аннотация.** В данной статье анализируется организация морфологической варибельности *Atriplex patula* L. Установлена значимость исследуемых характеристик морфологического строения как индикаторов состояния растения. Обнаружено, что при увеличении степени стрессового воздействия растение направляет больше энергии и питательных веществ на поддержание стабильности репродуктивных признаков, в то время как в благоприятных обстоятельствах приоритетным становится развитие вегетативных органов.

**Ключевые слова:** морфологическая изменчивость, адаптация, *Atriplex patula* L.

**Для цитирования:** Бабушкина А.С., Гареева С.А. Структура морфологической изменчивости *Atriplex patula* L. // Вестник Башкирского государственного педагогического университета им. М. Акмуллы. Серия: Естественные науки. 2025. №2. С. 6-11.

BIOLOGICAL SCIENCES

Original article

**THE STRUCTURE OF MORPHOLOGICAL VARIABILITY IN  
*ATRIPLEX PATULA* L.**

*Angelina Sergeevna Babushkina<sup>1</sup>, Svetlana Airatovna Gareeva<sup>2</sup>*

*<sup>1,2</sup>M. Akmulla Bashkir State Pedagogical University, Ufa, Russia*

*<sup>1,2</sup>gareeva.s.a@bspu.ru*

**Abstract.** This article analyzes the organization of morphological variability of *Atriplex patula* L. The significance of the studied characteristics of the morphological structure as indicators of plant

condition has been established. It was found that with an increase in the degree of stress, the plant directs more energy and nutrients to maintain the stability of reproductive characteristics, while in favorable circumstances, the development of vegetative organs becomes a priority.

**Key words:** morphological variability, adaptation, *Atriplex patula* L.

**For citing:** Babuslkina A.S., Gareeva S.A. The Structure of Morphological Variability in *Atriplex patula* L. // Bulletin of Bashkir State Pedagogical University named after M. Akmulla. Series: Natural Sciences. 2025. No2. pp. 6-11.

Изменчивость – способность организмов изменять свои признак; и свойства под воздействием различных факторов окружающей среды [2, с.105-120]. Модификационная изменчивость (ненаследственная или фенотипическая) – изменения признаков организма, вызванные факторами внешней среды и не связанные с изменениями генотипа. Они не наследуются и сохраняются лишь на протяжении жизни данного организма.

В свою очередь, модификации могут влиять на работу генов и активность ферментов. Например, воздействие низких температур; снижает активность ферментов, что ведет к уменьшению роста растений и замедлению реакций обмена. Однако эти воздействия не влияют на структуру гена, а значит, не наследуются. Развитие признака под действием факторов среды происходит не безгранично. Степень его выраженности может варьировать (у коров различных пород количество молока при одинаковых условиях содержания будет различно). Пределы, в которых возможно изменение признака у организма с определенным генотипом, называются нормой реакции.

Модификационная изменчивость характерна для всех организмов вне зависимости от способа размножения, вида и условий внешней среды. Эволюционное значение данной модификационной изменчивости заключается в том, что они позволяют организмам приспособиться к изменяющимся условиям среды. Следовательно, естественный отбор благоприятствует генотипам с определённой широтой нормы реакции в зависимости от характера изменений условий внешней среды [3, с. 832].

Объектом исследования был вид *Atriplex patula* L широко распространенный представитель семейства Амарантовые (*Amaranthaceae*), играющий важную роль в экосистемах благодаря своей адаптационной пластичности и устойчивости к неблагоприятным условиям среды. Жизненная форма – терофит. Предпочитает богатые минеральными солями субстраты. Повсеместно распространенный сорняк, растёт вдоль дорог, на сорных местах, полях, главным образом в картофеле, свекле и других овощах, в ирреженных яровых и кормовых культурах, по берегам рек, озёр [1].

Целью работы было изучение изменчивости морфологических признаков *A. patula* L. в разных условиях произрастания. Для этого в период с июля по август 2024 г. на территории Зилаирского района Республики Башкортостан было проведено комплексное ботаническое исследование, включающее изучение морфологических параметров пяти выборок растений. Каждая выборка состояла из 28 индивидуумов, у которых были замерены ключевые морфологические показатели. В частности, были измерены: длина главного корня, высота растения от уровня почвы до верхушечной почки, длина флоральной зоны, число супротивных и очередных междоузлий на стебле, длина нижнего бокового побега, длина соцветия на этом побеге, длина черешка листа, длина и ширина листовой пластинки листьев. Исследование проводили по методу Н.С. Ростовской, с использованием программ Microsoft Excel и STATISTICA 6.0. Признаки были скоординированы в пространстве общей и согласованной изменчивости (рис. 1) [4, с. 308].

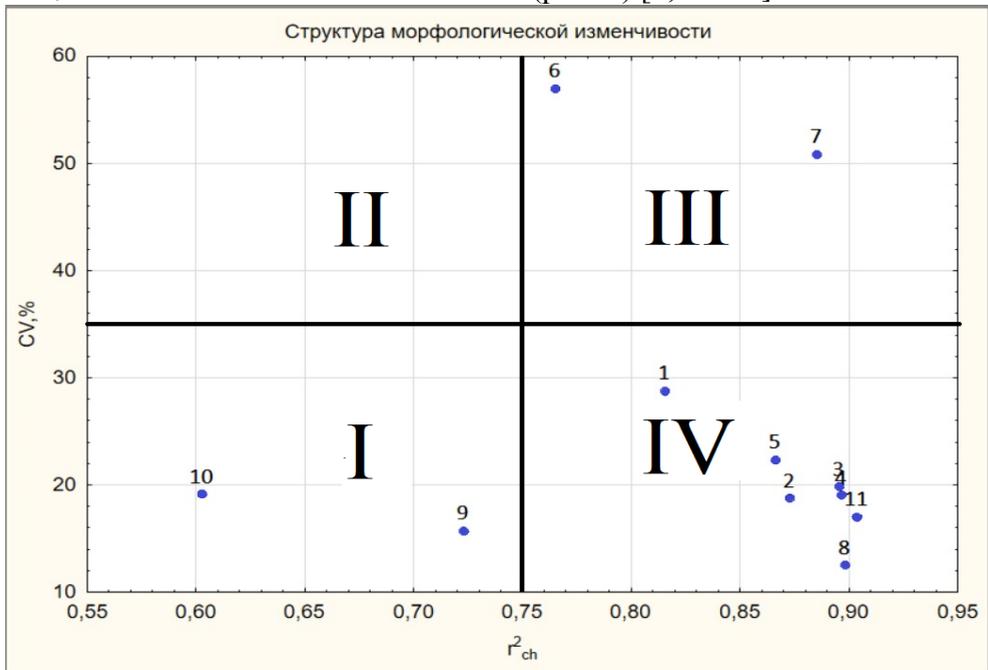


Рис. 1. Структура изменчивости морфологических признаков вида *A. patula* L. (усредненные данные по 5 выборкам). Морфологические признаки: 1 – длина растения, 2 – длина корня, 3 – длина флоральной зоны, 4 – число супротивных междоузлий, 5 – число очередных междоузлий, 6 – длина нижнего бокового побега, 7 – длина соцветия нижнего бокового побега, 8 – длина черешка, 9 – длина листа, 10 – ширина листа, 11 – длина соцветия. Индикаторы: I – генетические, II – экологические, III – эколого-биологические, IV – биологические системные. По оси ординат – общая изменчивость (CV, %), по оси абсцисс – согласованная изменчивость ( $r^2_{ch}$ ).

Исследование морфологических параметров лебеды раскидистой выявило интересную картину вариабельности признаков, свидетельствующую о сложном взаимодействии генетических и экологических факторов в развитии этого растения. Анализ показал существенные различия в степени изменчивости различных параметров. Наиболее выраженная вариабельность наблюдалась у длины нижнего бокового побега. Эта высокая степень изменчивости указывает на значительное влияние внешних факторов среды – таких как доступность воды, питательных веществ, освещенность, температура и конкуренция с другими растениями – на развитие этого конкретного органа. В противоположность этому, длина черешка продемонстрировала наименьшую изменчивость, оставаясь относительно стабильной даже при существенных колебаниях условий произрастания. Это говорит о сильном генетическом контроле над этим признаком, определяющем его устойчивость к внешним воздействиям.

Более детальное рассмотрение показало, что параметры листовой пластинки – ее ширина и длина – занимают промежуточное положение. Общая изменчивость этих параметров относительно невелика, что свидетельствует о значительной степени генетического контроля. Однако, высокая согласованная изменчивость указывает на сохранение стабильного соотношения между шириной и длиной листовой пластинки. Другими словами, хотя абсолютные размеры листа могут варьировать в зависимости от условий, пропорции его формы остаются относительно постоянными, отражая генетически обусловленный план строения. Тем не менее, наблюдаемая некоторая вариабельность длины листовой пластинки наводит на мысль о влиянии биологических факторов, таких как возраст растения, его физиологическое состояние и доступность ресурсов, на этот параметр. Важно отметить, что ни один из изученных параметров не проявлял исключительно экологического поведения, то есть не реагировал исключительно на изменения окружающей среды. Иными словами, все параметры подвержены влиянию как внутренних, так и внешних факторов, но в разной степени.

Для сравнения, были выделены эколого-биологические (системные) индикаторы, характеризующиеся как высокой общей изменчивостью, так и высокой согласованной изменчивостью. Эти индикаторы отражают общее состояние растения как сложной системы, интегрируя влияние как внутренних, так и внешних факторов. Длина нижнего бокового побега, несмотря на свою высокую общую изменчивость, проявляет некоторые черты экологического индикатора, чувствительно реагируя на изменения условий среды. В то же время, общая длина растения показала большее сходство с эколого-биологическими индикаторами, реагируя на комплексное воздействие

множества факторов. Наконец, биологические индикаторы, такие как длина черешка, отличаются низкой общей изменчивостью и высокой согласованной изменчивостью. Это указывает на преобладание генетического контроля над этим признаком, обеспечивающего его относительную стабильность в условиях изменяющейся среды [5, с.112-114].

Таким образом, данное исследование подчеркивает сложность и многогранность влияния генетических и экологических факторов на формирование морфологических параметров лебеды раскидистой, демонстрируя различную степень их чувствительности к внешним условиям и внутренним процессам. Разные параметры проявляют различную степень пластичности и стабильности, что позволяет использовать их в качестве индикаторов различных аспектов состояния растения и условий его существования. Более глубокое понимание этих взаимодействий необходимо для разработки стратегий управления ростом и продуктивностью этого вида. Дальнейшие исследования должны быть направлены на изучение влияния конкретных экологических факторов на каждый из анализируемых параметров, а также на анализ генетической основы наблюдаемой variability.

### СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Grime J.P. 1979 Plant Strategies and Vegetation Processes. Wiley, Chichester.
2. Гаузе Г.Ф. Роль приспособляемости в естественном отборе [Текст] / Гаузе Г.Ф. // Ботанический журнал. – 1940. – Т.1. – №1. – С. 105–120.
3. Дарвин Ч. Происхождение видов [Текст] / Дарвин Ч. // Академия наук. – М. – 1939. – С. 832
4. Ростова Н.С. Корреляции: структура и изменчивость [Текст] / Ростова Н.С. Монография. – СПб. – 2002. – С. 308.
5. Сафаргалина А.Т. Проявления стратегий жизни *Atriplex patula* L. в онтогенезе / А.Т. Сафаргалина, С.А. Хусаинова, А.Р. Ишбирдин // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. – 2011. – Т. 13, № 5-2. – С. 112-114. – EDN PWMNED.

### REFERENCES

1. Grime J.P. 1979 Plant Strategies and Vegetation Processes. Wiley, Chichester.
2. Gauze G.F. Rol' prisposoblyaemosti v estestvennom otbore [Tekst] / Gauze G.F. // Botanicheskij zhurnal. – 1940. – T.1. – №1. – pp. 105–120.

3. Darwin CH. Proiskhozhdenie vidov [Tekst] / Darwin CH. // Akademiya nauk.– M. – 1939. – p. 832.
4. Rostova N.S. Korrelyacii: struktura i izmenchivost' [Tekst] / Rostova N.S. Monografiya. – SPb. – 2002. – p. 308.
5. Safargalina A.T. Proyavleniya strategij zhizni *Atriplex patula* l. v ontogeneze / A.T. Safargalina, S.A. Husainova, A.R. Ishbirdin // Izvestiya Samarskogo nauchnogo centra Rossijskoj akademii nauk. – 2011. – T. 13, № 5-2. – pp. 112-114. – EDN PWMNED.

***Информация об авторах***

***А.С. Бабушкина*** – студент;

***С.А. Гареева*** – кандидат биологических наук.

***Information about the authors***

***A.S. Babushkina*** – Student;

***S.A. Gareeva*** – Candidate of Biological Sciences.

*Статья поступила в редакцию 06.05.2025; принята к публикации 02.06.2025.*

*The article was submitted 06.05.2025; accepted for publication 02.06.2025.*

## БИОЛОГИЧЕСКИЕ НАУКИ

Научная статья

УДК 664.59

DOI 10.21510/3034-266X-2025-2-12-22

### ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПЛОДОВ АВОКАДО В КАЧЕСТВЕ ЗАМЕНИТЕЛЯ ЛАВРОВОГО ЛИСТА

**Баян Жумабаевна Баймурзина<sup>1,4</sup>, Валентина  
Нурмагамбетовна Алиясова<sup>2</sup>, Наталия Евгеньевна  
Тарасовская<sup>3</sup>, Наталья Викторовна Суханова<sup>4</sup>, Амиля  
Венеровна Саттарова<sup>4</sup>**

<sup>1,2,3</sup>Павлодарский педагогический университет им.Элкей  
Марғұлан, Павлодар, Казахстан

<sup>4</sup>Башкирский государственный педагогический университет  
им.М.Акмиллы, Уфа, Россия

<sup>1</sup>bajana77@mail.ru

<sup>2</sup>alijasova@mail.ru

<sup>3</sup>nata.tarasovskaya@bk.ru

<sup>4</sup>n\_suhanova@mail.ru

**Аннотация.** В статье изложен материал результатов поиска заменителя приправы «Лавровый лист», с идентичными вкусовыми и ароматическими качествами, при использовании семян, листьев, плодов широко распространенных в мире и коммерчески доступных растительных культур, из которых не все считаются съедобными и пока не получили промышленного применения. Наиболее подходящим заменителем вкуса являются высушенные дольки семян авокадо. Результат выражается в получении заменителя лаврового листа с идентичными вкусовыми и ароматическими качествами при использовании родственного вида растения с мягким вкусом, без излишней горечи, не оттеняющего вкус блюд, с использованием отходов коммерчески доступной плодоовощной продукции (косточек плодов авокадо), которые пока не нашли промышленного применения, при минимальных трудозатратах.

**Ключевые слова:** авокадо, лавровый лист, специи, ароматические качества, заменители вкуса

**Для цитирования:** Баймурзина Б.Ж., Алиясова В.Н., Тарасовская Н.Е., Суханова Н.В., Саттарова А.В. Возможности использования плодов авокадо в качестве заменителя лаврового листа // Вестник Башкирского государственного педагогического

университета им. М. Акмуллы. Серия: Естественные науки. 2025. № 2.  
С. 12-22.

## BIOLOGICAL SCIENCES

Original article

### POSSIBILITIES OF USING AVOCADO FRUITS AS A SUBSTITUTE FOR BAY LEAF

*Bayan Zhumabaevna Baimurzina<sup>1,4</sup>, Valentina Nurmagambetovna Aliyasova<sup>2</sup>, Natalia Evgenievna Tarasovskaya<sup>3</sup>, Natalia Viktorovna Sukhanova<sup>4</sup>, Amilya Venerovna Sattarova<sup>4</sup>*

<sup>1,2,3</sup>*Pavlodar Pedagogical University named after Alkey Margulan,  
Pavlodar, Kazakhstan*

<sup>4</sup>*Bashkir State Pedagogical University named after M. Akmulla, Ufa,  
Russia*

<sup>1</sup>*bajana77@mail.ru*

<sup>2</sup>*alijasova@mail.ru*

<sup>3</sup>*nata.tarasovskaya@bk.ru*

<sup>4</sup>*n\_sukhanova@mail.ru*

**Abstract.** The article presents the results of the search for a substitute for the seasoning "Bay leaf" with identical taste and aromatic qualities, using seeds, leaves, fruits of widely distributed in the world and commercially available plant crops, not all of which are considered edible and have not yet received industrial application. The most suitable flavor substitute are dried slices of avocado seeds. The result is expressed in obtaining a substitute for bay leaf with identical taste and aromatic qualities when using a related plant species, with a mild taste, without excessive bitterness, not shading the taste of dishes, using waste from commercially available fruit and vegetable products (avocado seeds), which have not yet found industrial application, with minimal labor costs in obtaining the finished target product.

**Key words:** avocado, bay leaf, spices, aromatic qualities, flavor substitutes

**For citation:** Baymurzina B.Zh., Aliyasova V.N., Tarasovskaya N.E., Sukhanova N.V., Sattarova A.V. Possibilities of using avocado fruits as a substitute for bay leaves // Bulletin of the Bashkir State Pedagogical University named after. M. Akmulla. Series: Natural Sciences. 2025. No. 2. pp. 12-22.

**Введение.** Лавровый лист – листья лавра благородного (*Laurus nobilis* L.) является неотъемлемым компонентом кулинарии благодаря

своим уникальным ароматическим и вкусовым свойствам. Он широко используется в различных блюдах, придавая характерный вкус и запах, особенно в процессе тепловой обработки. Однако, несмотря на свою популярность, лавровый лист имеет ограничения в плане доступности и устойчивости к изменяющимся климатическим условиям. В связи с этим возникает необходимость поиска альтернативных растений, которые могли бы заменить его, сохраняя или даже улучшая его органолептические характеристики.

Одной из актуальных проблем, с которыми сталкиваются исследователи, является необходимость нахождения заменителей, обладающих схожими ароматическими качествами и обладающими аналогичными органолептическими характеристиками.

**Целью** исследования является расширение спектра заменителей пряностей, в частности лаврового листа, с идентичными вкусовыми и ароматическими качествами, при использовании семян, листьев, плодов распространенных в мире и коммерчески доступных растительных культур, из которых не все считаются съедобными и не получили промышленного применения.

**Задачи исследования:**

- изучение возможностей получения заменителей лаврового листа с идентичными вкусовыми и ароматическими качествами при использовании родственных видов растений;
- анализ свойств и использование отходов коммерчески доступной плодоовощной продукции (косточек плодов авокадо) как целевого продукта в качестве заменителя лаврового листа.

В качестве заменителей лаврового листа известно использование небольших количеств корневищ айра [1]. Есть также сведения, что он по популярности и истории применения соперничает с лавровым листом, заменителем которого он считается. Кроме того, корневище айра в средних широтах используют в качестве заменителя широкого спектра тропических пряностей – имбиря, корицы, мускатного ореха [2]. Недостатком такого заменителя является горький вкус и сильный запах айра при добавлении его в значительных количествах, и, кроме того, вкус и аромат корневищ айра не вполне идентичен лавровому листу.

Известно использование шишкоягод можжевельника в качестве самостоятельной пряности, а также в сочетании с мятой, чесноком, майораном и полынью для маринадов, улучшения вкуса мясных блюд [3]. В ряде публикаций плоды можжевельника рекомендованы как заменитель лаврового листа. У них также есть интенсивный, смолистый аромат, который ассоциируется с джином. Этот хвойный вкус сочетается с цитрусовыми нотками. При замене лаврового листа ягодами можжевельника рекомендуется использовать две или три ягоды вместо одного лаврового листа [4].

Недостатками использования шишкоягод можжевельника в качестве заменителя лаврового листа являются следующие моменты:

1) Резкий вкус и запах (способный перебить или оттенить вкус самого блюда).

2) Ограниченность использования такой приправы главным образом мясными блюдами из баранины и говядины.

3) Не полная идентичность вкусовым и ароматическим качествам лаврового листа.

4) Негативное специфическое действие при некоторых состояниях (обострение воспалительных процессов в почках за счет раздражающего действия, угроза выкидыша во время беременности).

Известно использование базилика и розмарина (по отдельности или в смеси) в качестве заменителя лаврового листа [4]. Базилик имеет в аромате сладкие нотки и хорошо подходит к итальянским блюдам, в состав которых входят томатные соусы, сообщая им сладкий травяной аромат. Розмарин как приправа универсален и может использоваться как заменитель лаврового листа для стейков, жаркого, рыбы, баранины, козы, свинины и мяса дичи в соотношении 1:1 (т.е. розмарин и лавровый лист берутся в одинаковом соотношении).

К недостаткам использования розмарина и базилика в качестве заменителей пряностей, в т.ч. лаврового листа, относятся:

1) В большом количестве базилик обладает раздражающим действием на слизистые оболочки [5], что нежелательно для лиц с заболеваниями желудочно-кишечного тракта.

2) Базилик является гиперкоагулянтном и нежелателен для лиц пожилого возраста, с угрозой тромбозов и острых сосудистых патологий [6, с 34]. Кроме того, ввиду коагулирующих свойств базилик вызывает чувство сильной жажды, что особенно нежелательно в жару.

3) В большинстве регионов Казахстана и России, как базилик и розмарин требуют целенаправленного выращивания и не всегда дают высокие урожаи, чтобы обеспечить заменителями пряностей в промышленных масштабах.

4) Вкус базилика не идентичен вкусу лаврового листа и не обеспечивает соответствующих нот пряного вкуса (только легкий камфорный вкус и запах).

5) Розмарин не идентичен по вкусу лавровому листу, он только имеет интенсивный вкус и аромат, подходящий к любым блюдам.

Известно использование в качестве заменителя лаврового листа листьев шалфея лекарственного и мускатного [4]. Лучше всего использовать шалфей для приготовления фарша из птицы, свинины, макарон, картофеля, с луком и грецкими орехами или в сочетании с сыром.

К недостаткам использования шалфея в качестве заменителя лаврового листа можно отнести следующие:

1) При длительном применении в больших количествах шалфей обладает раздражающим действием на слизистые оболочки полости рта и желудочно-кишечного тракта (обычно его рекомендуют применять не больше трех месяцев подряд) [7]. Поэтому, данное растительное сырье вряд ли пригодно для длительного систематического применения в качестве ежедневной пряности.

2) Шалфей противопоказан при беременности и нежелателен для кормящих матерей, т.к. снижает количество молока.

3) Шалфей противопоказан при заболеваниях почек, особенно в период обострения, а также крайне нежелательно его сочетание со спиртными напитками [6, с 371-373].

4) Вкусовые и ароматические качества листьев шалфея не идентичны натуральному лавровому листу, а при длительном применении могут вызвать идиосинкразию.

Наиболее близким к использованию в качестве заменителей лаврового листа являются листья болдо, произрастающего в Латинской Америке. Его научное название – пеумус (*Peumus boldus* M.). Вкус листьев болдо описывается как теплый и пряный, с оттенком горечи. Это растение родственно лавру (принадлежит к семейству Монимиевых (Monimiaceae) порядка Лавроцветных), и для замены одного лаврового листа достаточно половины листа болдо [4].

Ареал произрастания включает центральные районы Чили, поскольку болдо предпочитает сухие и жаркие места. Растение содержит изохинолиновый алкалоид болдин, обладающий противокашлевой активностью. Листья растения, имеющие сильный древесный и слабый камфорный аромат, используются в странах Южной Америки в кулинарных целях в качестве приправы и для приготовления травяного чая. Аромат листьев болдо содержит также ноты перечной мяты. Листья в западных странах используют как традиционный заменитель лаврового листа при приготовлении рыбных и мясных блюд, он также хорошо сочетается с овощными маринадами и грибами. В Западной Европе болдо пока используется как лекарственное, но не пряное растение [8].

К недостаткам использования листьев болдо можно отнести:

1) Болдо произрастает лишь в странах Южной Америки и не получил широкого распространения в мире, а значит, для большинства регионов он не является коммерчески доступным.

2) Болдо имеет чрезмерно сильный аромат, в результате чего даже при некотором избытке растительного сырья полностью подавляется вкус блюда, и появляются нежелательные горькие привкусы (древесный привкус доминирует над камфорным и мятным).

3) Передозировка листьев болдо в качестве специи или ароматизатора для чая может привести не только к идиосинкразии, но также к тошноте, головокружению, зрительным и слуховым галлюцинациям, особенно у чувствительных лиц. Растение также не рекомендуется при тяжелых заболеваниях печени и закупорке желчевыводящих путей, беременности и кормлении грудью.

Для решения поставленной задачи предлагается использовать в качестве заменителя лаврового листа семя авокадо (*Persea americana* Mill.), которое относится к семейству лавровых и содержит идентичный набор вкусоароматических веществ.

**Материалы и методы.** В работе использованы следующие виды растений: лавровый лист (*Laurus nobilis*) – стандарт для сравнения, травы и специи – розмарин (*Rosmarinus officinalis* L.), базилик (*Ocimum basilicum* L.), шалфей (*Salvia officinalis* L.) растение, которое имеет схожие органолептические характеристики, плоды шишкоягоды можжевельника обыкновенного (*Juniperus communis* L.).

Для получения результатов использовались следующие методы: анализ органолептических свойств, сравнительный химический анализ, тестирование на устойчивость к термической обработке, исследование токсичности и безопасности. Таким образом, комбинированное использование химических, органолептических и токсикологических методов позволит выявить наилучшие варианты заменителей лаврового листа с сохранением идентичных вкусовых и ароматических качеств.

**Результаты и обсуждение.** В качестве заменителя лаврового листа используют семена – косточки из зрелых плодов авокадо, которые режут на пластинки толщиной 3-5 мм или дольки размером 10\*10\*5 мм, высушивают на воздухе до содержания влаги 1,5-2%, хранят в закрытой посуде в течение 2 лет. Используют для приготовления супов, солений, маринадов так же, как и лавровый лист. Рекомендуемое количество заменителя лаврового листа – 1-2 пластинки или 2-3 дольки указанного размера вместо одного лаврового листа. При комнатной температуре сырье, измельченное до указанных размеров, высыхает в течение 2-4 дней. Более мелкая нарезка или помол приведут к быстрой потере эфирных масел и, следовательно, вкусоароматических качеств. Высушивание целого плода до минимального содержания влаги затруднит последующее измельчение и дозировку в связи с высокой твердостью, а при варке снизит извлечение ароматических веществ.

Натуральный лавровый лист имеет аромат, включающий ноты ментола, камфоры, сосновой смолы и черного перца, у свежих листьев имеются также цветочные нотки. Очевидно, что максимальная идентичность вкусовых и ароматических качеств заменителя лаврового листа будет достигнута при использовании близкого вида, например

персея американская (авокадо) из того же порядка и семейства лавровых.

Авокадо, или персея американская (*Persea mericana*) – вечнозеленое дерево семейства лавровых с крупными грушевидными плодами весом до 600 г. Внутри мякоти плода находится косточка (семя) величиной с грецкий орех, а у мелких плодов косточка по объему и массе не меньше съедобной части мякоти. Культивируют это растение главным образом в тропических и субтропических регионах (Бразилия, Австралия, Аргентина, Куба, Гавайские острова, в США в штатах Калифорния и Флорида), на территории постсоветского пространства район культивирования ограничен Черноморским побережьем Кавказа. Свежие плоды авокадо поступают в продажу на всей территории Республики Казахстан, т.е. повсеместно являются коммерчески доступными. Используется главным образом съедобная мякоть плода, косточка же ранее не находила промышленного и бытового применения. Для плодов и семян авокадо характерно высокое содержание жиров – до 30% [9].

Есть сведения, что плоды авокадо содержат жир, протеин, соли калия, кальция, фосфора, магния, в значительном количестве – витамины А, В, С, D, Е, К. Листья содержат эфирное масло и горечь абокатин, обладающую таким же действием, что и алкалоид из плодов авокадо (а также какао-бобов) – теобромин. Авокадо является диетическим продуктом, который используется при сахарном диабете, гастритах с повышенной и пониженной кислотностью, гипертонии, атеросклерозе, для лечения и профилактики анемии. Отвар семян и листьев используют при расстройствах кишечника и кишечных инфекциях. Кожу плодов, листья и ветки в народной медицине используют как глистогонное средство и при инфекционных кишечных заболеваниях [10].

С учетом того, что авокадо относится к семейству лавровых порядка лавроцветных и содержит аналогичные вкусовые и ароматические вещества, что и натуральный лавровый лист и его родственный заменитель – листья болдо, такая замена будет наиболее адекватной. Кусочки семени авокадо имеют ту же гамму вкусов, что и лавровый лист – ноты камфары, сосновой смолы, ментола или борнеола с легким перечным привкусом.

Вкус блюд, приготовленных с добавлением кусочков семени авокадо, типичный для лаврового листа, только более мягкий и затушеванный, без оттенков горечи. Горького привкуса и нежелательного послевкуса не остается даже в том случае, если кусочки авокадо не удаляют после приготовления блюда, что всегда необходимо сделать при использовании лаврового листа. Кусочки семени при варке становятся мягкими, они отдают значительную часть вкуса и аромата, являются съедобными, при потреблении не дают

горького и жгучего вкуса, не вызывают идиосинкразии у потребителей. Добавление семени авокадо улучшает сохранность готовых блюд, в т.ч. в теплом помещении и при летних температурах. Кроме того, крупная косточка плодов авокадо пока не нашла промышленного и бытового применения, практически никак не используется, и ее чаще всего просто выкидывают. Использование семени авокадо в качестве заменителя лаврового листа позволит получить из отходов востребованный целевой продукт.

Заменитель лаврового листа используют следующим образом.

Пример 1. При варкепельменей в кипящую воду добавляют 5 сухих долек семени авокадо размером 10\*10\*5 мм на литр, опускаютпельмени, варят до готовности. Бульон и самипельмени имели привкус и запах лаврового листа, только более мягкий и насыщенный, без оттенков горечи и излишнего смолисто-камфорного запаха. Затем бульон спельменями подогреваю повторно, не убирая ломтиков авокадо. Вкус и аромат вторично подогретого бульона практически не изменяется, заменитель пряности не придает горького смолистого вкуса, обычно вызывающего идиосинкразию при длительном нахождении лаврового листа в готовом блюде.

Пример 2. Ломтики сухих семян авокадо размерами 10\*10\*5 мм добавляют в готовящиеся блюда при тушении курицы и баранины – из расчета 5-6 сухих долек на 1 л объема блюда. Мясо приобретает мягкий и насыщенный вкус лаврового листа, без излишней горечи и смолистого запаха. Сами ломтики семян авокадо при тушении становятся мягкими, имеют легкий пряный вкус, без горечи и излишней остроты, т.е. в отличие от лаврового листа, они пригодны для потребления вместе с блюдом.

Пример 3. Кусочки сухих семян авокадо 10\*10\*5 мм используют вместо лаврового листа при мариновании огурцов и томатов – из расчета 9-10 сухих долек на трехлитровую банку. Дополнительно в маринад кладут зонтики укропа, зелень петрушки, листья черной смородины. Вкус овощей и рассола становится выигрышнее по сравнению с традиционным добавлением лаврового листа – отмечается более насыщенный аромат без оттенков горечи, и хорошее сочетание с другими пряными растениями.

Пример 4. Ломтики сухих семян авокадо 10\*10\*5 мм применяют при засолке грибов под прессом – из расчета 4-5 сухих долек на однолитровую банку плотно уложенных грибов. Кроме того, в рассол добавляют семена укропа, корень хрена, вишневый лист. Через месяц грибы и рассол имеют насыщенный пряный аромат, в котором чувствуются нотки лаврового листа (камфорный, сосново-смолянистый, мятный, перечный, но без горечи), не оттеняющие вкус других пряностей и грибов.

**Заключение.** Заменитель лаврового листа, включающий растительное сырье из родственных видов растений, отличается тем, что в качестве сырья из родственных видов растений используют семена авокадо, разрезанные на доли размерами 10\*10\*5 мм.

Результат выражается в получении заменителя лаврового листа с идентичными вкусовыми и ароматическими качествами при использовании родственного вида растений, с мягким вкусом, без излишней горечи, не оттеняющего вкус блюд, с использованием косточек плодов авокадо, которые пока не нашли промышленного применения.

В качестве заменителя лаврового листа используют семена – косточки из зрелых плодов авокадо, которые режут на пластинки толщиной 3-5 мм или дольки размером 10\*10\*5 мм, высушивают на воздухе до содержания влаги 1,5-2%, хранят в закрытой посуде в течение 2 лет. Используют для приготовления супов, солений, маринадов так же, как и лавровый лист. Рекомендуемое количество заменителя лаврового листа – 1-2 пластинки или 2-3 дольки указанного размера вместо одного лаврового листа. При комнатной температуре сырье, измельченное до указанных размеров, высыхает в течение 2-4 дней. Более мелкая нарезка или помол приведут к быстрой потере эфирных масел и, следовательно, вкусоароматических качеств. Высушивание целого плода до минимального содержания влаги затруднит последующее измельчение и дозировку в связи с высокой твердостью, а при варке снизит извлечение ароматических веществ.

На основании полученных результатов авторами статьи поданы патентная заявка на изобретение в «Национальный институт интеллектуальной собственности» Республики Казахстан 2024/0253.1 «Заменитель лаврового листа».

### СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Пастушенков Л.В., Пастушенков А.Л., Пастушенков В.Л. Лекарственные растения: Использование в народной медицине и быту. – Л.: Лениздат, 1990. – 384 с. – С. 10-11.
2. Елина Г.А. Аптека на болоте: Путешествие в неизведанный мир. – СПб.: Наука, 1993. – 496 с. – С. 40-44.
3. Пастушенков Л.В., Пастушенков А.Л., Пастушенков В.Л. Лекарственные растения: Использование в народной медицине и быту. – Л.: Лениздат, 1990. – 384 с., ил. – С. 168-169.
4. <https://pekdom.ru/hozyayke-na-zametku/4787-luchshie-zameniteli-lavrovogo-lista.html>
5. Кортиков В.Н. Полная энциклопедия лекарственных растений / В.Н.Кортиков, А.В.Кортиков. – Ростов-на Дону: Феникс, 2008. – 797 с. – С. 50-51.

6. Лавренова Г.В., Лавренов В.К. Полная энциклопедия лекарственных растений. – М.: АСТ; Донецк: Сталкер, 2008. – 416 с. – С. 186. – С. 34.
7. Лавренова Г.В. Домашний травник. – М.: ЗАО «ОЛМА Медиа Групп», 2010. – 640 с. – С. 436-439.
8. <https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9F%D0%B5%D1%83%D0%BC%D1%83%D1%81>; <https://nairiherbs.ru/boldo>, <http://diamart.info/encyclopedia/boldo/>, <https://lektrava.ru/encyclopedia/boldo/>
9. Биологический энциклопедический словарь / Гл. ред. М.С.Гиляров; редкол.: А.А.Баев, Г.Г.Винберг, Г.А.Заварзин и др. – М.: Советская энциклопедия, 1989. – 864 с. – С. 8.
10. Лавренова Г.В. Домашний травник. – М.: ЗАО «ОЛМА Медиа Групп», 2010. – 640 с. – С. 36-37.

## REFERENCES

1. Pastushenkov L.V., Pastushenkov A.L., Pastushenkov V.L. Medicinal Plants: Use in Folk Medicine and Everyday Life. – L.: Lenizdat, 1990. – 384 p. – pp. 10-11.
2. Elina G.A. Pharmacy on the Swamp: Journey into an Unknown World. – St. Petersburg: Nauka, 1993. – 496 p. – pp. 40-44.
3. Pastushenkov L.V., Pastushenkov A.L., Pastushenkov V.L. Medicinal Plants: Use in Folk Medicine and Everyday Life. – L.: Lenizdat, 1990. – 384 p., ill. – pp. 168-169.
4. <https://pekdom.ru/hozyayke-na-zametku/4787-luchshie-zameniteli-lavrovogo-lista.html>
5. Kortikov V.N. Complete encyclopedia of medicinal plants /V.N.Kortikov, A.V.Kortikov. – Rostov-on-Don: Phoenix, 2008. – 797 p. – pp. 50-51.
6. Lavrenova G.V., Lavrenov V.K. Complete encyclopedia of medicinal plants. – М.: АСТ; Donetsk: Stalker, 2008. – 416 p. – P. 186. – p. 34.
7. Lavrenova G.V. Home herbalist. – М.: ЗАО "OLMA Media Group", 2010. – 640 p. – pp. 436-439.
8. <https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9F%D0%B5%D1%83%D0%BC%D1%83%D1%81>; <https://nairiherbs.ru/boldo>, <http://diamart.info/encyclopedia/boldo/>, <https://lektrava.ru/encyclopedia/boldo/>
9. Biological encyclopedic dictionary / Ch. ed. M.S. Gilyarov; editorial board: A.A.Baev, G.G.Vinberg, G.A.Zavarzin and others – М.: Soviet Encyclopedia, 1989. – 864 p. – p. 8.
10. Lavrenova G.V. Home herbalist. – М.: JSC "OLMA Media Group", 2010. – 640 p. – pp. 36-37.

### ***Информация об авторах***

***Б.Ж. Баймурзина*** – магистр естественных наук, преподаватель Павлодарского педагогического университета им. Элкей Марғұлан, Павлодар, Республика Казахстан;

***В.Н. Алиясова*** – кандидат культурологии, ассоциированный профессор Павлодарского педагогического университета им. Элкей Марғұлан, Павлодар, Республика Казахстан;

***Н.Е. Тарасовская*** – д-р биол. наук, профессор Павлодарского педагогического университет им. Элкей Марғұлан, Павлодар, Республика Казахстан;

***Н.В. Суханова*** – д-р биол. наук, заведующий кафедрой биоэкологии и биологического образования, БГПУ им. М. Акмуллы, Уфа, Россия;

***А.В. Саттарова*** – бакалавр, БГПУ им. М. Акмуллы, Уфа, Россия.

### ***Information about the authors***

***B.Zh. Baimurzina*** – Master of Natural Sciences, lecturer at Pavlodar Pedagogical University named after Alkey Margulan, Pavlodar, Republic of Kazakhstan;

***V.N. Aliyasova*** – Candidate of Cultural Studies, Associate Professor at Pavlodar Pedagogical University named after Alkey Margulan, Pavlodar, Republic of Kazakhstan;

***N.E. Tarasovskaya*** – Doctor of Biological Sciences, Professor at Pavlodar Pedagogical University named after Alkey Margulan, Pavlodar, Republic of Kazakhstan;

***N.V. Sukhanova*** – Doctor of Biological Sciences, Head of the Department of Bioecology and Biological Education, Bashkir State Pedagogical University named after M. Akmulla, Ufa, Russia;

***A.V. Sattarova*** – Bachelor, BSPU named after. M. Akmully, Ufa, Russia.

*Статья поступила в редакцию 08.04.2025; принята к публикации 28.05.2025.*

*The article was submitted 08.04.2025; accepted for publication 28.05.2025.*

## БИОЛОГИЧЕСКИЕ НАУКИ

Научная статья

УДК 612 616.1

DOI 10.21510/3034-266X-2025-2-23-32

### **АНАЛИЗ ДИНАМИКИ ПОЧЕЧНОЙ ФИЛЬТРАЦИИ И АРТЕРИАЛЬНОГО ДАВЛЕНИЯ В ВОЗРАСТНОМ АСПЕКТЕ**

*Денис Николаевич Дроздов<sup>1</sup>, Анна Александровна Суднеко<sup>2</sup>*

*<sup>1,2</sup>Гомельский государственный медицинский университет,*

*Гомель, Республика Беларусь*

*<sup>1</sup>dndrosdow@mail.ru*

*<sup>2</sup>sudneko.a@yandex.ru*

**Аннотация.** Динамика почечной фильтрации является важной составляющей водно-солевого обмена, изменение которого может находить свое выражение в развитии артериальной гипертензии. Водный обмен в организме человека представляет собой сложный и жизненно важный процесс, обеспечивающий поддержание стабильного гомеостаза. Он включает множество взаимосвязанных механизмов, которые позволяют организму адаптироваться к изменяющимся условиям окружающей среды, а так же поддерживать оптимальный уровень жидкости в организме. Важнейшую роль в водно-солевом обмене играют почки, которые функционируют как фильтры, очищая кровь от лишней воды и токсинов, формируют мочу. Основным гормоном, регулирующим функцию почек, является антидиуретический гормон (АДГ), который вырабатывается в гипоталамусе и секретируется из задней доли гипофиза. При обезвоживании организма уровень АДГ повышается, что усиливает реабсорбцию воды в почечных канальцах и приводит к уменьшению объема выделяемой мочи и сохранению жидкости в организме. Целью работы явилось важность оценить характер зависимости между показателями артериального давления и фильтрационной способностью почек у людей смешанного возрастного состава. В ходе исследования установлено, что с возрастом происходит повышение артериального давления, наблюдается снижение минутного диуреза и почечной фильтрации. Прирост систолического давления в среднем составляет 5,3 мм рт. ст., для диастолического давления это показатель составляет 2,4 мм рт. ст., увеличение градиента верхнего давления в среднем отмечено в 17%, нижнего давления – в 20%. Между значениями показателей почечной фильтрации и артериального давления имеет место низкая степень связи ( $p < 0,01$ ). Увеличение

градиента давления не дает линейного роста скорости кровотока, что позволяет поддерживать стабильный уровень фильтрации в диапазоне давления 60-180 мм рт. ст. Математическим выражением отклика системы кровообращения нефрона, как структурно-функциональной единицы почки, является логистическая кривая с точкой перегиба 75 мм. рт. ст. и плато насыщения 1 л/мин.

**Ключевые слова:** почечная фильтрация, артериальное давление, минутный диурез

**Для цитирования:** Дроздов Д.Н., Суднеко А.А. Анализ динамики почечной фильтрации и артериального давления в возрастном аспекте // Вестник Башкирского государственного педагогического университета им. М.Акмиллы. Серия: Естественные науки. 2025. №2. С. 23-32.

## BIOLOGICAL SCIENCES

Original article

### ANALYSIS OF THE DYNAMICS OF RENAL FILTRATION AND BLOOD PRESSURE IN THE AGE ASPECT

*Denis Nikolaevich Drozdov<sup>1</sup>, Anna Alexandrovna Sudneko<sup>2</sup>*

*<sup>1,2</sup>Gomel State Medical University, Gomel, Republic of Belarus*

*<sup>1</sup>dndrosdow@mail.ru*

*<sup>2</sup>sudneko.a@yandex.ru*

**Abstract.** The kidneys, which function as filters, purify the blood from excess water and toxins, and form urine, play an important role in water-salt metabolism. The main hormone regulating kidney function is antidiuretic hormone (ADH), which is produced in the hypothalamus and secreted from the posterior pituitary gland. When the body is dehydrated, the level of ADH increases, which increases the reabsorption of water in the renal tubules and leads to a decrease in the volume of urine secreted and the preservation of fluid in the body. The aim of the study was to assess the nature of the relationship between blood pressure and kidney filtration capacity in people of mixed age composition. The study found that with age there is an increase in blood pressure, there is a decrease in minute diuresis and renal filtration. The increase in systolic pressure averages 5.3 mmHg, for diastolic pressure this indicator is 2.4 mmHg, an increase in the gradient of upper pressure is noted on average at 17%, lower pressure – at 20%. There is a low degree of correlation between the values of renal filtration and blood pressure ( $p < 0.01$ ). An increase in the pressure gradient does not give a linear increase in blood flow velocity, which allows maintaining a stable filtration level in the pressure range of 60-180 mmHg. The mathematical expression of the response of the circulatory system of the

nephron, as a structural and functional unit of the kidney, is the logistic curve with an inflection point of 75 mmHg and a saturation plateau of 1 l/min.

**Key words:** renal filtration, blood pressure, minute diuresis

**For citing:** Drozdov D.N., Sudneko A.A. Analysis of the dynamics of renal filtration and blood pressure in the age aspect // Bulletin of the Bashkir State Pedagogical University named after M.Akmully. Series: Natural Sciences. 2025. No2. pp. 23-32.

**Введение.** Водный обмен в организме человека представляет собой сложный и жизненно важный процесс, обеспечивающий поддержание стабильного гомеостаза [1]. Он включает множество взаимосвязанных механизмов, которые позволяют организму адаптироваться к изменяющимся условиям окружающей среды и поддерживать оптимальный уровень жидкости в организме. Известно, что более 20% жидкости в организме взрослого человека находится внутри клеток тела, остальная часть находится в интерцеллюлярном пространстве, кровеносном и лимфатическом русле, в полостях тела [2, 3].

Помимо АДГ, важную роль в регуляции водного обмена играет ренин-ангиотензин-альдостероновая система (РААС) [4]. Когда уровень жидкости в организме снижается, активируется РААС, что приводит к выработке альдостерона. Этот гормон способствует увеличению реабсорбции натрия и воды в почках, что, в свою очередь, повышает объем жидкости в организме. Таким образом, гормональная регуляция является ключевым механизмом, позволяющим организму поддерживать водный баланс [5-6].

Потребление воды и потеря жидкости через потоотделение также оказывают значительное влияние на водный баланс. В условиях высокой температуры или физической активности потоотделение увеличивается, что ведет к дегидратации, если не восполнять потерю жидкости. На контроле состояния водного баланса в организме человека в составе гипоталамуса функционирует центр жажды – латеральное ядро, которое активируется при увеличении осмолярности крови при обезвоживании и отвечает за ощущение жажды и мотивацию к потреблению воды [7]. В ответ на активацию этого центра организм начинает искать и восполнять недостаток жидкости, что помогает поддерживать водный баланс.

Состояние водного баланса в организме человека находит свое выражение в различных физиологических показателях, в том числе и в показателях гемодинамики. Исследования [8] показывают, что нарушения водного баланса оказывают характерное влияние на регуляцию артериального давления и способствуют развитию состояния артериальной гипертензии. Нарушение функции почек ведет

к задержке жидкости в организме, увеличению объема циркулирующей жидкости в кровяном русле, росту минутного объема крови. Ответной реакцией на эти изменения является запуск местных механизмов регуляции, в том числе повышение уровня альдостерона, миогенное сужение артериол, повышение периферического сопротивления сосудов [9].

Цель работы: оценить характер зависимости между показателями артериального давления и фильтрационной способностью почек у людей смешанного возрастного состава.

***Теоретико-методологические основы и методы исследования***

Исследование проводилось на базе кафедры анатомии человека с курсом оперативной хирургии и топографической анатомии УО «ГомГМУ» и ГУЗ ГКБ Скорой медицинской помощи. В ходе исследования были обследованы 80 человек в возрасте от 30 до 75 лет, в т.ч. 50 женщин и 30 мужчин. Определяли уровень артериального давления, проводился забор венозной крови и суточной мочи для определения содержания креатинина в плазме и моче. Креатинин постоянно находится в плазме в концентрации ( $P_k$ ) 60 – 130 мкмоль/л, он фильтруется вместе с плазмой в клубочках, совершенно не реабсорбируется и, не секретирясь в канальцах. В ходе реабсорбции моча сгущается, а концентрация креатинина оказывается равной  $U_k$ . Поэтому, выделенная за единицу времени моча, содержит столько креатинина, сколько за это время фильтруется в первичной моче [10]. Исходя из установленной закономерности, произведен расчет величины концентрации креатинина в моче (1) и скорости клубочковой фильтрации (2):

$$U_k \cdot Y = P_k \cdot F, (1)$$

где  $Y$  – диурез мл/мин,  $F$  – клубочковая фильтрация, мл/мин,  $P_k$  – концентрация креатинина в плазме, ммоль/л,  $U_k$  – концентрация креатинина в моче, ммоль/л

$$F = U_k / P_k \cdot Y (2)$$

Для статистической обработки и анализа результатов исследования применялись стандартные методы описательной и вариационной статистики. Проведена проверка однородности, осуществлена проверка на нормальность распределения с использованием теста Колмогорова-Смирнова [11]. Оценены параметры центральной тенденции и меры разброса, статистическая мощность тестов оценена для подтверждения надежности полученных данных. В ходе статистического анализа установлено, что данные артериального давления не соответствуют нормальному

распределению, имеет место левостороннее смещение распределения, близкое к логнормальному виду. Это указывает на наличие большего количества значений, сосредоточенных в верхней части шкалы распределения – значения показателей артериального давления у людей старше 50 лет оказывают значимое влияния на смещение распределения. Обработка статистических данных выполнена с помощью программного обеспечения Statistica for Windows 10.0.

В ходе анализа данных установлены средние значения артериального давления, разброс значений скорости клубочковой фильтрации и минутного диуреза. В табл. 1 представлены параметры центральной тенденции и мер разброса (стандартное отклонение и коэффициент вариации) анализируемых показателей.

*Таблица 1.*

Показатели распределения анализируемых данных

Показатель	$M \pm m_x$	SD	C, %
Минутный диурез, мл/мин	75,0±5,6	50,1	67
Клубочковая фильтрация, мл/мин	115,6±8,7	77,8	68
САД, мм.рт.ст.	156,5±10,8	141,3	102
ДАД, мм.рт.ст	94,5±15,8	96,6	90

Из таблицы видно, что выборка наиболее однородна по показателям минутного диуреза и скорости клубочковой фильтрации. В данном случае это наиболее устойчивые показатели, которые менее других подвержены влиянию возрастных изменений. Вместе с тем, скорость клубочковой фильтрации в возрастном аспекте может быть подвержена возрастным изменениям, которые связаны со снижением числа нефронов, ригидностью кровеносных сосудов, утолщением стенок сосудов, развитию различных хронических заболеваний, которые могут негативно влиять на функцию почек и возрастное изменение гормонального фона.

Данные распределения показателей артериального давления свидетельствуют о том, что систолическое и диастолическое давление имеет более чем в 1,5 раза больший разброс значений, чем показатели почечной фильтрации. Это можно объяснить тем, что показатели артериального давления регулируется разными системами и механизмами, которые могут быть менее эффективными с возрастом [12]. Это может приводить к повышению давления, в то время как почечная фильтрация напрямую не реагирует на такие изменения. В

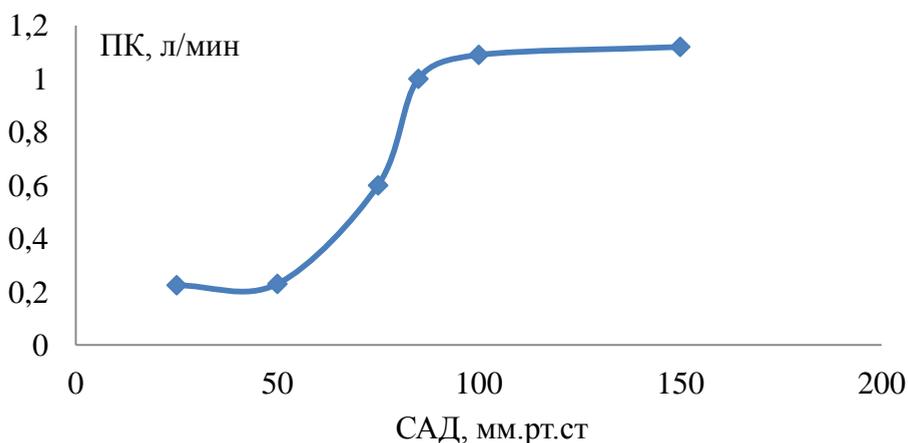
почках срабатывает механизм автономной регуляции, позволяющий адаптироваться к изменениям в артериальном давлении и поддерживать фильтрацию в нужных границах. Анализ возрастных данных групп показал, что снижение суточного диуреза в разных возрастных группах составляет менее 5%, на такую же величину происходит снижение скорости клубочковой фильтрации.

Средняя скорость увеличения давления в популяции европейцев значительно варьирует в зависимости от множества факторов, по данным Всемирной организации здравоохранения среднее артериальное давление увеличивается на 2-3 мм рт. ст. в год [13]. Исходя из данных табл.1 видно, что показатели систолического давления у данной группы в среднем выше верхней границы нормы, что указывает на присутствие в выборке лиц с артериальной гипертензией. Анализ возрастных данных групп показал, что прирост систолического давления составляет 5,3 мм рт. ст., диастолического давления 2,4 мм рт. ст. за 5 лет. С возрастом отмечается увеличение градиента верхнего давления в среднем на 17%, нижнего давления – на 20%.

В результате оценки корреляционной связи [14] между показателями минутного диуреза и скорости клубочковой фильтрации показателей артериального давления установлено, что между значением минутного диуреза и систолическим давлением зависимость составляет  $-0,32$  ( $p=0,003$ ), диастолическим давлением  $-0,36$  ( $p=0,001$ ). Между скоростью клубочковой фильтрации и систолическим давлением  $-0,21$  ( $p=0,061$ ), диастолическим давлением  $-0,18$  ( $p=0,11$ ). Имеет место низкая степень связи между показателями артериального давления и почечной фильтрации. Увеличение градиента системного давления не приводит к увеличению кровотока в фильтрующем аппарате почек из-за механизма автогеморегуляции, позволяющему поддерживать стабильный уровень фильтрации в широком диапазоне давления от 60 до 180 мм рт. ст. В данном случае только лица старше 70 лет имели давление выше 180 мм рт. ст. Повышение давления в диапазоне 140-150 мм. рт. ст. незначительно отразилось на процессе фильтрации.

В работе [15] R.N. Sladen и D. Landry показали, что почечный кровоток остается постоянным в ответ на изменения среднего почечного давления в приносящих артериях с диапазоном колебания от 85 до 200 мм рт. ст. Это явление объясняется динамикой резистентности приносящих и выносящих клубочковых артериол. Однако при артериальном давлении ниже 70 мм рт. ст. динамика резистентности клубочковых артериол зависит от комбинации вазодилатации и констрикции, которые обуславливают простагландины, оксид азота (II) и ангиотензин II. Используя зависимость почечного кровотока и артериального давления, согласно

Stein J.H. (Regulation of the renal circulation. *Kidney Int.* 1990; 38:571), а также данные нашего исследования, получена логистическая кривая оценки скорости кровотока в связи с динамикой систолического артериального давления (рис. 1).



*Рис.1.* Логистическая кривая

Из рис. 1 видно, что динамика почечного кровотока принимает нелинейный логистический характер с плато насыщения в области 1 л/мин. Точка перегиба, где кривая скорости кровотока меняется с ускорения на замедление роста, соответствует 75 мм рт. ст. Максимальный темп роста наблюдается на отрезке 50–80 мм рт. ст., затем происходит резкое замедление скорости кровотока, включается механизм авторегуляции, который, прежде всего, обусловлен спазмом эфферентных артериол почечного клубочка.

**Закключение.** Таким образом, в ходе исследования установлено, что с возрастом происходит повышение артериального давления, снижается минутный диурез и почечная фильтрация. Прирост систолического давления в среднем составляет 5,3 мм рт. ст., диастолического давления 2,4 мм рт. ст., увеличение градиента верхнего давления в среднем составляет 17%, нижнего давления – 20%. Между значениями показателей почечной фильтрации и артериального давления имеет место низкая степень связи ( $p < 0,01$ ). Увеличение градиента давления не дает линейного роста скорости кровотока, что позволяет поддерживать стабильный уровень фильтрации в диапазоне давления 60–180 мм рт. ст. Математическим выражением отклика системы кровообращения нефрона почки является логистическая кривая с точкой перегиба 75 мм. рт. ст и плато насыщения 1 л/мин.

## СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Алексина Ю.В. Возрастная динамика артериального давления и почечной фильтрации // Творчество молодых, 2017. Ч. 1. С. 7-10.
2. Манак Н.А. Руководство по кардиологии. Минск: Беларусь, 2003. С. 546
3. Зерчанинова Е.И. Физиология мочевыделительной системы // Медицинский Вестник. 2010. №2. 56 с.
4. Голышенков С.П. Физиология крови. Система гомеостаза и при мышечной деятельности и в покое. Саранск, 2004.
5. Физиология и нарушения водно-солевого обмена: метод. мат. к практ. и сем. зан. / Н.М. Батырханова [и др.]. КазМУНО.
6. Шалыгин Л.Д. Современные представления о механизмах регуляции артериального давления // Вестник Национального медико-хирургического Центра им. Н.И. Пирогова, 2015. т.10. №2.
7. Попова М.Г., Лущик М.В., Дугушева В.А. Зависимость уровня скорости клубочковой фильтрации от возраста пациента // European Journal of Natural History. 2023. № 6. С. 9-12.
8. Гайтон А.К. Медицинская физиология / А.К. Гайтон, Дж.Э. Холл; под ред. В.И. Кобрин. М.: Логосфера, 2008. 1296 с.
9. Вандер А. Физиология почек / А. Вандер. СПб: Издательство «Питер», 2000. 256 с.
10. Камышников В.С. Клинико-биохимическая лабораторная диагностика: Справочник: В 2 т. Т.1. Мн.: Интерпрессервис, 2003. С. 308-316
11. Крохалев В.Я. Статистика: учеб. пособие / Екатеринбург: Изд-во УГМУ, 2018. 114 с.
12. Праскурничий Е.А. Артериальные гипертензии при хронической болезни почек: пособие / М.: ФГБУ ГНЦ, 2020.
13. Чазова И.Е., Чихладзе Н.М. Евразийские клинические рекомендации по диагностике и лечению вторичных (симптоматических) форм артериальной гипертонии// Евразийский Кардиологический Журнал, 2023. Выпуск 1. С. 6-65.
14. Банерджи А. Медицинская статистика понятным языком: вводный курс / М.: Практическая медицина, 2014. 287 с.
15. Chobanian A.V., Bakris G.L., Black H.R., et al. Joint National Committee on Prevention, Detection, Evaluation, and Treatment of High Blood Pressure. National High Blood Pressure Education Program Coordinating Committee. Seventh Report of the Joint National Committee on prevention, detection, evaluation, and treatment of high blood pressure. Hypertension 42:1206, 2003.

## REFERENCES

1. Aleksina Yu.V. Age-related dynamics of blood pressure and renal filtration // Creativity of the young, 2017. Part 1. pp. 7-10.
2. Manak N.A. Manual of Cardiology. Minsk: Belarus, 2003. p. 546
3. Zerchaninova E.I. Physiology of the urinary system // Medical Bulletin. 2010. No. 2. 56 p.
4. Golyshenkov S.P. Physiology of blood. The system of homeostasis both during muscular activity and at rest. Saransk, 2004.
5. Physiology and disorders of water-salt metabolism: method. mat. to practice. and this. zan. / N.M. Batyrkhanova [et al.]. KazMUNO.
6. Shalygin L.D. Modern ideas about the mechanisms of blood pressure regulation // Bulletin of the National Medical and Surgical Center named after N.I. Pirogov, 2015, vol. 10, No. 2.
7. Popova M.G., Luschik M.V., Dugusheva V.A. The dependence of the glomerular filtration rate on the patient's age // European Journal of Natural History. 2023. No. 6. pp. 9-12.
8. Gaiton A.K. Medical physiology / A.K. Gaiton, J.E. Hall; edited by V.I. Kobrin. Moscow: Logosphere, 2008. 1296 p.
9. Vander A. Physiology of kidneys / A. Vander. St. Petersburg: Peter Publishing House, 2000. 256 p.
10. Kamyshnikov V.S. Clinical and biochemical laboratory diagnostics: Reference book: In 2 vols. Vol. 1. Mn.: Interpresservice, 2003. pp. 308-316
11. Krokhaliev V.Ya. Statistics: textbook. manual / Yekaterinburg : Publishing house of UGMU, 2018. 114 p.
12. Praskurnichy E.A. Arterial hypertension in chronic kidney disease: a manual / M.: FGBI SSC, 2020.
13. Chazova I.E., Chikhladze N.M. Eurasian clinical guidelines for the diagnosis and treatment of secondary (symptomatic) forms of arterial hypertension // Eurasian Journal of Cardiology, 2023. Issue 1. pp. 6-65.
14. Banerjee A. Medical statistics in an understandable language: an introductory course.
15. Chobanian A.V., Bakris G.L., Black H.R., et al. Joint National Committee on Prevention, Detection, Evaluation, and Treatment of High Blood Pressure. National High Blood Pressure Education Program Coordinating Committee. Seventh Report of the Joint National Committee on prevention, detection, evaluation, and treatment of high blood pressure. Hypertension 42:1206, 2003.

***Информация об авторах***

***Д.Н. Дроздов*** – кандидат биологических наук, доцент;

***А.А. Суднеко*** – старший преподаватель кафедры анатомии человека с курсом оперативной хирургии и топографической анатомии.

***Information about the authors***

***D.N. Drozdov*** – Candidate of Biological Sciences, Associate Professor;

***A.A. Sudneko*** – Senior Lecturer, Department of Human Anatomy with a Course in Operative Surgery and Topographic Anatomy.

*Статья поступила в редакцию 03.03.2025; принята к публикации 01.04.2025.*

*The article was submitted 03.03.2025; accepted for publication 01.04.2025.*

## БИОЛОГИЧЕСКИЕ НАУКИ

Научная статья

УДК 581.4:582.998.2

DOI 10.21510/3034-266X-2025-2-33-38

### СТРУКТУРА МОРФОЛОГИЧЕСКОЙ ИЗМЕНЧИВОСТИ *CICHORIUM INTYBUS L.*

*Эльвира Исмагиловна Кутлугильдина<sup>1</sup>, Светлана Айратовна  
Гареева<sup>2</sup>*

*<sup>1,2</sup>Башкирский государственный педагогический университет  
им. М. Акмуллы, Уфа, Россия,  
<sup>1,2</sup>gareeva.s.a@bspu.ru*

**Аннотация.** В настоящей работе проведен анализ организации морфологической вариативности *Cichorium intybus L.*, демонстрирующий значимость характеристик морфологического строения в качестве индикаторов состояния растения. Результаты показали, что в условиях усиления стрессового воздействия растительный организм перераспределяет ресурсы, направляя больший объем энергии и питательных веществ на формирование и развитие корневой системы. В то же время, при благоприятных условиях окружающей среды приоритетным становится развитие надземных органов, что особенно ярко проявляется в увеличении высоты стебля. Данное перераспределение ресурсов отражает адаптивную стратегию вида, позволяющую ему оптимизировать рост и развитие в зависимости от внешних факторов.

**Ключевые слова:** морфологическая изменчивость, адаптация, онтогенез, *Cichorium intybus L.*

**Для цитирования:** Кутлугильдина Э.И., Гареева С.А. Структура морфологической изменчивости *Cichorium intybus L.* // Вестник Башкирского государственного педагогического университета им. М. Акмуллы. Серия: Естественные науки. 2025. №2. С. 33-38.

## BIOLOGICAL SCIENCES

Original article

### STRUCTURE OF MORPHOLOGICAL VARIABILITY IN *CICHORIUM INTYBUS L.*

*Elvira Ismagilovna Kutlugildina<sup>1</sup>, Svetlana Airatovna Gareeva<sup>2</sup>*

*<sup>1,2</sup>M. Akmulla Bashkir State Pedagogical University, Ufa, Russia,  
<sup>1,2</sup>gareeva.s.a@bspu.ru*

**Abstract.** In this paper, an analysis of the organization of the morphological variability of *Cichorium intybus* L. is carried out, demonstrating the importance of the studied characteristics of the morphological structure as indicators of the plant's condition. The results showed that under conditions of increased stress, the plant organism redistributes resources, directing more energy and nutrients to the formation and development of the root system. At the same time, under favorable environmental conditions, the development of aboveground organs becomes a priority, which is especially pronounced in increasing the height of the stem. This redistribution of resources reflects the adaptive strategy of the species, which allows it to optimize growth and development depending on external factors.

**Key words:** morphological variability, adaptation, ontogenesis, *Cichorium intybus* L.

**For citing:** Kutlugildina E.I., Gareeva S.A. Structure of morphological variability in *Cichorium intybus* L. // Bulletin of Bashkir State Pedagogical University named after M. Akmulla. Series: Natural Sciences. 2025. No2. pp. 33-38.

Изменчивость – это способность живых существ проявляться в различных формах [1]. В научной среде исторически доминировал фокус на исследование генетически обусловленных признаков, рассматриваемых как ключевой фактор адаптации и формирования устойчивости потомства. Тем не менее, работы, выполненные Гаузе в 1940-1941 гг., продемонстрировали существенную роль адаптивных модификаций в обеспечении выживаемости организмов в условиях неизменной окружающей среды. Однако, при возникновении изменений, индивидуальные различия между организмами и их комбинации начинают играть более важную роль в процессе адаптации.

Для получения полного представления о поведенческих особенностях видов в рамках экосистемы требуется всестороннее исследование модификационных и генетических изменений. В рамках данного проекта предлагается применение растительных организмов, обладающих выраженной способностью к адаптации, как объектов для углубленного анализа. Фенотипические признаки этих объектов подвергаются трансформациям под влиянием экологических факторов и окружающей среды, что создает возможность для осуществления корреляционного анализа между биологическими процессами и внешними параметрами.

Изучение взаимосвязи между общей изменчивостью и согласованностью морфологических признаков составляет суть метода анализа вариабельности. Этот метод позволяет оценить адаптивную

значимость изучаемых признаков и выявить воздействие различных факторов на их становление и работу [2].

Иными словами, анализ вариабельности морфологических характеристик подразумевает исследование корреляций между изменчивостью в целом и координированными изменениями конкретных параметров. Посредством такого подхода становится возможным оценить адаптивное значение рассматриваемых признаков, а также определить, как те или иные факторы влияют на их формирование и функционирование [2].

В рамках настоящего исследования рассматривался вид *Cichorium intybus* L., принадлежащий к семейству Asteraceae (Сложноцветные). Данный род включает в себя десять видов, произрастающих в умеренных и субтропических климатических зонах, охватывающих территории Евразии и Африки.

Представители этого рода встречаются в различных регионах, включая Европу, Аравийский полуостров, а также Северную и Восточную Африку [5]. Цикорий обыкновенный широко распространён на европейской территории России, на Кавказе, в Сибири и на Дальнем Востоке, где он классифицируется как инвазивный вид [4].

Целью работы было изучение изменчивости морфологических признаков *Cichorium intybus* L. В период с июля по август 2024 г. было проведено исследование пяти образцов, взятых на территории г. Уфы. Каждый образец содержал по 25 экземпляров растения *Cichorium intybus* L. У каждого растения были измерены длина растения, длина корня, длина флоральной зоны, число междуузлий, количество боковых побегов, длина и ширина листовой пластинки. Исследование проведено с применением метода Н.С.Ростовой [2] и программного обеспечения Microsoft Excel и STATISTICA 6.0. Признаки были организованы в пространстве общей и согласованной вариабельности, что обеспечило проведение комплексного анализа данных (рис. 1).

Показатель «диаметр соцветия» демонстрирует незначительную общую изменчивость и умеренную согласованную изменчивость, что позволяет рассматривать его как надежный генетический маркер, аналогичный биологическому индикатору. В рамках изученного вида не выявлено признаков, отличающихся высокой степенью генетической детерминации.

Экологические индикаторы, в частности «длина корня», «число междуузлий», «количество боковых побегов», а также размеры листовой пластинки (длина и ширина), характеризуются относительно высокой общей изменчивостью и низкой согласованной изменчивостью. Данное наблюдение указывает на значительную адаптивность исследуемых организмов к различным условиям

окружающей среды, что позволяет более детально изучать их реакцию на экологические факторы в экосистеме.

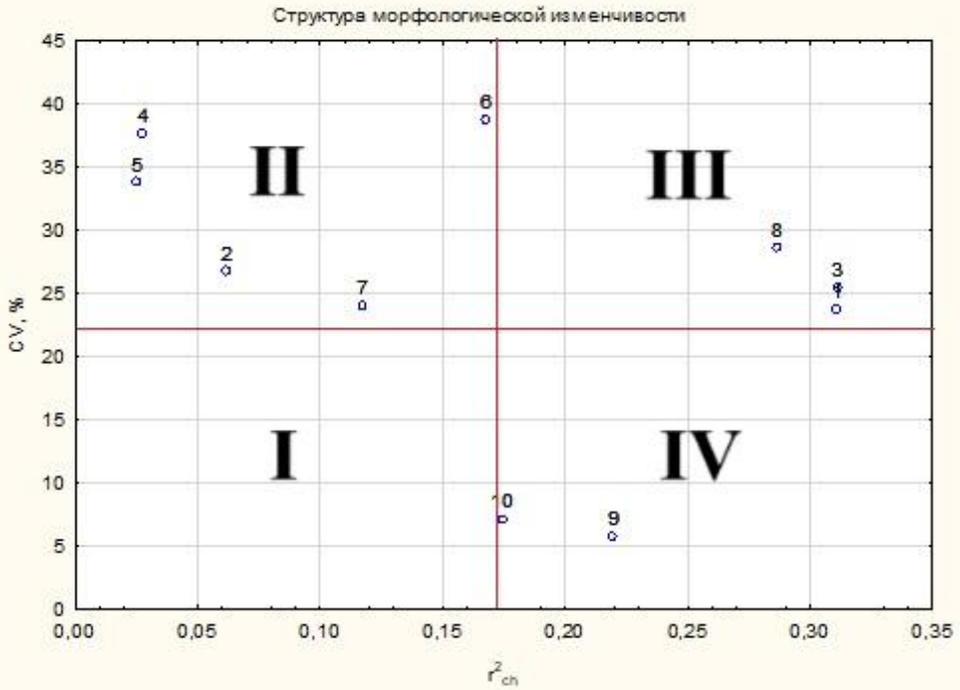


Рис. 1. Структура изменчивости морфологических признаков вида *Cichorium intybus* L. (усредненные данные по 5 выборкам). Морфологические признаки: 1 – длина растения, 2 – длина корня, 3 – длина флоральной зоны, 4 – число междоузлий, 5 – количество боковых побегов, 6 – длина листовой пластинки, 7 – ширина листовой пластинки, 8 – количество соцветий, 9 – количество цветков в соцветии, 10 – диаметр соцветия. Индикаторы: I – генетические, II – экологические, III – эколого-биологические, IV – биологические системные. По оси ординат – общая изменчивость (CV, %), по оси абсцисс – согласованная изменчивость ( $r^2_{ch}$ )

Эколого-биологические (системные) индикаторы, такие как «длина растения», «длина флоральной зоны» и «количество соцветий», демонстрируют высокие значения как общей, так и согласованной изменчивости, что свидетельствует о понимании механизмов адаптации растений. Полученные данные могут быть полезны в дальнейших исследованиях в области экологии и ботаники.

Показатель «количество цветков в соцветии», относящийся к биологическим индикаторам, характеризуется низкой общей и высокой согласованной изменчивостью. Указанные характеристики могут свидетельствовать о стабильности данного признака в условиях генетических ограничений.

Изучение показало, что цикорий обыкновенный способен выступать в роли нежелательной растительности, оказывающей негативное воздействие на урожайность зерновых культур, таких как пшеница, рожь, ячмень и овес. Кроме того, он засоряет посевы люцерны, хлопчатника и прочих агрокультур. Данный сорный вид широко встречается на луговых территориях, пастбищных угодьях, сельскохозяйственных полях и придорожных зонах.

### СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Гаузе Г.Ф. Роль приспособляемости в естественном отборе [Текст] / Гаузе Г.Ф. // Ботанический журнал. – 1940. – Т.1. – №1. – С. 105–120.
2. Ростова Н.С. Корреляции: структура и изменчивость [Текст] / Ростова Н.С. Монография. – СПб. – 2002. – С. 308.
3. Сафаргалина А.Т. Проявления стратегий жизни *Atriplex patula* L. в онтогенезе / А.Т. Сафаргалина, С.А. Хусаинова, А.Р. Ишбирдин // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. – 2011. – Т. 13, № 5-2. – С. 112-114. – EDN PWMNED.
4. Цикорий. Большая энциклопедия [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://bigenc.ru/c/tsikorii-f4a200?ysclid=m4nxrefsqt180016556> – Дата обращения: 14.03.2024.
5. Samela Draga, Giovanni Gabelli, Fabio Palumbo, Gianni Barcaccia. Genome–Wide Datasets of Chicories (*Cichorium intybus* L.) for Marker–Assisted Crop Breeding Applications: A Systematic Review and Meta–Analysis. Int. J. Mol. Sci. 2023, 24(14).

### REFERENCES

1. Gauze G.F. Rol' prisposoblyaemosti v estestvennom otbore [Tekst] / Gauze G.F. // Botanicheskij zhurnal. – 1940. – T.1. – №1. – S. 105–120.
2. Rostova N.S. Korrelyacii: struktura i izmenchivost' [Tekst] / Rostova N.S. Monografiya. – SPb. – 2002. – S. 308.
3. Safargalina A.T. Proyavleniya strategij zhizni atriplex patula l. v ontogeneze / A.T. Safargalina, S.A. Husainova, A.R. Ishbirdin // Izvestiya Samarskogo nauchnogo centra Rossijskoj akademii nauk. – 2011. – T. 13, № 5-2. – S. 112-114. – EDN PWMNED.
4. Cikorij. Bol'shaya enciklopediya [Elektronnyj resurs]. – Rezhim dostupa: <https://bigenc.ru/c/tsikorii-f4a200?ysclid=m4nxrefsqt180016556> – Data obrashcheniya: 14.03.2024.
5. Samela Draga, Giovanni Gabelli, Fabio Palumbo, Gianni Barcaccia. Genome–Wide Datasets of Chicories (*Cichorium intybus* L.) for Marker–Assisted Crop Breeding Applications: A Systematic Review and Meta–Analysis. Int. J. Mol. Sci. 2023, 24(14).

***Информация об авторах***

***Э.И. Кутлугильдина*** – студент;

***С.А. Гареева*** – кандидат биологических наук.

***Information about the authors***

***E.I. Kutlugildina*** – Student;

***S.A. Gareeva*** – Candidate of Biological Sciences.

*Статья поступила в редакцию 06.05.2025; принята к публикации 02.06.2025.*

*The article was submitted 06.05.2025; accepted for publication 02.06.2025.*

## БИОЛОГИЧЕСКИЕ НАУКИ

Научная статья

УДК 58.071

DOI 10.21510/3034-266X-2025-2-39-50

### ВЛИЯНИЕ СУСПЕНЗИИ ВОДОРΟΣЛЕЙ НА РАЗВИТИЕ ПРОРОСТКОВ САЛАТНЫХ ОВОЩНЫХ КУЛЬТУР

*Эмма Александровна Факаетдинова<sup>1</sup>, Сейил Батырович Бешеров<sup>2</sup>, Кристина Руслановна Бугрова<sup>3</sup>, Аделина Ильгизовна Мухаметьярова<sup>4</sup>, Альфия Ильсуровна Фазлутдинова<sup>5</sup>*  
*<sup>1,2,3,4,5</sup>Башкирский государственный педагогический университет им. М. Акмуллы, Уфа, Россия*  
*alfi05@mail.ru*

**Аннотация.** В статье представлены результаты изучения влияния суспензий водорослей *Chlorella vulgaris* и *Klebsormidium sp.* на всхожесть семян и развитие проростков растений салатных овощных культур, а также описаны методические рекомендации по использованию биопрепаратов на основе микроводорослей.

**Ключевые слова:** суспензия водорослей, *Chlorella vulgaris*, *Klebsormidium sp.*, прорастание семян, всхожесть семян, салатные овощные культуры

**Для цитирования:** Факаетдинова Э.А., Бешеров С.Б., Бугрова К.Р., Мухаметьярова А.И., Фазлутдинова А.И. Влияние суспензии водорослей на развитие проростков салатных овощных культур // Вестник Башкирского государственного педагогического университета им. М. Акмуллы. Серия: Естественные науки. 2025. №2. С. 39-50.

## BIOLOGICAL SCIENCES

Original article

### THE EFFECT OF ALGAL SUSPENSION ON THE DEVELOPMENT OF SEEDLINGS IN LEAFY VEGETABLE CROPS

*Emma Aleksandrovna Fakaetdinova<sup>1</sup>, Seyil Batyrovich Beshеров<sup>2</sup>, Kristina Ruslanovna Bugrova<sup>3</sup>, Adelina Ilgizovna Mukhametyarova<sup>4</sup>, Alfiya Ilisurovna Fazlutdinova<sup>5</sup>*  
*<sup>1,2,3,4,5</sup>Bashkir State Pedagogical University named after M. Akmulla, Ufa, Russia*  
*alfi05@mail.ru*

**Abstract.** The article presents the results of a study on the effect of *Chlorella vulgaris* and *Klebsormidium* sp. algal suspensions on seed germination and seedling development in leafy vegetable crops. Methodological recommendations for the use of microalgae-based biopreparations are also described.

**Keywords:** algal suspension, *Chlorella vulgaris*, *Klebsormidium* sp., seed germination, seed viability, leafy vegetable crops

**For citation:** Fakaetdinova E.A., Besharov S.B., Bugrova K.R., Mukhametyarova A.I., Fazlutdinova A.I. The effect of algal suspension on the development of seedlings in leafy vegetable crops // Bulletin of Bashkir State Pedagogical University named after M. Akmulla. Series: Natural Sciences. 2025, No 2, pp. 39-50.

Население земли в ближайшие годы будет увеличиваться очень быстрыми темпами, поэтому существующий огромный спрос на продовольствие будет неуклонно расти. Повышение урожайности возделываемых культур становится приоритетом в сельском хозяйстве, и это дает органическим и органоминеральным удобрениям прекрасную возможность доказать свою ценность и преимущества [2].

Научные исследования показывают, что органические и органоминеральные удобрения занимают более скромную нишу по сравнению с химическими удобрениями. Эти природные удобрительные смеси производятся в относительно незначительных количествах и реализуются на ограниченном рынке. В агрокультурном секторе их внедрение наблюдается как в выращивании широкого спектра сельскохозяйственных культур, так и в заботе о растениях, требующих особого подхода. Особенно они эффективны в интенсивном земледелии, где фокусируются на повышении продуктивности с тем же количеством земли.

Главное отличие и преимущество органических удобрений от минеральных удобрений заключается в том, что помимо питания самого растения, они улучшают структуру почвы. Минеральные удобрения, наоборот, быстро отдают элементы растениям и стимулируют их рост, но наносят вред почве. Это приводит к необходимости постоянного внесения различных минеральных удобрений.

В настоящее время законы в области охраны защиты окружающей среды усилены во многих странах мира. И все больше людей стараются вести здоровый образ жизни, и происхождение продуктов, которые они употребляют, становится для них важным. Поэтому органические и органоминеральные удобрения имеют прекрасные перспективы для развития.

Удобрения из водорослей обладают неоспоримыми преимуществами перед другими видами подкормок. Например, в

удобрениях из водорослей количество азота значительно превосходят количество азота в том же навозе. На поверхности таких биологических удобрений содержится много азотфиксирующих бактерий, которые, попав в почву начинают активно работать и образуют тем самым доступные растениям азотистые соединения. Кроме того, содержание фосфора в водорослях значительно ниже. Однако этот недостаток вполне компенсируется суперфосфатом, который садоводы могут добавлять в компост. В состав таких удобрений входит калий в доступной форме. Он улучшает состояние растений. При этом по количеству этого компонента удобрение из водорослей ничуть не уступает калийным удобрениям. Калий из водорослей усваивается культурами гораздо быстрее, что также очень хорошо для их развития [1]. Помимо всего прочего, водоросли содержат очень много йода. А он в свою очередь играет не последнюю роль в вопросе урожайности сельскохозяйственных (и не только) культур. Йод повышает концентрацию питательных веществ в растении и защищает садово-огородные культуры от повреждений вредителями и болезнями. В частности, при выращивании томатов йод, входящий в состав водорослей, помогает снизить вероятность развития корневой гнили и мозаичных заболеваний.

Таким образом, интенсивное применение химических удобрений с целью выращивания сельскохозяйственных культур и ухода за посевами и урожаем приводит к тому, что окружающая среда загрязняется большим количеством токсичных веществ, в том числе пестицидов. Поэтому использование органических удобрений стало очень важным и получило большое распространение.

Исходя из выше сказанного целью данной работы является изучение влияния суспензий водорослей *Chlorella vulgaris* и *Klebsormidium* sp. на всхожесть семян и развитие проростков растений салатных овощных культур, а также разработать методические рекомендации по использованию биопрепаратов на основе микроводорослей.

**Материалы и методы.** Для исследования были взяты суспензии водорослей *Chlorella vulgaris* и *Klebsormidium* sp. Так же для полноты эксперимента были использованы среда Болда и смесь суспензий водорослей *Chlorella vulgaris* и *Klebsormidium* sp. в соотношении 1:1. Контрольной средой в эксперименте являлась питательная среда Болда.

*Основная среда Болда (Bold's Basal Media - BBM)* – это среда, которая широко используется для выращивания водорослей. От других сред она отличается использованием большого числа микроэлементов, что позволяет поддерживать жизнеспособность водорослей в течение длительного времени.

Среда BBM широко используется в разных модификациях: в

частности количество  $\text{NaNO}_3$  иногда увеличивают до 25 г (400 мл воды) (Среда ВВМ 3N (Болда 3N)).

Состав:

$\text{NaNO}_3$  0,75 г/л

$\text{KH}_2\text{PO}_4$  0,175 г/л

$\text{K}_2\text{HPO}_4 (\times 3\text{H}_2\text{O})$  0,075 (0,098) г/л

$\text{MgSO}_4 \times 7\text{H}_2\text{O}$  0,075 г/л

$\text{CaCl}_2 \times 2\text{H}_2\text{O}$  0,025 г/л

$\text{NaCl}$  0,025 г/л

$\text{FeSO}_4^*$  0,005 г/л

ЭДТА 0,05 г/л

раствор микроэлементов 1,0 мл

агар-агар 17,0 г/л

вода дистиллированная 1 литр

\* можно использовать раствор  $\text{Fe} + \text{ЭДТА}$  в концентрации 1 мл/л

#### **Приготовление специального раствора $\text{FeSO}_4$ и ЭДТА:**

В 134 мл 1N KOH растворить 30,2 г ЭДТА. Раствор разбавить водой, внести 24,9 г  $\text{FeSO}_4 \times 7\text{H}_2\text{O}$  и долить водой до 1 литра. Продуть раствор воздухом без  $\text{CO}_2$  в темноте в течение 12 часов. Чтобы избавиться от  $\text{CO}_2$ , воздух должен пройти через раствор щелочи.

#### **Пропись для раствора микроэлементов (в г/л):**

$\text{H}_3\text{BO}_3$  2,86

$\text{MnCl}_2 \times 4\text{H}_2\text{O}$  1,81

$\text{ZnSO}_4 \times 7\text{H}_2\text{O}$  0,222

$\text{MoO}_3$  0,018

$\text{NH}_4\text{VO}_3$  0,023

Материалом для работы являлись семена овощных салатных культур, а именно семена кресс-салата сорт «Широколистный» производителя «Сембат» и семена базилика сорта «Ред рубин», производителем которым является «Агрофирма Партнер». Были взяты семена в количества 20 шт. каждого вида. Опыт проводился в двукратной повторности.

На 3-е сутки, после замачивания проводили подсчет количества проросших семян. Далее высчитывали среднюю арифметическую и энергию прорастания. Средняя арифметическая определялась как отношение суммы проросших семян в 1-й и 2-й повторностях к общему числу семян.

На 6-е сутки проводили подсчет количества проростков в каждой чашке Петри. Далее проводили расчеты средней арифметической взошедших проростков и вычисляли всхожесть семян. В этот же день пересаживали проростки в универсальный грунт. Перед посадкой измеряли размеры длин проростков с помощью линейки и высчитывали среднюю длину растений (М).

На заключительном этапе эксперимента проводили статистическую обработку данных, необходимую для проверки достоверности проведенного эксперимента.

Полученное значение сравнивали с таблицей критических значений коэффициента Стьюдента (t-критерия).

Всхожесть и энергию прорастания семян определяли по следующей формуле:

$$A = v/V \times 100\%,$$

где А – всхожесть, энергия прорастания семян,

В – общее количество семян, взятых для проращивания,

v – количество проросших семян.

Для вычисления значения коэффициента Стьюдента (t-критерия) использовали следующие формулы:

1.  $M = \sum X_i / N$ , где М – средняя арифметическая,  $\sum X$  – сумма всех вариантов ряда, N – число объектов в группе (объем выборки).

2.  $mM = \sigma / \sqrt{N}$ , где mM – ошибка средней арифметической,  $\sigma$  – среднее квадратическое отклонение (сигма), N – объем выборки.

3.  $\sigma = \sqrt{\sum (X_i - M)^2 / N - 1}$ , где  $\sigma$  – среднее квадратическое отклонение (сигма),  $\sum$  – знак суммирования,  $X_i$  – варианты совокупности, М - средняя арифметическая, N – объем выборки.

4.  $V = \sigma / M * 100\%$ , где V – коэффициент вариации (%),  $\sigma$  – среднее квадратическое отклонение, М - средняя арифметическая.

5.  $t_b = M_1 - M_2 / m_1^2 + m_2^2$ , где t – критерий достоверности разницы, M1 - среднее арифметическое первой выборки, M2- среднее арифметическое второй выборки, m1 – ошибка средней арифметической первой выборки, m2 – ошибка средней арифметической второй выборки.

Вычисленный критерий  $t_b$ , сравнивают со стандартными значениями критериев  $t_b$ , которые определяют по таблице критериев Стьюдента с учетом заданного уровня значимости ( $P = 0,05$ ) и объема выборки. Если  $t_b > t_{st}$ , то разность достоверна с определенной надежностью. При  $t_b < t_{st}$ , т.е. вычисленный критерий меньше стандартного значения для выбранного порога вероятности, разность недостоверна.

**Использование суспензии микроводорослей для улучшения ростовых показателей салатных овощных культур.** На 3 день нами был произведен подсчет количества проросших семян во всех чашках. Рассчитали среднее количество всех проросших семян и вычислили энергию прорастания (табл.1).

Согласно полученным данным биопрепарат и суспензия *Klebsormidium* sp. оказывает стимулирующее действие и на кресс-салат, и на базилик. Энергия прорастания семян кресс-салата под влиянием биопрепарата составила 92,5% (на 10% больше, чем в контрольной среде).

Таблица 1.

Энергия прорастания семян кресс-салата и базилика на 3 день

Исследуемый раствор	Кресс-салат				Базилик			
	1 повт, шт	2 повт, шт	М, шт	Э, %	1 повт, шт	2 повт, шт	М, шт	Э, %
Среда Болда	17	16	16,5	82,5	17	17	17	85
Суспензия <i>Chlorella vulgaris</i>	16	18	17	85	17	18	17,5	87,5
Суспензия <i>Klebsormidium</i>	19	17	18	90	19	17	18	90
Биопрепарат	19	18	18,5	92,5	20	20	20	100

Примечание: М – средняя арифметическая количества проросших семян, Э-энергия прорастания семян.

Наибольшая энергия прорастания базилика оказалась у тех семян, которые так же обрабатывались биопрепаратом (энергия прорастания составила 100%). На 5-6 сутки эксперимента было замечено, что все семена активно прорастают. Корни, листья и стебли были сформированы.

На 6-е сутки было подсчитано число проростков во всех чашках (табл. 2).

Таблица 2.

Всхожесть семян кресс-салата и базилика на 6 день

Исследуемый раствор	Кресс-салат				Базилик			
	1 повт, шт	2 повт, шт	М, шт	В, %	1 повт, шт	2 повт, шт	М, шт	В, %
Среда Болда	16	16	16	80	16	15	15,5	77,5
Суспензия <i>Chlorella vulgaris</i>	17	18	17,5	87,5	17	17	17	85
Суспензия <i>Klebsormidium</i>	19	17	18	90	19	18	18,5	92,5
Биопрепарат	19	20	19,5	97,5	20	20	20	100

Примечание: М – средняя арифметическая количества проросших семян, В - всхожесть семян.

Увеличение всхожести семян продолжалось и на 6-й день. Число взошедших проростков с добавлением суспензии *Chlorella vulgaris* увеличилось на 1 шт., с биопрепаратом – на 2. Так же выявили, что всхожесть увечилась у ростков базилика в варианте с *Chlorella vulgaris* и *Klebsormidium* sp. На прораствание и всхожесть семян, лучше всего повлияли суспензия *Klebsormidium* sp. и биопрепарат.

Следующим этапом была высадка проростков в грунт. Перед посадкой у всех проростков были замерены длины (табл. 3).

Таблица 3.

Длина проростков кресс-салата на 6-е сутки

Среда Болда		Суспензия <i>Chlorella vulgaris</i>		Суспензия <i>Klebsormidium</i> sp.		Биопрепарат	
1-я повт, см	2-я повт, см	1-я повт, см	2-я повт, см	1-я повт, см	2-я повт, см	1-я повт, см	2-я повт, см
3,6	3,3	3,2	3,1	2,9	2,8	3,2	3,2
3	2,8	3	3	2,7	2,3	3,1	3,2
2,8	2	3,5	2,8	3,1	2,5	3,3	3
2	2,9	3,3	3,5	2,3	2,3	2,9	3,4
3,2	3,2	3	3	2	2,6	3	2,8
3	2,7	2,9	2,9	2,5	1,9	3,6	3,6
2,1	3,1	3,6	3,2	2,6	2,1	3,2	3,3
3,2	2	3,1	3	2,3	2	3,3	3
2,7	1,8	2,8	2,8	2,6	2,9	3,7	3,3
1,9	3,5	3,2	3,4	2,1	1,8	3,1	3,5
2,3	3,3	2,9	3,1	2,3	2,5	2,9	3
3,5	2,9	3,4	2,9	2,1	2,3	3,2	2,9
3	2	3,1	3,2	2	2,1	3,1	3,3
2,8	2,1	2,8	2,6	2,3	2,6	3,6	3,6
3,4	3,1	2,7	2,8	2,5	2,3	3,2	3,2
3,1	2,3	3,2	3,4	3	2,9	3,9	3,2
2	-	-	3,7	2,6	2,2	3	3
-	-	-	2,7	2,1	-	3	3,7
-	-	-	3,1	1,8	-	3,5	3,3
-	-	-	-	-	-	-	3,4
M1-2,8	M2-2,6	M1-3,1	M2-3	M1-2,4	M2-2,3	M1-3,2	M2-3,2
M= 2,7 см		M= 3,05 см		M= 2,35 см		M= 3,2 см	

Примечание: M1 – среднее значение длины проростков в первом контейнере; M2 – среднее значение длины проростков во втором контейнере, M – общее среднее значение длины проростков.

Наибольшими показателями средней длины проростков семян кресс-салата обладали пробы, обработанные *Chlorella vulgaris* (3,05 см), и биопрепаратом (3,2 см). Наименьшее значение средней длины было отмечено в эксперименте с добавлением суспензии *Klebsormidium* sp. (2,35).

Подобным образом измерили длины и вычислили среднюю длину проростков базилика (табл. 4).

Таблица 4.

Длина проростков базилика на 6-е сутки

Среда Болда		Суспензия <i>Chlorella vulgaris</i>		Суспензия <i>Klebsormidium</i>		Биопрепарат	
1-я повт, см	2-я повт, см	1-я повт, см	2-я повт, см	1-я повт, см	2-я повт, см	1-я повт, см	2-я повт, см
2,3	2,8	1,9	1,8	2	1,9	2	1,3
2,5	2,1	1,7	1,9	2,1	2	2,1	1,9
2,1	2,3	1,8	1,6	1,8	1,9	1,8	1,7
2,3	1,7	1,4	1,5	1,8	1,8	1,7	1,6
2	1,3	1,6	1,7	2	2	2	1,5
1,7	1,9	1,3	1,3	2,1	1,6	1,3	1,5
1,3	2	1,9	2,1	1,7	1,8	1,4	1,7
1,9	1,6	2	1,5	1,9	1,6	1,7	2,1
1,7	1,8	2,1	2	1,4	1,6	1,9	2
1,8	2,3	1,3	1,5	1,6	1,7	2	1,6
2,3	1,9	1,5	1,4	1,4	1,4	1,7	1,7
2,4	1,7	1,4	1,3	1,9	2,1	1,5	1,9
1,9	2	1,7	1,8	2	1,8	1,6	1,4
1,8	2,3	1,3	1,5	2,1	1,6	2,1	1,3
2	2,1	1,4	1,3	1,6	2,1	1,5	2
2,4	-	1,8	1,9	1,7	2	1,5	1,4
-	-	1,8	1,7	1,8	1,6	1,6	1,6
-	-	-	-	2	1,9	1,4	1,8
-	-	-	-	1,5	-	1,9	1,5
-	-	-	-	-	-	2	1,9
M1-2,1	M2-1,9	M1-1,6	M2-1,6	M1-2,5	M2-1,9	M1-1,7	M2-1,6
M-2		M-1,6		M-2,2		1,65	

Примечание: M1 – среднее значение длины проростков в первом контейнере; M2 – среднее значение длины проростков во втором контейнере, M – общее среднее значение длины проростков

Анализируя данные, установили, что на их величину лучше всего повлияли контрольная среда и суспензия *Klebsormidium* sp.

Самые высокие показатели базилик показал в среде Болда. В данном случае проростки оказались наиболее длинными. Самые короткие растения были в опыте с *Chlorella vulgaris*. Далее для установления достоверности эксперимента определили значения коэффициента Стьюдента (t-критерия) (табл.6).

Таблица 6.

Результаты статистической обработки

Варианты опыта	Кресс-салат					Базилик				
	М	m <sub>М</sub>	V	σ	t <sub>в</sub>	М	m <sub>М</sub>	V	σ	t <sub>в</sub>
Контроль (среда Болда)	2,7	0,1	5,1	0,14	-	2	0,1	7	0,14	-
Суспензия <i>Chlorella vulgaris</i>	3,05	0,05	2,3	0,07	3,18	1,6	0,7	62,5	1	0,7
Суспензия <i>Klebsormidium</i> sp.	2,35	0,05	2,9	0,07	3,1	2,2	0,3	18,1	0,4	2
Биопрепарат	3,2	0,7	31,2	1	0,7	1,65	0,05	4,2	0,07	3,1

Примечание: М – средняя арифметическая, m<sub>М</sub> – ошибка средней арифметической, V – коэффициент вариации, σ – среднее квадратическое отклонение (сигма), t<sub>в</sub> – критерий достоверности разницы

Полученные показатели t<sub>в</sub> сравнили с таблицей критических значений коэффициента Стьюдента (табл. 7).

Таблица 7.

Критические значения коэффициента Стьюдента (t-критерия) для различной доверительной вероятности p и числа степеней свободы f

f	p							
	0,80	0,90	0,95	0,98	0,99	0,995	0,998	0,999
1	3.0770	6,3130	12,7060	31,820	63,656	127,656	318,306	636,619
2	1,8850	2,9200	4,3020	6,964	9,924	14,089	22,327	31,559
3	1,6377	2,35340	3,182	4,540	5,840	7,458	10,214	12,924
4	1,5332	2,13180	2,776	3,746	4,604	5,597	7,173	8,610
5	1,4759	2,01500	2,570	3,649	4,0321	4,773	5,893	6,863
6	1,4390	1,943	2,4460	3,1420	3,7070	4,316	5,2070	5,958

Анализируя полученные значения, представленные в табл. 6 и сравнивая их со значениями, представленными в табл. 7, делаем вывод

о том, что результаты проведенного эксперимента нельзя назвать достоверными. Для проведения достоверного эксперимента рекомендовано увеличить число повторностей. Проведенный эксперимент показал, что микроскопические водоросли оказывают положительное влияние на прорастание семян овощных салатных культур.

При использовании суспензии *Klebsormidium* sp. всхожесть семян на 6-е сутки увеличилась на 2,5%. При замачивании в биопрепарате энергия прорастания и всхожесть были 100%. Энергия прорастания и всхожесть семян базилика в опыте были выше минимум на 10%, чем в контрольной среде (рис. 1).

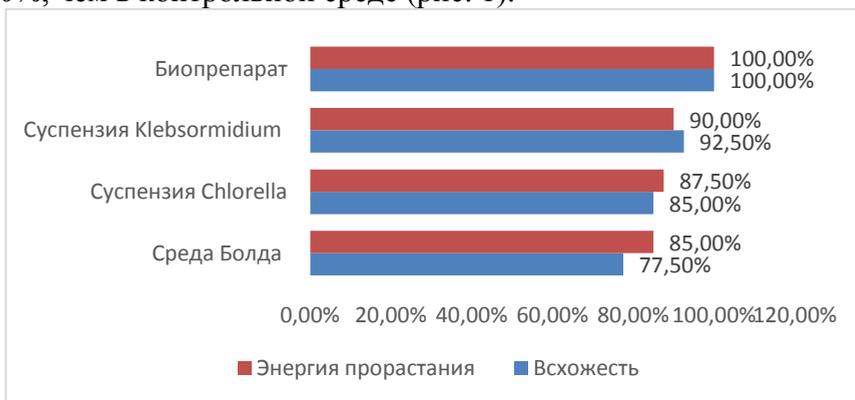


Рис. 1. Энергия прорастания и всхожесть семян базилика

Семена кресс-салата проросли лучше в опыте с *Klebsormidium* sp. и на основе двух суспензий *Klebsormidium* sp. и *Chlorella vulgaris*. Всхожесть салата увеличилась на 2,5% при замачивании семян в суспензии *Chlorella vulgaris*. Использование биопрепарата так же увеличило всхожесть на 5%. Самые низкие показатели прорастания и всхожести были в контрольных чашках со средой Болда (рис. 2).

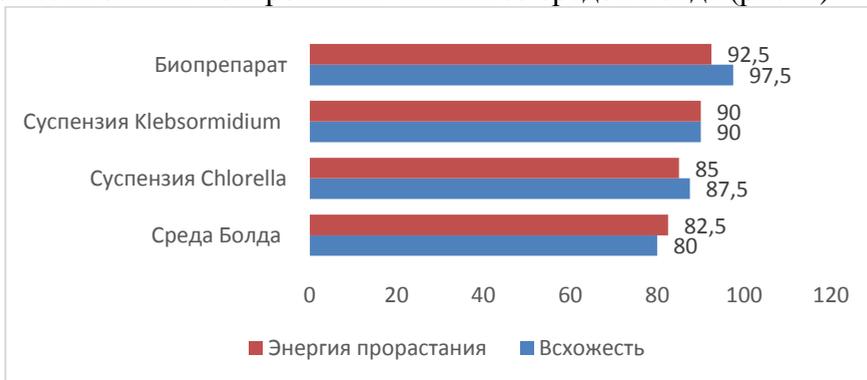


Рис. 2. Энергия прорастания и всхожесть семян кресс-салата

При использовании суспензии *Klebsormidium* sp. и в среде Болда длина проростков базилика в среднем увеличилась на 0,6 см (рис. 3).

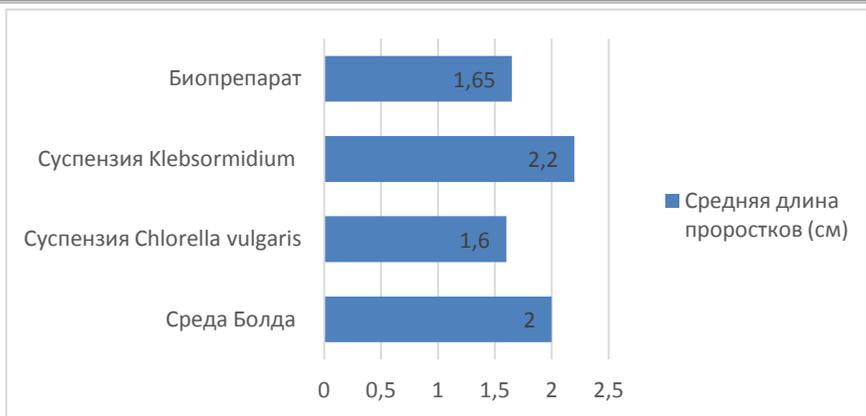


Рис. 3. Средняя длина проростков базилика

В опытах с суспензией водоросли *Chlorella vulgaris* и биопрепарата проростки кресс-салата оказались длиннее, чем с добавлением среды Болда. Разница составила в среднем 0,5 см (рис. 4).

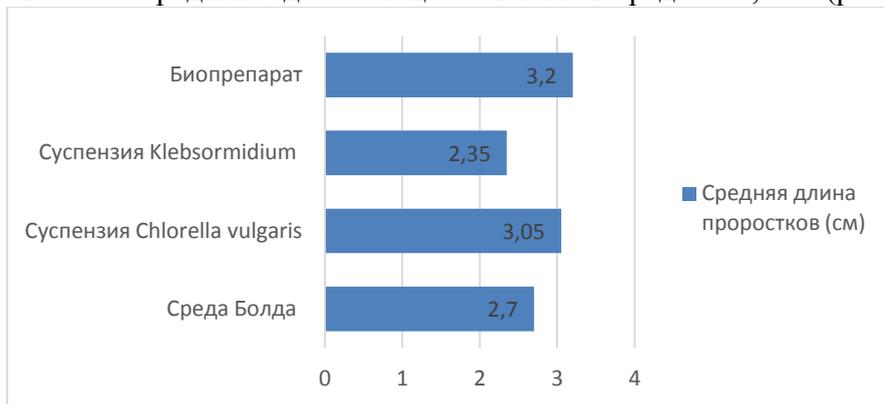


Рис. 4. Средняя длина проростков кресс-салата

Суспензии водорослей *Chlorella vulgaris* и суспензия *Klebsormidium* sp., а также биопрепарат на основе этих двух суспензий, обладают стимулирующими свойствами и при замачивании семян в этих препаратах улучшаются агрономические свойства семян.

В результате работ определено влияние суспензий водорослей *Chlorella vulgaris* и *Klebsormidium* sp. на энергию прорастания и всхожесть семян салатных овощных культур: энергия прорастания и всхожесть семян базилика были выше на 10%, чем в контроле. Также показатели длины проростков базилика были выше при использовании суспензии *Klebsormidium* sp. и в контрольной среде Болда. Длина растений в среднем увеличилась на 0,6 см. В опытах с добавлением суспензии водоросли *Chlorella vulgaris* проростки кресс-салата оказались длиннее, чем в чашках со средой Болда. Разница была около 0,5 см. Отмечено, что наиболее благоприятной средой для прорастания

семян является биопрепарат на основе суспензий водорослей *Chlorella vulgaris* и *Klebsormidium* sp. Энергия прорастания в биопрепарате у кресс-салата составила 92,5%, у базилика – 100%, всхожесть семян базилика – 97,5% (в контроле – 80%). Всхожесть семян базилика в биопрепарате оказалась 100% (на 22,5% больше, чем в контроле).

В целом, биопрепарат оказал положительное влияние на рост и развитие проростков семян кресс-салата. Проведенный эксперимент позволяет отметить, что данную методику можно использовать в сельском хозяйстве для повышения качества и выращивания семян овощных салатных культур.

### СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Артюшин А.М. Краткий справочник по удобрениям / А.М. Артюшин, Л.М. Державин. – Москва: Колос, 2002. – 59 с.
2. Возна Л.И. Почвы и удобрения / Л.И. Возна. – Москва: Кладезь, 2015. – 52 с.

### REFERENCES

1. Artyushin A.M. Kratkij spravochnik po udobreniyam / A.M. Artyushin, L.M. Derzhavin. – Moskva: Kolos, 2002. – 59 с.
2. Vozna L.I. Pochvy i udobreniya / L.I. Vozna. – Moskva: Kladez', 2015. – 52 с.

### *Информация об авторах*

- Э.А. Факаетдинова** – магистрант;  
**С.Б. Бешеров** – магистрант;  
**К.Р. Бугрова** – магистрант;  
**А.И. Мухаметьярова** – преподаватель;  
**А.И. Фазлутдинова** – кандидат биологических наук, доцент.

### *Information about the authors*

- E.A. Fakaetdinova** – Master's student;  
**S.B. Beshеров** – Master's student;  
**K.R. Bugrova** – Master's student;  
**A.I. Mukhametyarova** – Lecturer;  
**A.I. Fazlutdinova** – PhD in Biological Sciences, Associate Professor.

*Статья поступила в редакцию 28.04.2025; принята к публикации 02.06.2025.*

*The article was submitted 28.04.2025; accepted for publication 02.06.2025.*

## БИОЛОГИЧЕСКИЕ НАУКИ

Научная статья

УДК 574.5

DOI 10.21510/3034-266X-2025-2-51-60

### ПЕРВЫЕ СВЕДЕНИЯ О РАЗНООБРАЗИИ ВОДОРΟΣЛЕЙ И ЦИАНОБАКТЕРИЙ ОЗ. ИК-КУЛЬ Г. ОКТЯБРЬСКИЙ РЕСПУБЛИКА БАШКОРТОСТАН

*Владислав Максимович Чернов<sup>1</sup>, Аделина Ильгизовна  
Мухаметьярова<sup>2</sup>, Лилия Мунировна Сафиуллина<sup>3</sup>*

*<sup>1,2,3</sup>Башкирский государственный педагогический университет  
им. М.Акмуллы, Уфа, Россия*

*<sup>1,2,3</sup>vladcernov936@mail.ru*

**Аннотация.** Представлены данные по оценке состояния оз. Ик-куль вблизи г. Октябрьский Башкортостана, в пойме реки Ик, где ранее были карьеры добычи гравийно-песчаной смеси. Водоём сообщается с рекой Ик и сюда впадает река Уксынлыкуль, берущая начало на Лысой горе и протекающая через город. Изучен видовой состав водорослей и цианобактерий оз. Ик-куль. В августе 2024 г. исследованы 10 проб воды, где выявлено 13 видов из 3 отделов: Cyanobacteria – 5, Chlorophyta – 6, Bacillariophyta – 2 вида.

**Ключевые слова:** цианобактерии, г. Октябрьский, видовое разнообразие, фитопланктон

**Для цитирования:** Чернов В.М., Мухаметьярова А.И., Сафиуллина Л.М. Первые сведения о разнообразии водорослей и цианобактерий оз. Ик-куль г. Октябрьский Республика Башкортостан // Вестник Башкирского государственного педагогического университета им. М. Акмуллы. Серия: Естественные науки 2025. №2. С. 51-60.

## BIOLOGICAL SCIENCES

Original article

### THE FIRST INFORMATION ABOUT THE DIVERSITY OF ALGAE AND CYANOBACTERIA IN LAKE IK-KUL, OKTYABRSKY, REPUBLIC OF BASHKORTOSTAN

*Vladislav Maksimovich Chernov<sup>1</sup>, Adelina Ilgizovna  
Mukhamedyarova<sup>2</sup>, Lilia Munirovna Safiullina<sup>3</sup>*

*<sup>1,2,3</sup>Bashkir State Pedagogical University named after M. Akmulla,  
Ufa, Russia*

*<sup>1,2,3</sup>vladcernov936@mail.ru*

**Abstract.** The article presents data on the assessment of the state of Lake Ik-Kul near the city of Oktyabrsky in Bashkortostan, in the floodplain of the Ik River, where there were previously gravel and sand quarries. The reservoir communicates with the Ik River, and the Uksynlykul River flows into it, originating on Lysaya Gora and flowing through the city. The species composition of algae and cyanobacteria in Lake Ik-Kul was studied. In August 2024, 10 water samples were collected, where 13 species from 3 departments were identified: Cyanobacteria – 5, Chlorophyta – 6, Bacillariophyta – 2 species.

**Keywords:** cyanobacteria, Oktyabrsky, species diversity, phytoplankton

**For citation:** V.M. Chernov, A.I. Mukhametyarova, L.M. Safiullina The first information about the diversity of algae and cyanobacteria in Lake Iki-Kul Oktyabrsky, Republic of Bashkortostan // Bulletin of the Bashkir State Pedagogical University named after M. Akmulla. Series: Natural Sciences 2025. No. 2. pp. 51-60.

**Введение.** Водоросли – древнейшая группа про- и эукариотических фотосинтезирующих организмов, имеющая большое биологическое значение. Водоросли чрезвычайно разнообразны и, благодаря своим особенностям морфологии, анатомии и жизненных циклов, имеют потрясающую приспособленность к различным внешним условиям. Эта группа споровых растений в природе распространена повсеместно – в почве, в воде и воздухе, в горячих источниках и во льдах, в водах морей, океанов и на склонах высоких гор [13].

Огромную роль водоросли играют в функционировании экосистем и жизни человека. Они являются важнейшими первичными продуцентами, как свободноживущими, так и образующими симбиотические взаимоотношения. Водоросли участвуют в первичных сукцессиях на почве и каменистых субстратах. Цианобактерии – важнейшие азотфиксаторы, они связывают в некоторых полупустынных регионах до 5 кг азота на гектар. Именно цианобактерии были теми организмами, которые около 2 млрд лет назад, благодаря появлению кислородного фотосинтеза, изменили общий характер атмосферы с восстановительного на окислительный. Человек широко использует водоросли как источник пищи, микроэлементов, витаминов, химических веществ [11].

Изучение водорослей способствует пониманию их роли в функционировании экосистем, выработке правильного подхода к вопросам охраны этих организмов и уменьшения вредного воздействия, которое влечет за собой неконтролируемое развитие водорослей [11].

Исследование экосистем, которые испытывают антропогенное влияние, вызывает особый интерес. В том числе оз. Ик-куль, расположенный вблизи г. Октябрьский Республика Башкортостан. Вокруг водоема устроены пляж и места отдыха для горожан. Здесь до 1993 года проводились национальные праздники Сабантуй и другие мероприятия. Кроме того, в непосредственной близости от озера расположены частные дома, что создает риск выбросов сточных вод или удобрений в его воды, что, в свою очередь, может негативно сказаться на живых организмах, обитающих в этой экосистеме.

Целью работы было изучение альгофлоры оз. Ик-куль и оценка его экологического состояния.

**Материалы и методы.** Исследуемый водоем находится на территории Республики Башкортостан г. Октябрьский. В прибрежной зоне озера развивается водная и прибрежная растительность. Здесь часто встречаются такие растения, как тростник, кувшинки и различные виды осок. Кроме того, в этом районе можно увидеть кустарниковые заросли, в которых произрастают ивы и рябина. В некоторых местах растительность подвержена влиянию человеческой деятельности: прогулочные зоны, пляжи и места для отдыха.

При отборе проб воду зачерпывали таким образом, чтобы в емкость попадал осадок. Для выделения культур водорослей и цианобактерий использовали модификацию метода разведения [12, 14]. Для этого воду в емкостях взбалтывали, затем несколько капель воды распределяли по поверхности чашки Петри с агаризованной средой Z8 [2] и культивировали на люминостате (лампы ЛБ-40, чередование световой и темновой фаз 12:12 ч, освещенность 1700-2500 лк) в течении 14 суток.

Определяли виды с использованием микроскопа Axio Imager A2 с реализацией дифференциально-интерференционного контраста с камерой Axio Cam MRC при увеличении  $\times 1000$  с использованием масляной иммерсии. Микрофотографии выполняли при помощи программы AxioVision 4.9.

Для уточнения таксономической принадлежности видов использовали таксономические сводки, монографии [2-7] и базу данных Algaebase [3].

**Результаты и их обсуждение.** В результате исследования видового состава водорослей и цианобактерий в озере Ик-куль было 13 видов, относящихся к 3 отделам: Cyanobacteria – 5 видов, Chlorophyta – 6 видов, Bacillariophyta – 2 вида (табл.1).

Таблица 1.

Таксономическая структура альгофлоры озера Ик-куль

Вид	Пробы									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
<b>Cyanobacteria</b>										
<i>Roholtiella fluviatilis</i> J.R.Johansen & Gaysina		+				+				
<i>Nostoc Vaucher</i> ex Bornet & Flahault	+	+	+				+			
<i>Planktothrix agardhii</i> (Gomont) Anagnostidis & Komárek		+					+			
<i>Trichocoleus cf. hospitus</i> (Hansgirg ex Gomont) Anagnostidis		+								
<i>Arthrospira platensis</i> Gomont			+					+		
<b>Chlorophyta</b>										
<i>Chlorosarcinopsis sp.</i> Herndon			+							
<i>Chlamydomonas sp.</i> Ehrenberg	+	+	+					+	+	
<i>Chlorella vulgaris</i> Beijerinck	+	+	+			+				+
<i>Mychonastes</i> <i>homosphaera</i> (Skuja) Kalina et Puncocharova	+		+				+			
<i>Chlorococcum sp.</i> Meneghini	+						+			
<i>Klebsormidium</i> <i>flaccidum</i> (Kützing) P.C.Silva, Mattox & W.H.Blackwell	+		+				+			
<b>Bacillariophyta</b>										
<i>Navicula lanceolata</i> Ehrenberg		+							+	
<i>Nitzschia palea</i> (Kützing) W.Smith				+				+		

Отдел Chlorophyta был представлен наибольшим количеством видов. Среди них во всех пробах наблюдалось преобладание видов *Chlorella vulgaris* Beijerinck и *Chlamydomonas sp.* Ehrenberg, одноклеточные зеленые водоросли, которые часто встречаются в пресных и стоячих водоемах. Также *Chlorella vulgaris* Beijerinck и *Chlamydomonas sp.* Ehrenberg обладают высокой адаптивностью к различным условиям среды. Они могут расти в широком диапазоне температур и широких уровнях питательных веществ. Эти водоросли хорошо растут в водоемах богатых питательными веществами, такие как азот и фосфор. Часто такие условия создаются из-за стока удобрений с сельскохозяйственных угодий или сточных вод [11].

Особый интерес вызвал вид *Chlorococcum sp.* Meneghini – зелёная пресноводная микроводоросль. Считается одним из самых высоких производителей каротиноидов, включая астаксантин, лютеин, зеаксантин, неоксантин, кантаксантин и виолаксантин [1].

Обнаружили два вида диатомовых водорослей, среди них вид *Navicula lanceolata* Ehrenberg, который является космополитом и служит хорошим индикатором эвтрофикации, так как может существовать в очень широком диапазоне условий среды в эвтрофных водоемах [16]. Другим видом является *Nitzschia palea* (Kützing) W.Smith – широко распространенная эврибионтная водоросль, обитающая в бентосе пресноводных водоемов, а также в почвах и пещерах. Этот вид обладает значительным биотехнологическим потенциалом, включая производство антибиотиков [8].

При анализе видового состава водорослей и цианобактерий оз. Ик-куль не были обнаружены три главные группы возбудителей цветения воды по классификации фитопланктону К. Рейнолдса [9]: М – колониальные хроококковые виды с газовыми вакуолями, в первую очередь виды *Microcystis s.str.*, Н – нитчатые гетероцистные (азотфиксирующие) виды, в основном представители *Anabaena s.l.*, *Aphanizomenon s.l.* и *Anabaenopsis*, и S – нитчатые безгетероцистные цианобактерии, очень широкая группа, типичными представителями которых являются виды родов *Planktothrix*, *Planktolyngbya*, *Geitlerinema* и *Pseudanabaena* [15]. Таким образом, результаты исследования показывают экологически благополучное состояние экосистемы водоема, что имеет важное значение для поддержания баланса мониторинга в местной экологии.

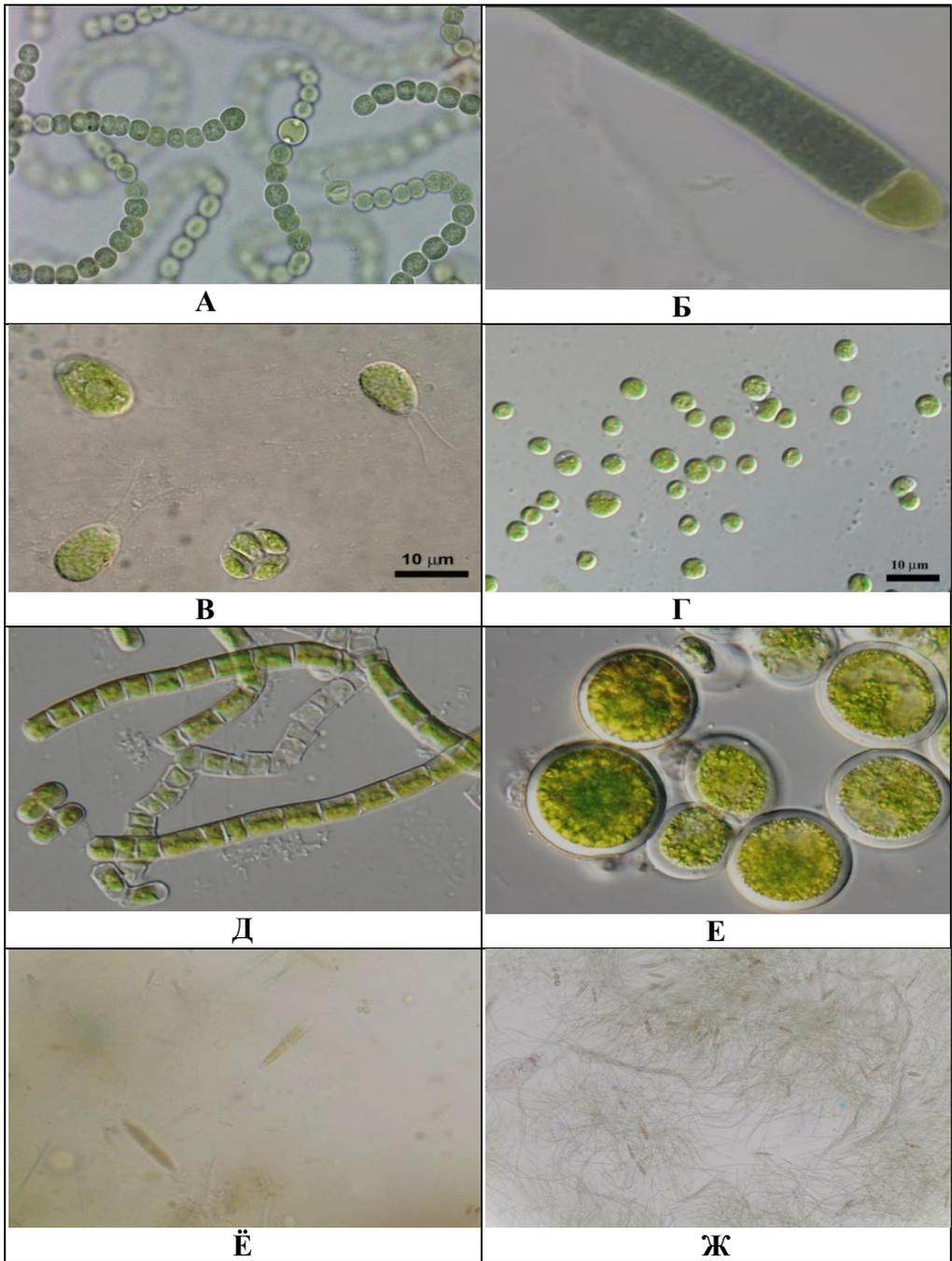


Рис.1. Цианобактерии и водоросли оз. Ик-куль, А – *Nostoc Vaucher* ex Bornet & Flahault., Б – *Roholtiella fluviatilis* J.R. Johansen & Gaysina., В – *Chlamydomonas* sp. Ehrenberg, Г – *Chlorella vulgaris* Beijerinck 1890, Д – *Klebsormidium flaccidum* (Kützing) P.C.Silva, Mattox & W.H. Blackwell, Е – *Chlorococcum* sp. Meneghini., Ё – *Nitzschia palea* (Kützing) W. Smith, Ж – *Navicula lanceolata* Ehrenberg.

## Выводы

1. В результате исследования видового состава водорослей и цианобактерий в озере Ик-куль было выявлено 13 видов, относящихся к 3 отделам: Cyanobacteria – 5 видов, Chlorophyta – 6 видов, Bacillariophyta – 2 вида.

2. Отдел Chlorophyta был представлен наибольшим числом видов. интересным находением был вид *Chlorococcum* sp., так как он считается одним из самых высоких производителей каротиноидов.

3. Обнаружили два вида диатомовых водорослей, среди них *Navicula lanceolata* Ehrenber и *Nitzschia palea* (Kützing) W.Smith.

4. При анализе видового состава водорослей и цианобактерий оз. Ик-куль не были обнаружены возбудители цветения воды, которые бы угрожали состоянию водоема.

## СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Ahmed S, Ritu JR, Khan S, et al. Influence of the green microalga, *Chlorococcum* sp. on the growth of freshwater rotifer, *Brachionus calyciflorus* pallas. J Aquac Mar Biol. 2024; 13(1):8-13. DOI: 10.15406/jamb.2024.13.00390

2. Carmichael W.W. Isolation, culture, and toxicity testing of toxic freshwater cyanobacteria (blue-green algae)/ Fundamental Research in Homogenous Catalysis 3; Shilov, V., Ed.; Gordon & Breach: New York, NY, USA, 1968; pp. 1249–1262.

3. Guiry M.D., Guiry G.M. AlgaeBase. World-wide electronic publication, National University of Ireland, Galway. [Electronic resource]: <https://www.algaebase.org>; searched on 22 December 2024.

4. Komárek J., Anagnostidis K. Cyanoprokaryota. 2. Teil: Oscillatoriales/ Süßwasserflora von Mitteleuropa. Bd. 19/2. Jena; Stuttgart; Lübek. Ulm, 2005. 759 p.

5. Komárek J., Anagnostidis K. Modern approach to the classification system of cyanophytes. 4 – Nostocales// Algological Studies. Vol. 56. Archiv für Hydrobiologie. 1989. 82, 3. pp. 247-345.

6. Komárek J., Fott B. Chlorophyceae (Grünalgen) Ordnung: Chlorococcales / Edited by H.J. Elster, W. Ohle. Die Binnengewasser XVI. Schweizerbart Verlag, Stuttgart. 1983. 1044 p.

7. Krammer K., Lange-Bertalot H. Bacillariophyceae, Naviculaceae. Süßwasserflora von Mitteleuropa. Band 2/1. Berlin, Spectrum Academiche Verlag. 1986. 876 p.

8. Life Cycle of *Nitzschia palea* (Kützing) W. Smith (Bacillariophyta) / Bagmet V.B., Abdullin S.R., Mazina S.E. [et al.]. // RUSSIAN JOURNAL OF DEVELOPMENTAL BIOLOGY. – 2020. – vol. 51. – no 2. – pp. 106-114.

9. Reynolds C.S. Phytoplankton periodicity: the interactions of form, function and environmental variability// Freshwater biology. 1984. V.

14. № 2. pp.111–142.

10. Андреева В.М. Почвенные и аэрофильные зеленые водоросли (Chlorophyta: Tetrasporales, Chlorococcales, Chlorosarcinales). Санкт-Петербург: Наука, 1998. 351 с.

11. Атлас Республики Башкортостан, Комитет по геодезии и картографии Министерства экологии и природных ресурсов. М.: Уфа, 2012. 40 с.

12. Водоросли: Цианобактерии, красные, зеленые и харовые водоросли: учебно-методическое пособие / А.Г. Пауков, А.Ю. Тептина, Н.А. Кутлунина, АС. Шахматов, Е.В. Павловский; под общей редакцией А.Г. Паукова; Министерство образования и науки Российской Федерации, Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина. – Екатеринбург: Издательство Уральского университета, 2017. – 204 с.

13. Гайсина Л.А., Фазлутдинова А.И., Кабиров Р.Р. Популяционная альгология. Уфа: Гилем, 2008. 143с.

14. Никулина Т.В. Пресноводные водоросли //Растительный и животный мир Курильских островов: материалы Междунар. Курильского проекта. Владивосток: Дальнаука. С. 23-34. – 2002.

15. Почвы Башкортостана. Т.1. Эколого-генетическая и агропроизводственная характеристика // Под ред. Ф.Х. Хазиева. Уфа: Гилем, 1995. 384 с

16. Уманская М.В., Горбунов М.Ю., Тарасова Н.Г. Цианобактериальные цветения воды в пресноводных континентальных водоемах: обзор // Известия Самарского научного центра РАН. 2023. №5 (115). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/tsianobakterialnyetsveteniya-vody-v-presnovodnyh-kontinentalnyh-vodoeмах-obzor> (дата обращения: 12.04.2025).

17. Чудаев Д.А., Купреева М.Д., Гололобова М.А. Исследование видов рода *navicula* Bory sensu stricto (diatomophyceae) реки Москвы // Вестник Московского университета. Серия 16. Биология. 2015. №2. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/issledovanie-vidov-roda-navicula-bory-sensu-stricto-diatomophyceae-reki-moskvy> (дата обращения: 12.04.2025).

## REFERENCES

1. Ahmed S, Ritu JR, Khan S, et al. Influence of the green microalga, *Chlorococcum* sp. on the growth of freshwater rotifer, *Brachionus calyciflorus* pallas. *J Aquac Mar Biol*. 2024; 13(1):8-13. DOI: 10.15406/jamb.2024.13.00390.

2. Carmichael W.W. Isolation, culture, and toxicity testing of toxic freshwater cyanobacteria (blue-green algae) / Fundamental Research in Homogenous Catalysis 3; Shilov, V., Ed.; Gordon & Breach: New York, NY, USA, 1968; pp. 1249–1262.

3. Guiry M.D., Guiry G.M. AlgaeBase. World-wide electronic publication, National University of Ireland, Galway. [Electronic resource]: <https://www.algaebase.org>; searched on 22 December 2024.
4. Komárek J., Anagnostidis K. Cyanoprokaryota. 2. Teil: Oscillatoriales / Süßwasserflora von Mitteleuropa. Bd. 19/2. Jena; Stuttgart; Lübek. Ulm, 2005. 759 p.
5. Komárek J., Anagnostidis K. Modern approach to the classification system of cyanophytes. 4 – Nostocales // Algological Studies. Vol. 56. Archiv für Hydrobiologie. 1989. 82, 3. pp. 247-345.
6. Komárek J., Fott B. Chlorophyceae (Grünalgen) Ordnung: Chlorococcales / Edited by H.J. Elster, W. Ohle. Die Binnengewasser XVI. Schweizerbart Verlag, Stuttgart. 1983. 1044 p.
7. Krammer K., Lange-Bertalot H. Bacillariophyceae, Naviculaceae. Süßwasserflora von Mitteleuropa. Band 2/1. Berlin, Spectrum Academiche Verlag. 1986. 876 p.
8. Life Cycle of *Nitzschia palea* (Kützinger) W. Smith (Bacillariophyta) / Bagmet V.B., Abdullin S.R., Mazina S.E. [et al.]. // RUSSIAN JOURNAL OF DEVELOPMENTAL BIOLOGY. – 2020. – vol. 51. – no 2. – pp. 106-114.
9. Reynolds C.S. Phytoplankton periodicity: the interactions of form, function and environmental variability // Freshwater biology. 1984. V. 14. № 2. pp.111–142.
10. Andreeva V.M. Soil and aerophilic green algae (Chlorophyta: Tetrasporales, Chlorococcales, Chlorosarcinales). St. Petersburg: Nauka, 1998. 351 c.
11. Atlas of the Republic of Bashkortostan, Committee on Geodesy and Cartography of the Ministry of Ecology and Natural Resources. Moscow: Ufa, 2012. 40 c.
12. Algae: Cyanobacteria, red, green and char algae: a textbook / A.G. Paukov, A.Yu. Teptina, N.A. Kutlunina, A.S. Shakhmatov, E.V. Pavlovsky; under the general editorship of A.G. Paukov; Ministry of Education and Science of the Russian Federation, Ural Federal University named after the First President of Russia B.N. Yeltsin. – Yekaterinburg: Ural University Publishing House, 2017. – 204 c.
13. Gaisina L.A., Fazlutdinova A.I., Kabirov R.R. Population algology. Ufa: Gilem, 2008. 143c.
14. Nikulina T. V. Freshwater algae // Plant and animal world of the Kuril Islands: materials of the Intern. Kuril project. Vladivostok: Dalnauka. C. 23-34. – 2002.
15. Soils of Bashkortostan. T. 1. Ecological-genetic and agro-production characterization // Edited by F.H. Khaziev. Ufa: Gilem, 1995. 384 p.
16. Umanskaya Marina Viktorovna, Gorbunov Mikhail Yurievich, Tarasova Natalia Gennadyevna CYANOBACTERIAL WATER

FLOWERS IN PRECONTINENTAL WATERS: A REVIEW // Izvestia Samara Scientific Centre RAS. 2023. № 5 (115). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/tsianobakterialnye-tsveteniya-vy-presnovodnyh-kontinentalnyh-vodoemah-obzor> (accessed 12.04.2025).

17. Chudaev Dmitry Alekseyevich, Kupreeva Margarita Dmitrievna, Golobova Maria Aleksandrovna Study of species of the genus *Navicula Bory sensu stricto* (diatomophyceae) of the Moscow River // Bulletin of Moscow University. Series 16. Biology. 2015. №2. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/issledovanie-vidov-roda-navicula-bory-sensu-stricto-diatomophyceae-reki-moskvy> (date of access: 12.04.2025).

#### *Информация об авторах*

**В.М. Чернов** – студент бакалавриата направления «Биология», профиль «Биоэкология/Генетика», группы Б\_БИОГЕН-21-23;

**А.И. Мухаметьярова** – преподаватель кафедры Биоэкологии и биологического образования;

**Л.М. Сафиуллина** – кандидат биологических наук, доцент кафедры Биоэкологии и биологического образования.

#### *Information about the authors*

**V.M. Chernov** – undergraduate student in the direction of "Biology", profile "Bioecology/ Genetics", group B\_BIOGEN-21-23;

**A.I. Mukhametyarova** – lecturer of the Department of Bioecology and Biological Education of the BSPU named after M. Akmulla, Ufa;

**L.M. Safiullina** – Ph.D., Associate Professor of the Department of Bioecology and Biological Education.

*Статья поступила в редакцию 28.04.2025; принята к публикации 30.05.2025.*

*The article was submitted 28.04.2025; accepted for publication 30.05.2025.*

## БИОЛОГИЧЕСКИЕ НАУКИ

Научная статья

УДК 58.01/ ББК 28.51

DOI 10.21510/3034-266X-2025-2-61-69

### БИОХИМИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ *BRACTEACOCCLUS MINOR* И *CHLOROCOCCUM OLEOFACIENS* ПРИ АФОТИЧЕСКОМ СТРЕССЕ

*Александр Владимирович Яковийчук<sup>1</sup>, Анжелика Владимировна Кочубей<sup>2</sup>, Ирина Андреевна Мальцева<sup>3</sup>*  
<sup>1,2,3</sup>Мелитопольский государственный университет,  
Мелитополь, *f.estestvennihnauk@melsu.ru*

**Аннотация.** В данной статье изложены результаты исследования биохимических особенностей *Bracteacoccus minor* и *Chlorococcum oleofaciens* при использовании афотического стресса. Изучены показатели биомассы, содержания липидов и продуктивности.

**Ключевые слова:** микроводоросли, затенение, биотехнология, липиды, биомасса

**Для цитирования:** Яковийчук А.В., Кочубей А.В., Мальцева И.А. Биохимические особенности *Bracteacoccus minor* и *Chlorococcum oleofaciens* при афотическом стрессе // Вестник Башкирского государственного педагогического университета им. М. Акмуллы. Серия: Естественные науки. 2025. №2. С. 61-69.

**Благодарности:** работа выполнена при поддержке Российского научного фонда, проект № 24-74-00132.

## BIOLOGICAL SCIENCES

Original article

### BIOCHEMICAL FEATURES OF *BRACTEACOCCLUS MINOR* AND *CHLOROCOCCUM OLEOFACIENS* UNDER APHOTIC STRESS

*Aleksandr V. Yakoviichuk<sup>1</sup>, Angelica V. Kochubey<sup>2</sup>, Irina A. Maltseva<sup>3</sup>*  
<sup>1,2,3</sup>Melitopol State University, Melitopol,  
*f.estestvennihnauk@melsu.ru*

**Abstract.** This article presents the results of a study of the biochemical features of *Bracteacoccus minor* and *Chlorococcum*

*oleofaciens* when using aphotic stress. The parameters of biomass, lipid content and productivity have been studied.

**Keywords:** microalgae, shading, biotechnology, lipids, biomass

**For citation:** Yakoviichuk A.V., Kochubey A.V., Maltseva I.A. Biochemical features of *Bracteacoccus minor* and *Chlorococccum oleofaciens* under aphotic stress // Bulletin of the Bashkir State Pedagogical University named after. M. Akmulla. Series: Natural Sciences. 2025. № 2. pp. 61-69.

**Acknowledgments:** the work was supported by the Russian Science Foundation, Project № 24-74-00132.

**Введение.** Микроводоросли – большая и разнообразная группа организмов, которые в последнее время широко изучаются как продуценты биотехнологически ценных соединений. Они синтезируют и накапливают различные биологически активные соединения: белки, углеводы, липиды, пигменты, витамины, полиненасыщенные жирные кислоты, в том числе незаменимые [1]. Также они способны к быстрому росту, что увеличивает их биотехнологическую ценность и коммерческий интерес.

Скорость роста и продуктивность разных видов микроводорослей отличаются и зависят от действия различных факторов: свет, доступность элементов питания, рН среды, температура, присутствие тяжелых металлов и др. Если сила действия этих факторов выходит за пределы оптимальных значений для конкретных видов, то это может вызывать стресс у микроводорослей [2]. Различные виды отличаются устойчивостью к действию стрессоров. Хорошо известно, что при формировании реакции на воздействие стрессора в клетках микроводорослей происходят изменения в метаболизме. Эти изменения отражаются на биохимическом профиле клеток и количестве биотехнологически ценных соединений. Для стимуляции синтеза ценных метаболитов используют различные абиотические стрессы, что детально обсуждается в обзорных работах [3 – 5]. В тоже время использованию афотического стресса для накопления ценных метаболитов уделено мало внимания. В природных условиях рост микроводорослей преимущественно происходит при ритмичном чередовании светового и темнового периода и метаболические процессы, происходящие под воздействием света и в темновой период имеют свои особенности. Длительное затенение, которое наблюдается, например, при росте водорослей в арктических регионах, погружении клеток в афотические зоны водоёмов, перемещении клеток водорослей с поверхности почвы в более глубокие горизонты почвы и др., требует наличия определенных адаптивных стратегий у фотосинтезирующих организмов. Особенности возобновления фотосинтетической

активности и метаболические процессы в клетках микроводорослей при длительном затенении, по времени, превышающем обычную продолжительность темнового времени суток, практически не изучены.

С точки зрения повышения рентабельности биотехнологического производства за счет экономии энергии, использование афотического стресса как инструмента изменения состава ценных метаболитов, может быть перспективным.

Поэтому целью исследования было выявление влияния афотического стресса на продуктивность биомассы и содержание липидов у *Bracteacoccus minor* (Schmidle ex Chodat) Petrová (штамм CAMU MZ–Ch39) и *Chlorococccum oleofaciens* Trainor & H.C. Bold (штамм CAMU MZ–Ch4).

Предыдущие исследования показали, что *Bracteacoccus minor* и *Chlorococccum oleofaciens* способны к накоплению липидов и других биотехнологически ценных соединений [6 – 8].

**Материалы и методы.** Для оценки роста и биохимических характеристик штаммы *Bracteacoccus minor* (CAMU MZ–Ch39) и *Chlorococccum oleofaciens* (CAMU MZ–Ch4) выращивали в колбах Эрленмейера объемом 250,0 мл в 150,0 мл BBM при температуре  $23,0 \pm 2,0^\circ\text{C}$ . Начальная концентрация была  $2,9 \times 10^5$  клеток на  $\text{мл}^{-1}$ . После 15 дней роста культуры клеток CAMU MZ–Ch4 и CAMU MZ–Ch39 использовали для постановки эксперимента. Для этого одна часть колб (3 шт.) Эрленмейера была затенена, а контрольная группа (3 шт.) культивировалась при стандартном освещении 5000 лк. Культивирование экспериментальной и контрольной группы осуществляли на протяжении 96 часов. Данный временной интервал соответствует продолжительности острого стресса.

Биомассу (В) определяли гравиметрически путем для этого предварительно 1 мл культуры центрифугировали для осаждения клеток. Отделенные от среды клетки сушили на протяжении 6 часов при  $120^\circ\text{C}$  с последующим взвешиванием (СВ).

Рост микроводорослей оценивали путем измерения сухой массы (СВ). Измеренный сухой вес выражали в  $\text{г л}^{-1}$ . Объемная продуктивность биомассы (Р) рассчитывалась по формуле (1):

$$P (\text{г СВ л}^{-1} \text{день}^{-1}) = \frac{X_2 - X_1}{t_2 - t_1} \quad (1)$$

где  $X_2$  – сухая биомасса ( $\text{г СВ л}^{-1}$ ) во время  $t_2$  (день) и  $X_1$  – сухая биомасса ( $\text{г СВ л}^{-1}$ ) во время  $t_1$  (день).

Определение общего содержания липидов проводили гравиметрическим методом. Для этого 50 мг отделенной от среды биомассы переносили в предварительно взвешенный бюкс с крышкой. Подвергали замораживанию–размораживанию и высушивали в вакууме при  $60^\circ\text{C}$  до получения постоянной массы. Взвешивали для

определения массы сухого остатка. Сухой остаток пятикратно подвергали экстракции смесью гексан-пропан-2-ол в соотношении 3:2 в объемах: 2; 1; 1; 0,5; 0,5 мл. Перед экстракцией к сухому остатку добавляли 1 мл 0,90 % раствор NaCl для лучшего разделения липо- и гидрофильной фаз. Верхний гексановый слой путем декантации переносили в химический стакан объемом 25 мл. В стакан предварительно был насыпан безводный  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  слоем 1 мм для осушения экстракта. Далее экстракт сливали в предварительно взвешенный бюкс. Стакан с осадком дважды промывали гексаном. Экстракты объединяли и упаривали в вакууме при температуре  $60^\circ\text{C}$ . Сухую липидную фракцию взвешивали и выражали в  $\text{мг г}^{-1}$  сухой массы.

Измерения проводились минимум в трех повторностях, на графиках и в таблицах приведены средние величины и ошибки средней которые высчитывали с применением ANOVA, с применением встроенных функций программы Microsoft Excel (v. 1903). Достоверными считали различия при  $p \leq 0.05$ .

**Результаты и их обсуждение.** Концентрация биомассы штаммов SAMU MZ-Ch4 и SAMU MZ-Ch39 достоверно повышалась относительно исходного значения через 96 часов как в контроле, так и при культивировании в афотических условиях. Количество биомассы SAMU MZ-Ch4 в контроле увеличилось в 2,04 раза. В условиях полного затенения биомасса увеличилась в 1,48 раз. Для штамма SAMU MZ-Ch39 прирост биомассы при стандартных условиях культивирования достоверно не отличался от показателей прироста биомассы при культивировании в афотических условиях (рис. 1).

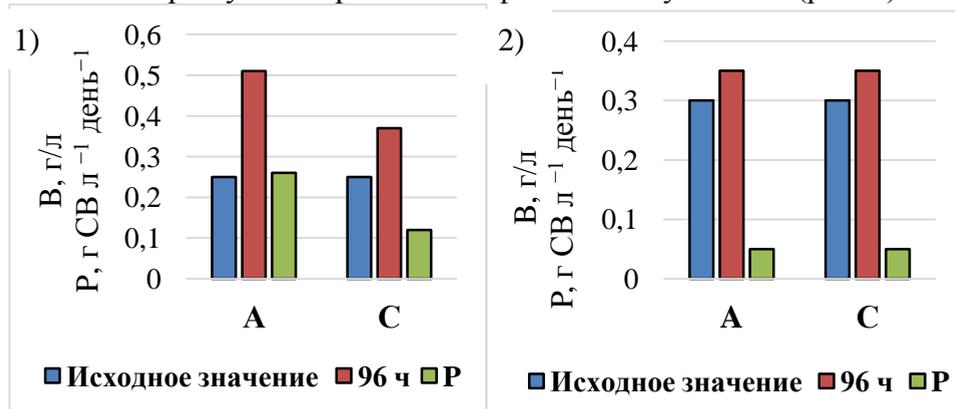


Рис. 1. Концентрация биомассы (B) и продуктивность биомассы (P) при различных условиях культивирования в течении 96 часов: 1 – *Chlorococcum oleofaciens* SAMU MZ-Ch4, 2 – *Bracteacoccus minor* SAMU MZ-Ch39; А – среда ВВМ и стандартное освещение; С – среда ВВМ при полном затенении

Увеличение количества биомассы как при освещении, так и при затенении было в 0,85 раз. В условиях полного затенения содержание липидов в штамме CAMU MZ–Ch4 увеличилось на 56 % в сравнении с контролем. Аналогичная тенденция наблюдалась и для штамма CAMU MZ–Ch39, но содержание липидов в афотических условиях увеличилось сильнее – на 68,7 % в сравнении со стандартными условиями культивирования (рис. 2).

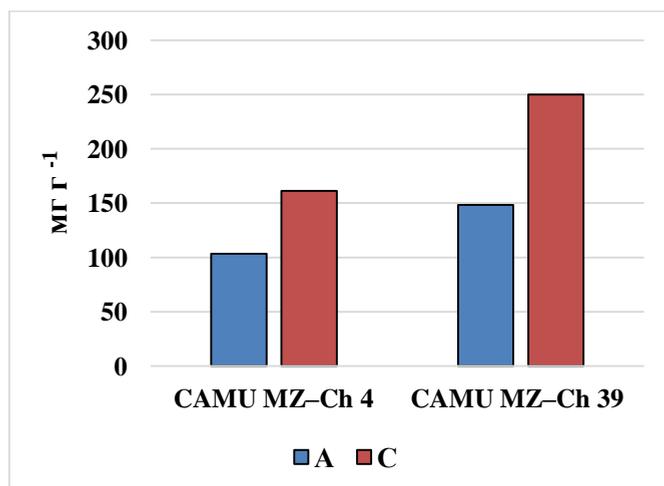


Рис. 2. Содержание липидов в биомассе *Chlorococcum oleofaciens* CAMU MZ–Ch4 и *Bracteacoccus minor* CAMU MZ–Ch39 при различных условиях культивирования в течении 96 часов. Условия культивирования: А – среда ВВМ и стандартное освещение; С – среда ВВМ при полном затенении

Способность вида или штамма микроводорослей накапливать значительное количество биомассы за короткий период является одним из ключевых параметров для оценки их биотехнологического потенциала. Дополнительное увеличение выхода ценных соединений может быть достигнуто за счет оптимального режима культивирования, а также использования факторов стресса. В нашем случае отсутствие освещения продолжительностью 96 часов привело к получению биомассы *Chlorococcum oleofaciens* CAMU MZ–Ch4 и *Bracteacoccus minor* CAMU MZ–Ch39 с большим содержанием липидов, чем за это же время при стандартном освещении. Количество биомассы после 96-часового роста в темноте у CAMU MZ–Ch4 было меньше чем в контроле на 27,5 %, а в случае с CAMU MZ–Ch39 – отмечено одинаковое увеличение количества биомассы как на свету, так и при затенении.

Микроводоросли считаются фототрофными организмами, однако описано достаточно фактов способности целого ряда видов к росту при миксотрофном и гетеротрофном культивировании [9]. По имеющимся данным гетеротрофное культивирование *Chlorococcum oleofaciens* на средах с глюкозой дает намного выше выход биомассы по сравнению с фотоавтотрофной культурой [6]. Для *Bracteacoccus* sp. отмечалось увеличение роста до 20 раз в почвенно-водной культуре за счет взаимодействия с гетеротрофной бактерией, которая обеспечивала разложение сложных органических субстратов и высвобождение доступных для использования водорослью соединений [10]. Следует отметить, что при активном росте водоросли и цианобактерии активно выделяют во внешнюю среду различные органические соединения. Например, при выращивании *Chlorella pyrenoidosa* Chick. (штамм DMMSUS-39) на 4 сутки в питательной среде содержание внеклеточных органических веществ было  $200 \text{ мг л}^{-1}$  и увеличивалось до  $600 \text{ мг л}^{-1}$  на 14 сутки [11]. Недавние исследования свидетельствуют о том, что между фототрофами и гетеротрофами существуют достаточно сложные взаимодействия, в том числе и обеспечение гетеротрофом необходимой энергией и биосинтетическими субстратами фототрофа при экстремальных воздействиях длительного затенения [12].

**Выводы.** Кратковременное (96 часов) темновое воздействие сопровождалось биосинтетической и метаболической активностью у штаммов *Bracteacoccus minor* CAMU MZ-Ch 39 и *Chlorococcum oleofaciens* CAMU MZ-Ch4. Афотический стресс привел к увеличению содержания липидов в биомассе *Bracteacoccus minor* CAMU MZ-Ch 39 и *Chlorococcum oleofaciens* CAMU MZ-Ch4 на 68,7 % и 56 % соответственно. У *Chlorococcum oleofaciens* CAMU MZ-Ch4 накопление биомассы при затенении было меньше на 27,5 % в сравнении с культурой на свету, а у *Bracteacoccus minor* CAMU MZ-Ch39 – практически не отличалось в темновых и световых условиях. Полученные данные свидетельствуют о возможном миксотрофном метаболизме у водорослей в условиях афотического стресса и значительной роли внеклеточных органических веществ, накапливаемых в минеральной питательной среде во время интенсивного роста культур при доступе света.

## СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Microalgae metabolites: a rich source for food and medicine / R. Sathasivam, R. Radhakrishnan, A. Hashem, E.F. Abd Allah // Saudi Journal of Biological Sciences. 2019. Vol. 26. N 4. pp. 709-722. <https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2017.11.003>.

2. Borowitzka M.A. The 'stress' concept in microalgal biology – homeostasis, acclimation and adaptation // *Journal of Applied Phycology*. 2018. Vol. 30. pp. 2815-2825. <https://doi.org/10.1007/s10811-018-1399-0>.
3. Microalgae for the production of lipid and carotenoids: A review with focus on stress regulation and adaptation / X.-M. Sun, L.-J. Ren, Q.-Y. Zhao, X.-J. Ji, H. Huang // *Biotechnol. Biofuels*. 2018. 11:272. <https://doi.org/10.1186/s13068-018-1275-9>.
4. Influence of Light Conditions on Microalgae Growth and Content of Lipids, Carotenoids, and Fatty Acid Composition / Y. I. Maltsev, I. A. Maltseva, S. Yu. Maltseva, M. S. Kulikovskiy // *Biology*. 2021. 10(10):1060. <https://doi.org/10.3390/biology10101060>.
5. Maltsev Y.I., Maltseva S.Yu., Kulikovskiy M.S. Nitrogen and phosphorus stress as a tool to induce lipid production in microalgae // *Microbial Cell Factories*. 2023. 22:223. <https://doi.org/10.1186/s12934-023-02244-6>.
6. Mercy N.P., Anant A. Cultivation of *Chlorococcum oleofaciens* in domestic waste water and comparison of growth in phototrophic and heterotrophic mode // *Phykos*. 2018. Vol 48. N 1. pp. 78-84.
7. Чубчикова И.Н., Дробецкая И.В. Оценка антирадикальной активности вторичных каротиноидов у четырёх видов зелёных микроводорослей порядка Sphaeropleales в системе in vitro // *Труды Карадагской научной станции им. Т.И. Вяземского – природного заповедника РАН*. 2020. № 2. С. 66–78.
8. Gaysina L.A. Influence of pH on the Morphology and Cell Volume of Microscopic Algae, Widely Distributed in Terrestrial Ecosystems // *Plants*. 2024. 13: 357. <https://doi.org/10.3390/plants13030357>
9. Heterotrophic cultivation of microalgae for pigment production: A review / J. Hu, D. Nagarajan, Q. Zhang, J. Chang, D. Lee // *Biotechnology Advances*. 2018. Vol 36. N 1. pp. 54-67. <https://doi.org/10.1016/j.biotechadv.2017.09.009>
10. Parker B.C., Bold H.C. Biotic relationships between soil algae and other microorganisms // *American Journal of Botany*. 1961. Vol. 48. pp. 185-197.
11. Плеханов С.Е., Братковская Л.Б., Садчиков А.П. Подавление роста бактерий экзометаболитами культуры водоросли *Chlorella* // *Всероссийский журнал научных публикаций*. 2013. №5. С.12-15
12. Heterotroph interactions alter Prochlorococcus transcriptome dynamics during extended periods of darkness / S.J. Biller, A. Coe, S.E. Roggensack, S.W. Chisholm // *mSystems*. 2018. 3:e00040-18. <https://doi.org/10.1128/mSystems.00040-18>

## REFERENCES

1. Microalgae metabolites: a rich source for food and medicine / R. Sathasivam, R. Radhakrishnan, A. Hashem, E.F. Abd Allah // Saudi Journal of Biological Sciences. 2019. Vol. 26. N 4. pp. 709-722. <https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2017.11.003>.
2. Borowitzka M.A. The 'stress' concept in microalgal biology - homeostasis, acclimation and adaptation // Journal of Applied Phycology. 2018. Vol. 30. pp. 2815-2825. <https://doi.org/10.1007/s10811-018-1399-0>.
3. Microalgae for the production of lipid and carotenoids: A review with focus on stress regulation and adaptation / X.-M. Sun, L.-J. Ren, Q.-Y. Zhao, X.-J. Ji, H. Huang // Biotechnol. Biofuels. 2018. 11:272. <https://doi.org/10.1186/s13068-018-1275-9>.
4. Influence of Light Conditions on Microalgae Growth and Content of Lipids, Carotenoids, and Fatty Acid Composition / Y. I. Maltsev, I. A. Maltseva, S.Yu. Maltseva, M. S. Kulikovskiy // Biology. 2021. 10(10):1060. <https://doi.org/10.3390/biology10101060>.
5. Maltsev Y.I., Maltseva S.Yu., Kulikovskiy M.S. Nitrogen and phosphorus stress as a tool to induce lipid production in microalgae // Microbial Cell Factories. 2023. 22:223. <https://doi.org/10.1186/s12934-023-02244-6>.
6. Mercy N.P., Anant A. Cultivation of *Chlorococcum oleofaciens* in domestic waste water and comparison of growth in phototrophic and heterotrophic mode // Phytos. 2018. Vol 48. N 1. pp. 78-84.
7. Chubchikova I. N., Drobeckaya I. V. Ocenka antiradikal'noj aktivnosti vtorichnyh karotinoidov u chetyryoh vidov zyolennyh mikrovodoroslej poryadka Sphaeropleales v sisteme in vitro // Trudy Karadagskoj nauchnoj stancii im. T. I. Vyazemskogo – prirodno go zapovednika RAN. 2020. № 2. S. 66–78.
8. Gaysina L.A. Influence of pH on the Morphology and Cell Volume of Microscopic Algae, Widely Distributed in Terrestrial Ecosystems // Plants. 2024. 13: 357. <https://doi.org/10.3390/plants13030357>
9. Heterotrophic cultivation of microalgae for pigment production: A review / J. Hu, D. Nagarajan, Q. Zhang, J. Chang, D. Lee // Biotechnology Advances. 2018. Vol 36. N 1. pp. 54-67. <https://doi.org/10.1016/j.biotechadv.2017.09.009>
10. Parker B.C., Bold H.C. Biotic relationships between soil algae and other microorganisms // American Journal of Botany. 1961. Vol. 48. pp. 185-197.
11. Plekhanov S.E., Bratkovskaya L.B., Sadchikov A.P. Podavlenie rosta bakterij ekzometabolitami kultury vodorosli *Chlorella* // Vserossijskij zhurnal nauchnyh publikacij. 2013. №5. pp.12-15.

12. Heterotroph interactions alter *Prochlorococcus* transcriptome dynamics during extended periods of darkness / S.J. Biller, A. Coe, S.E. Roggensack, S.W. Chisholm // *mSystems*. 2018. 3:e00040-18. <https://doi.org/10.1128/mSystems.00040-18>

***Информация об авторах***

***А.В. Яковийчук*** – кандидат биологических наук, доцент кафедры химии и химического образования;

***А.В. Кочубей*** – аспирант третьего года обучения специальности 1.5.9. Ботаника;

***И.А. Мальцева*** – доктор биологических наук, декан факультета естественных наук.

***Information about the authors***

***A.V. Yakoviichuk*** – Ph.D. docent of the Department of Chemistry and Chemical Education;

***A.V. Kochubey*** – postgraduate student of the third year of study in the specialty 1.5.9. Botany;

***I.A. Maltseva*** – Doctor of Biological Sciences Dean of the Faculty of Natural Sciences.

*Статья поступила в редакцию 06.05.2025; принята к публикации 02.06.2025.*

*The article was submitted 06.05.2025; accepted for publication 02.06.2025.*

## БИОЛОГИЧЕСКИЕ НАУКИ

Научная статья

УДК581.524.35

DOI 10.21510/3034-266X-2025-2-70-84

### СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ВИДОВОГО СОСТАВА ВЫСШИХ РАСТЕНИЙ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ГЕОГРАФИЧЕСКОГО ПОЛОЖЕНИЯ ПОДВИЖНЫХ ПЕСКОВ БАЙКАЛА

*Эмиль Робертович Яхин<sup>1</sup>, Эльвина Руслановна Большакова<sup>2</sup>,  
Нэркэс Назировна Султанова<sup>3</sup>, Евгения Мункуевна  
Базарсадаева<sup>4</sup>, Валерия Павловна Янькова<sup>5</sup>, Кристина  
Алексеевна Шайдурова<sup>6</sup>, Ирина Викторовна Дылгыров<sup>7</sup>,  
Татьяна Георгиевна Басхаева<sup>8</sup>, Наталья Викторовна  
Суханова<sup>9</sup>, Амиля Венеровна Саттарова<sup>10</sup>*  
*1,2,3,9,10* Башкирский государственный педагогический  
университет им. М. Акмуллы, Уфа, Россия  
*4,5,6,7,8* Бурятский государственный университет  
им. Д. Банзарова, Улан-Удэ, Россия  
*1,2,3,9,10* [emilnet13@gmail.com](mailto:emilnet13@gmail.com)  
*4,5,6,7,8* [bazarsadaevaev@gmail.com](mailto:bazarsadaevaev@gmail.com)

**Аннотация.** В данной статье представлены результаты изучения взаимного влияния растительности, климатических факторов и состояния подвижных песков на территории Республики Бурятия. Также изложено сравнение видового разнообразия растений песчаных почв на территории Республики Бурятия, химический анализ песчаных почв по таким показателям, как: кислотность/щелочность и содержание кальция и магния. Образование подвижных песков Байкала – один из ключевых аспектов для дальнейшего изучения взаимного влияния экологических факторов. Оценка видового разнообразия позволяет определить влияние, как климатических факторов, так и состояние подвижных песков и их плодородие. Исходя из условий анализируемого региона, который не находится под влиянием производственного загрязнения, стоит отметить, что способность к плодородию песков и видовое разнообразие – заслуга исключительно природных и климатических факторов. Также было описано рекреационное воздействие на состояние подвижных песков прибрежной зоны озера Байкал Республики Бурятия.

**Ключевые слова:** видовое разнообразие, подвижные пески, растительность, содержание металлов, кислотность среды, климатические факторы, геоботаническое описание, экологические факторы, проба, географическое расположение

**Для цитирования:** Яхин Э.Р., Большакова Э.Р., Султанова Н.Н., Базарсадаева Е.М., Янькова В.П., Шайдурова К.А., Дылгыров И.В., Басхаева Т.Г., Суханова Н.В., Саттарова А.В. Сравнительный анализ видового состава высших растений в зависимости от географического положения подвижных песков Байкала // Вестник Башкирского государственного педагогического университета им. М. Акмуллы. Серия: Естественные науки. 2025. №2. С. 70-84.

## BIOLOGICAL SCIENCES

Original article

### COMPARATIVE ANALYSIS OF THE SPECIES COMPOSITION OF FLORA DEPENDING ON THE GEOGRAPHICAL POSITION OF SANDY SOILS

*Emil Robertovich Yakhin<sup>1</sup>, Elvina Ruslanovna Bolshakova<sup>2</sup>, Nerkes Nazirovna Sultanova<sup>3</sup>, Evgenia Munkuevna Bazarsadaeva<sup>4</sup>, Valeria Pavlovna Yankova<sup>5</sup>, Kristina Alekseevna Shaydurova<sup>6</sup>, Irina Viktorovna Dylgyrov<sup>7</sup>, Tatiana Georgiova Bataalkhaevna<sup>8</sup>, Natalya Viktorovna Sukhanova<sup>9</sup>, Amilya Venerovna Sattarova<sup>10</sup>*

<sup>1,2,3,9,10</sup> *Bashkir State Pedagogical University M. Akmully, Ufa, Russia*

<sup>4,5,6,7,8</sup> *Buryat State University. D. Banzarova, Ulan-Ude, Russia*

<sup>1,2,3,9,10</sup> *emilnet13@gmail.com*

<sup>4,5,6,7,8</sup> *bazarsadaevaev@gmail.com*

**Abstract.** This article presents the results of a study of the mutual influence of vegetation, climatic factors and the state of mobile sands in the Republic of Buryatia. It also presents a comparison of the species diversity of plants in sandy soils in the Republic of Buryatia, a chemical analysis of sandy soils by such indicators as acidity/alkalinity and calcium and magnesium content. The formation of mobile sands of Baikal is one of the key aspects for further study of the mutual influence of environmental factors. Evaluation of species diversity allows us to determine the influence of both climatic factors and the state of mobile sands and their fertility. Based on the conditions of the analyzed region, which is not affected by industrial pollution, it is worth noting that the fertility of sands and species diversity are the merit of exclusively natural and climatic factors. The recreational impact on the state of mobile sands in the coastal zone of Lake Baikal in the Republic of Buryatia was also described.

**Key words:** species diversity, shifting sands, vegetation, metal content, acidity of the environment, climatic factors, geobotanical description, environmental factors, sample, geographic location

**For citation:** Yakhin E.R., Bolshakova E.R., Sultanova N.N., Bazarsadaeva E.M., Yankova V.P., Shaydurova K.A., Dylgyrov I.V., Baskhaeva T.G., Sukhanova N.V., Sattarova A.V. Comparative analysis of the species composition of higher plants depending on the geographical position of the quicksand of Baikal // Bulletin of the Bashkir State Pedagogical University. M. Akmully. Series: Natural Sciences. 2025. No2. pp. 70-84.

**Введение.** Подвижные пески – песчаные области, образованные комплексом таких факторов, как: равнинный рельеф, бедность атмосферных осадков, интенсивное выветривание. Данные факторы способствуют развитию дефляционных, аккумулятивных и эоловых процессов. Кроме того, сильное влияние на образование подвижных песков оказывают антропогенные факторы: хозяйственная и производственная деятельность. Образование таких подвижных песков – это результат деградации биологического состава ландшафтов, а также потеря потенциала использования земель – опустынивание [1, 8].

Один из аспектов, предшествующих сравнительному и прикладному анализу, является образование подвижных песков на территории Республики Бурятия и на береговой зоне озера Байкал. Основная причина образования песчаных почв – эоловая деятельность ветров, которые перехватываются горными хребтами. Баргузинский хребет, длина которого почти 300 км и высшая точка – 2841 м является барьером для северо-западных течений ветров, и благоприятно влияет на формирование холодных и сухих ветров [15, 16]. Процессы дефляции совместно с выветриванием, неоднородности состава пород впадин и развития разрывов в породах активно влияли на днища впадин. Несмотря на барьер, в виде Баргузинского хребта, процессы выветривания интенсивно разрушали и переносили породы в виде песка на достаточное расстояние и подобные геологические процессы именуется, как денудация.

Рекреационная деятельность является одной из возможных причин уменьшения видового разнообразия и загрязнения береговой зоны мусором, что негативно сказывается на численности растений подвижных песков. В 2024 г. озеро Байкал стало одним из самых популярных направлений для путешествий – около 43% туристов из России посетили Байкал. Ежегодно число туристов увеличивается, в 2022 г. – около 520 тыс., а в 2023 г. – более 600 тыс. человек. Несмотря на законодательные меры для защиты уникальных природных экосистем, лишь малая часть туристов соблюдают все требования. Так,

на береговой зоне озера отсутствует система раздельного сбора, вывоза и складирования мусора на отведенных для этого свалках [15, 16]. Кроме того, для организации экскурсий по Баргузинской долине и на близлежащие острова, используются автобусы, автомобили и катера. Для всех видов транспорта необходимо топливо, выхлопы которого сбрасывается как в само озеро, так и на почвенную поверхность.

Тематика выбранного исследования примечательна тем, что изучение взаимного влияния климатических факторов, видового разнообразия и состояния подвижных песков дает возможность определить степень развития флоры на территории псам степей Республики Бурятия. Выбраны следующие точки: село Горячинск, Максимиха и «Ининский сад камней» (окраина села Ина). Климат района резко-континентальный и достаточно сложный для развития различных видов растений. Однако, исследования могут дать полную оценку разнообразия видового состава растений на песчаных почвах и в зависимости от климатических факторов, а также состояния почв.

Цель работы – изучение влияния растительности на состояние подвижных песков и влияния совокупности климатических факторов на видовой состав флоры в различных районах Республики Бурятия.

Задачи исследования включали в себя:

1. Анализ видового разнообразия растений на подвижных песках в трех точках Республики Бурятия;
2. Выявление растений-индикаторов, присутствующих во всех участках проведения исследования;
3. Оценка влияния климата на видовое разнообразие растений на песчаных почвах в точках: село Максимиха, село Горячинск, «Ининский сад камней»;
4. Определение зависимости видового состава растений от географического расположения подвижных песков;
5. Анализ адаптации различных видов растений на подвижных песках к изменению климатических условий.
6. Определение состава и содержания различных металлов в подвижных песках на основе результатов химического анализа.

**Материалы и методы.** Климатическая характеристика точек включает: влажность, суточные и месячные температурные перепады, количество осадков и направление ветра. Влажность территорий сел Максимиха и Горячинск объединены, т.к. располагаются на одной береговой линии. Показатели влажности здесь напрямую зависят от температуры поверхности воды и содержания влаги в воздушных массах. Максимальное испарение фиксируется в ноябре-декабре: 70-85 %. Влажность «Иниского сада камней», расположенного в Баргузинском заповеднике характеризуется менее сильным влиянием температуры воды, но компенсируется большим числом осадков. Наибольшие показатели влажности наблюдаются в начале весны и

конце осени (количество осадков – 65-70%) [3, 10]. Последнее зависит от рельефа, выступающей в роли барьера для атмосферных масс. Наибольшее количество осадков выпадает на восточном и юго-восточном побережье озера: 20 мм осадков в теплые периоды года [14]. Направление и скорость ветра также влияют на число осадков, вследствие вторжения холодного воздуха с суши к озеру Байкал. Различают, продольные ветра, дующие вдоль озера и поперечные относительно котловине озера. Безветренный период – лето, а наибольшее число дней с ветреной погодой – с конца осени до середины зимы [11].

Продольные ветра на рассматриваемых точках:

– «Верховик» (Ангара) – северный ветер, который дует из долины реки Верхняя Ангара и характеризует сухую погоду;

– «Култук» (низовик) – южный ветер противоположный «Верховику».

Поперечные ветра разнообразны и представлены:

– «Горная» (горный) – северо-западный ветер с гор Приморского и Байкальского хребтов, формирующийся из холодных горных воздушных масс с преобладанием в октябре-ноябре;

– «Сарма» – горный ветер, идущий с долины реки Сарма – Сарминское ущелье и обладающий очень высокой скоростью;

– «Баргузин» – северо-восточный ветер, дующий из долины реки Баргузин и характеризующий солнечную погоду;

– «Шелонник» – юго-восточный ветер, охватывающий южную часть озера Байкал и приносящий солнечную и теплую погоду [2, 5].

Суточные и месячные колебания температуры зависят от перечисленных факторов и колеблются в течение года (табл. 1).

Таблица 1.

Среднемесячная температура на территории озера Байкал [13, 16]

Месяц года	День (°C)	Ночь (°C)
Январь	-10 (-15)	-15 (-17)
Февраль	-10 (-12)	-15 (-17)
Март	-2	-7 (-10)
Апрель	+5	-1(-3)
Май	+10 (+12)	+3 (+5)
Июнь	+15 (+17)	+7 (+10)
Июль	+19 (+20)	+10
Август	+18 (+20)	+10
Сентябрь	+10 (+12)	+5
Октябрь	+4 (+5)	0 (-3)
Ноябрь	-5 (-7)	-10
Декабрь	-9 (-12)	-10 (-12)

Для выявления видового разнообразия растений песчаных почв использовали классические методы геоботанических исследований [4, 7, 15]. Определение высших растений проводилось по «Определителю растений Республики Бурятия» [12], «Атласу высших растений Республики Бурятия» [9,14].

Для химического анализа песчаных почв в 3 точках Республики Бурятия проведен титриметрический метод анализа водной вытяжки образцов подвижных песков, согласно методике по ГОСТ 26428-85 «Почвы. Методы определения кальция и магния в водной вытяжке» [6].

**Результаты и их обсуждение.** В результате исследований, проводимых в июне 2024 года, были выделены следующие точки для геоботанических описаний и пробоотбора.

Точка №1. Республика Бурятия, Баргузинский район, село Максимиха (рис.1а).

Координаты: 53.164621 с.ш.; 108.4412708 в.д.;

Высота над уровнем моря: 452 м.

Площадь 5x10 м. Береговой вал. Поверхность ровная. 100% песок.

Общее проективное покрытие (ОПП) высших растений – 40%, из них – 30% горец, 5% колосняк песчаный, 1% – норичник, 0,5% – полынь, 0,5% – типчак. Высота экземпляров горца составляет 10-20 см, норичника – 25 см. Популяции в хорошем состоянии.

Обнаружено редкое реликтовое растение черепоплодник с проективным покрытием 0,5%, высота растений – 8-10 см. Популяция черепоплодника в хорошем состоянии: 3 шт. – в генеративной фазе; 3 шт. – в ювенильном состоянии.

Единично встречается пырей ползучий высотой 10 см.

Песок крупный зернистый аллювиального происхождения.

Ориентация 16 градусов на север. Участок в теплое время года используется как пляж. Видны следы от квадроциклов, встречается бытовой мусор.

Точка №2. Республика Бурятия, Прибайкальский район, село Горячинск. Севернее села Горячинск на 3 км (рис. 1б).

Координаты: 53.04801 с. ш. 108.32899 в. д.

Высота над уровнем моря 457 м.

Эоловая форма рельефа. Следы ветровой эрозии.

Поверхность неровная, полого-увалистая, оголенный грунт, песок до 80%. Площадь описания 10x10 м.

Крупные бугры образованы дернинами остролодочника.

Травяной покров местами слабо сомкнут. Общее проективное покрытие – 40%.

Ярусность слабо выражена.

1 ярус: овсяница (генеративные побеги прошлогодние), полынь (высота 50 см).

2 ярус: зонтичные, норичник вырезной, типчак байкальский (высота 20 см).

3 ярус: горец, бурачок (высота 5 см).

Видовой состав:

Колосняк песчаный – ОПП – 0,5 %;

Типчак – 2 %, вегетативная стадия – колошение;

Лук – 0,2 %;

Бурачок – 5 % , стадия цветения;

Полынь – 1,5 % вегетирует;

Зонтичные – 1 %, стадия бутонизации;

Норичник вырезной – 3 %, стадия бутонизации и начала цветения;

Остролодочник – 5%, стадия цветения;

Овсяница – 1%, стадия колошения;

Горец – 0,5%, стадия бутонизации,

Кострец безостый – 0,5%, стадия колошения

Точка №3. Республика Бурятия, Баргузинский район, Баргузинская долина, «Ининский сад камней» (рис.1в).

Координаты: 53.4432038; 108.32899.

Высота над уровнем моря 517 м. Северо-запад 32 градуса.

Эоловая форма рельефа.

Выходы камней 30%. Камни покрыты накипными лишайниками.

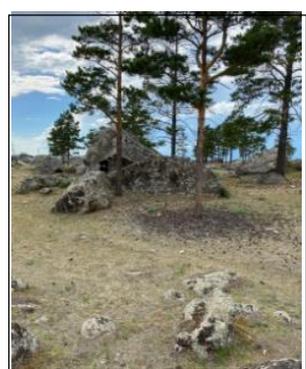
Из деревьев: сосна сибирская – 5 штук, сомкнутость крон – 0,5%; ОПП – 70%. Опад – 2 см. Растения в сильно угнетенном состоянии. Почва – сухая, плотная. Присутствие экскрементов животных.



а



б



в

Рис. 1. Точки выполнения геоботанических описаний и отбора проб

Точки отбора помечены на карте (рис. 2).

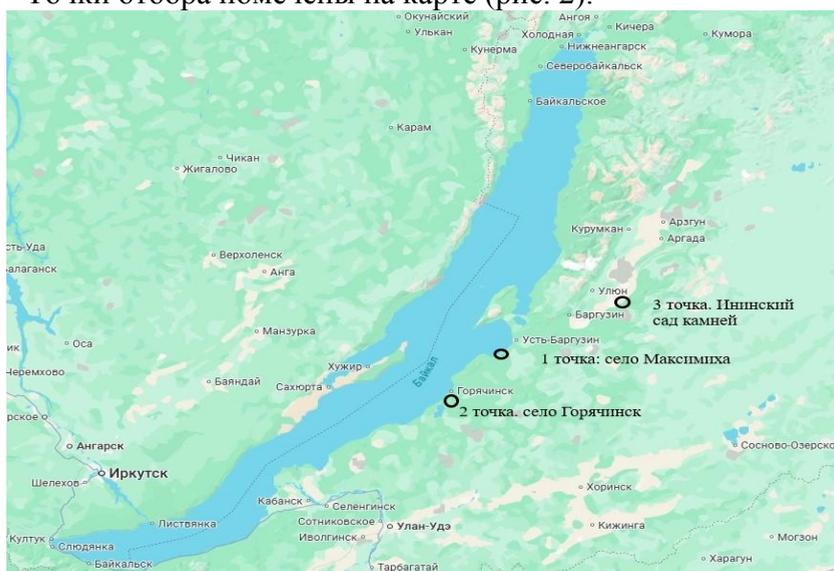


Рис. 2. Точки отбора проб

В результате исследований выявлены виды растений, преобладающие на песчаных почвах (табл. 2).

Таблица 2.

Видовое разнообразие растений изученных местообитаний

Точки	Виды
№1	Полынь болотная – <i>Artemisia palustris</i> L., Овсяница валисская (типчак) – <i>Festuca valesiáca</i> Schleich.ex Gaudi, Колосняк песчаный – <i>Leymus arenarius</i> (L.) Hochst., Черепоплодник почтишерстистый – <i>Craniospermum subvillosum</i> Lehm., Пырей ползучий – <i>Elytrigia repens</i> (L.) Nevski, Горец перечный – <i>Persicária hydropíper</i> (L.) Delarbre, Норичник вырезной – <i>Scrophularia incise</i> L.
№2	Горец перечный – <i>Persicária hydropíper</i> (L.) Delarbre, Норичник вырезной – <i>Scrophularia incise</i> L., Колосняк песчаный <i>Leymus arenarius</i> (L.) Hochst., Овсяница валисская (типчак) – <i>Festuca valesiáca</i> Schleich.ex Gaudi, Бурачок ленский – <i>Alyssum lenense</i> Adams, Лук – <i>Allium</i> sp.1, Полынь болотная – <i>Artemisia palustris</i> L., Остролодочник – <i>Oxytropis</i> sp., Овсяница – <i>Festuca</i> sp., Кострец безостый – <i>Bromus inermis</i> Leys, Зонтичные – <i>Apiaceae</i> sp.
№3	Овсяница валисская (типчак) – <i>Festuca valesiáca</i> Schleich.ex Gaudi, Бурачок ленский – <i>Alyssum lenense</i> Adams, Полынь болотная – <i>Artemisia palustris</i> L., Лапчатка – <i>Potentilla</i> sp., Лапчатка гусиная – <i>Potentilla anserina</i> L., Лук – <i>Allium</i> sp., Лилия карликовая – <i>Lilium pumilum</i> Delile.

По результатам анализа видового разнообразия выявлено, что растения-индикаторы песчаных почв Байкала являются преимущественно представители семейства злаковые: колосняк песчаный – солнцелюбивое растение, требующее рыхлых песчаных почв; овсяница валисская (типчак) – растения, предпочитающие солнечные места, обладают высокой засухоустойчивостью.

К особенностям злаковых, позволяющих им существовать и распространяться в условиях малого обеспечения водой и высоким поступлением солнечной энергии можно отнести: мочковатую корневую систему, стебель в виде соломины и возможность ветроопыления, присущего песчаным почвам из-за сильных ветров. Индикаторным растением можно также считать полынь болотную – растение, преобладающее на песчаных побережьях рек и озер. Кроме того, стоит учесть географическое расположение точек пробоотбора: точки №1 и №2 – относятся к побережью озера Байкал – что также объясняет наличие растений таких семейств, как злаки. Точка №3 в меньшей мере обеспечена водой, однако вследствие высокой степени осадков и высокой солнечной обеспеченности идет распространение злаковых растений. Внешний вид растений – низкорослые и степные растения с сухими стеблями, что обуславливает наличие таких растений на песчаных почвах.

Растения, которые адаптировались под географические и климатические условия песчаных почв, так же следует считать: горец перечный, бурачок ленский, норичник вырезной, черепоплодник почтишерстистый. Результаты химического анализа проб представлены в табл. 3 и на рис. 3.

Таблица 3.

Результаты химического анализа

	Точка №1	Точка №2	Точка №3
Содержание Ca (мг-экв/50 г почвы)	0,18	0,47	1,57
Содержание Mg (мг-экв/50 г почвы)	2,20	1,79	1,61
Содержание Ca+Mg (мг-экв/50 г почвы)	2,38	2,27	3,18
pH	7,4	8,0	8,3

Суммируя полученные данные можно сказать, что наибольшее содержание кальция присутствует в пробе, взятой в точке №3, магний преобладает в точке №1, а по суммарному показателю двух металлов – точка №3. Результаты определения кислотности-щелочности среды показали, что точка №1 ближе к нейтральной среде, а точки №2 и №3 имеют слабощелочную среду.

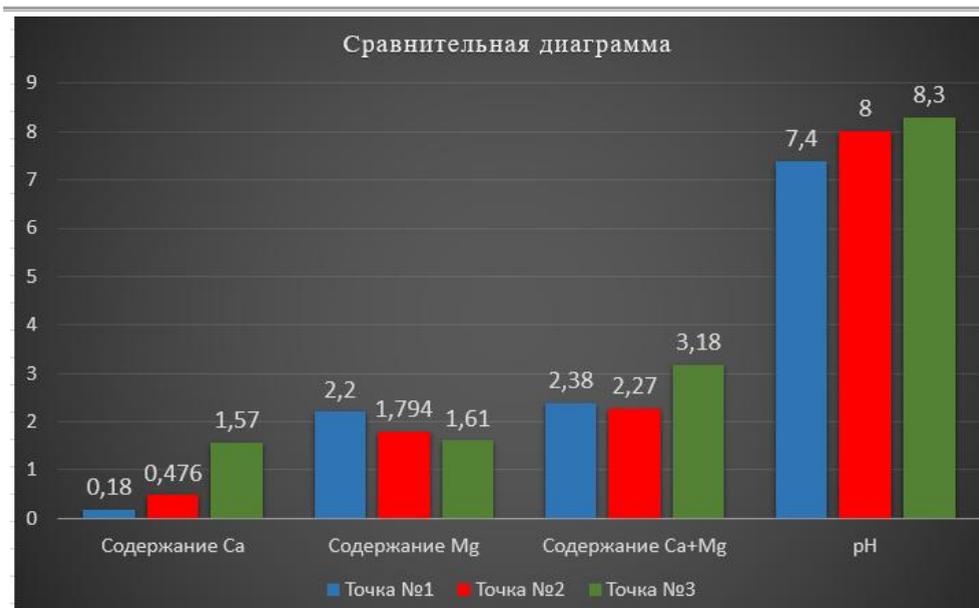


Рис. 3. Сравнительная диаграмма кислотно-щелочного показателя, содержание металлов

В почвах, находящихся на отдалении от водных объектов – содержание металлов и кислотно-щелочной показатель наибольший, что может служить объяснением высокого влияния солнечной энергии и малого обеспечения водой. Кроме того, песчаные почвы обладают высокой проницаемостью, малым размером между частицами и быстрым охлаждением, что также является преградой для распространения и роста растений. На подвижных песках, где проводились наши исследования, общее проективное покрытие и видовое разнообразие растений характеризовались низкими показателями. Преобладали представители семейства злаковые, это может быть связано со свойствами самих растений. Данное семейство идеально подходит для песчаных почв по своим характеристикам.

При анализе литературных данных найдены результаты подобного исследования на западном побережье озера Байкал. Состав песчаных почв отличался в зависимости от местоположения точек отбора проб. Получены результаты, что соленость почвы и содержание металлов не высокое из-за взаимного влияния низких температур и высокой влажности [1, 8].

Влияние растительности на песчаные почвы заключается в сохранении процессов круговорота веществ и предотвращении деградации почвы от водной и ветровой эрозии. Учитывая климатические факторы, наличие растений на подвижных песках напрямую связано с наличием минеральных веществ в песках.

**Выводы.** Анализируя видовой состав растений, можно отметить, что подвижные пески обладают специфическими и сложными свойствами для распространения и развития растений. Выявлено низкое видовое разнообразие (16 видов) и обилие растений. Наибольшее видовое разнообразие зафиксировано на точке №2 (село Горячинск). Это говорит о том, что близкое расположение водного объекта служит источником плодородия для подвижных песков.

Химический анализ песчаной почвы показал, что наибольшая соленость выявлена в точке №3, которая находится вдали от водных источников. Две другие точки характеризуются меньшей соленостью, в результате близкого расположения к озеру Байкал.

Необходимы дальнейшие исследования по влиянию подвижных песков на видовое разнообразие растений, так как данные местообитания являются уникальными природными объектами. Исторические аспекты образования песчаных почв указывают на многие особенности текущего состояния почв и разнообразия растений. Кроме того, антропогенное влияние также оказывает воздействие на состав и условия распространения растений, в том числе и видового разнообразия.

### СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Акиянова Ф.Ж. Подвижные пески полуострова Бузачи (Бозашы) / Ф.Ж. Акиянов, О.Е. Семенов, Е.Е. Халыков // Гидрометеорология и экология. – 2012. – №. 1 (64). – С. 58-73.
2. Андрейча Д.В. Опасные метеорологические явления Иркутской области: дис. – Сибирский федеральный университет, 2023.
3. Байкал: климат, ветры, туманы, миражи [Электронный ресурс] // Алтур-Байкал. URL: <http://atb38.com/klimat> (дата обращения: 10.10.24)
4. Боголюбов А.С. Простейшая методика геоботанического описания леса / А.С. Боголюбов, А.Б. Панков // Методическое пособие. М. – 1996.
5. Ветры Байкала [Электронный ресурс] // Байкал Экотуризм. URL: <https://baikalecotourism.ru/vetra> (дата обращения: 24.10.24)
6. ГОСТ 26428-85. Почвы. Методы определения кальция и магния в водной вытяжке. Официальное издание. – М.: Издательство стандартов, 1985 год.
7. Дулепова Н.А. Растительность песчаных побережий озера Байкал / Н.А. Дулепова // Растительность России. – 2016. – №. 29. – С. 46-66.
8. Иванов А.Д. Образование и распространение сыпучих песков в Баргузинской впадине / А.Д. Иванов // Краеведческий сб. Улан-Удэ. Бур. фил геогр. общества СССР-1960. Вып. V. – 1960. – С.

79-90.

9. Иметхенов А.Б. Атлас Республики Бурятия, 48 // Москва: Федеральная служба геодезии и картографии России. – 2000.

10. Климат Прибайкальского национального парка [Электронный ресурс] // Заповедное Прибайкалье. URL: <https://baikal-1.ru/specialists/pribaikalsky/climate/> (дата обращения: 14.10.24)

11. Носов В.В. и др. Когерентная турбулентность на территории Байкальской астрофизической обсерватории / В.В. Носов // Известия вузов. Физика. – 2012. – Т. 55. – №. 9-2. – С. 204-205.

12. Определитель растений Бурятии / Анехонов О.А., Пыхалова Т.Д., Осипов К.И., Сэкулич И.Р., Бадмаева Н.К. Намзалов Б.Б., Кривобоков Л.В., Мункуева М.С., Суткин А.В., Тубшинова Д.Б., Тубанова Д.Я. – Улан-Удэ, 2001. – 672 с.

13. Погода на Байкале [Электронный ресурс] // Tutu путеводитель URL: <https://www.tutu.ru/geo/rossiya/baikal/article/weather/#:~:text> (дата обращения: 21.10.24)

14. Популярный атлас-определитель. Дикорастущие растения / Новиков В.С., Губинов И.А. – М.: Дрофа, 2002. – 416 с.

15. Сергачева Е.А. Исследование туристско-рекреационной зоны Прибайкальского национального парка / Е.А. Сергачева, В.В. Игumenъшева // Сборник научных трудов Ангарского государственного технического университета. – 2020. – Т. 1. – №. 17. – С. 243-250.

16. Храмова А.И. Оценка туристско-рекреационных ресурсов «Большой Байкальской тропы» (Прибайкальский национальный парк): выпускная бакалаврская работа по направлению подготовки: 05.03. 02-География. – 2023.

## REFERENCES

1. Akiyanova F.Zh., Semyonov O.E., Khalikov E.E. (2012). Podvizhnye peski poluostrova Buzachi (Bozashy) [Mobile sands of the Buzachi Peninsula]. *Gidrometeorologiya i ekologiya* [Hydrometeorology and Ecology], 1(64), 58–73.

2. Andreycha D.V. (2023). *Opasnye meteorologicheskie yavleniya Irkutskoy oblasti* [Dangerous meteorological phenomena in the Irkutsk region] (Doctoral dissertation, Siberian Federal University).

3. Bajkal: klimat, vetry, tumany, mirazhi [Baikal: climate, winds, fogs, mirages] (n.d.). *Altur-Bajkal*. Retrieved October 10, 2024, from <http://atb38.com/klimat>.

4. Bogolyubov A.S., & Pankov A.B. (1996). *Prostejshaya metodika geobotanicheskogo opisaniya lesa* [The simplest method of geobotanical description of a forest]. In *Metodicheskoe posobie* [Methodical guide]. Moscow.

5. *Vetry Bajkala* [Winds of Baikal] (n.d.). *Bajkal Ekoturizm*.

Retrieved October 24, 2024, from <https://baikalecotourism.ru/vetra>.

6. GOST 26428-85. (1985). Pochvy. Metody opredeleniya kal'tsiya i magniya v vodnoy vytyazhke [Soils. Methods for determination of calcium and magnesium in aqueous extract]. Official edition. Moscow: Izdatel'stvo standartov.

7. Dulepova N.A. (2016). Rastitel'nost' peschanykh poberezhnykh ozera Baykal [Vegetation of sandy coasts of Lake Baikal]. Rastitel'nost' Rossii [Vegetation of Russia], 29, 46–66.

8. Ivanov A.D. (1960). Obrazovanie i rasprostranenie sypuchikh peskov v Barguzinskoy vpadine [Formation and distribution of loose sands in the Barguzin depression]. In Kraevedcheskiy sb. Ulan-Ude. Bur. fil geogr. obshchestva SSSR [Local history collection. Ulan-Ude. Bur. branch of the Geographical Society of the USSR] (Vol. V, pp. 79–90).

9. Imetkhenov A. B. (2000). Atlas Respubliki Buryatiya [Atlas of the Republic of Buryatia], 48. Moscow: Federal'naya sluzhba geodezii i kartografii Rossii.

10. Klimat Pribaikalskogo natsional'nogo parka [Climate of the Pribaikal National Park] (n.d.). Zapovednoe Pribaikal'e. Retrieved October 14, 2024, from <https://baikal-1.ru/specialists/pribaikalsky/climate/>.

11. Nosov V.V., et al. (2012). Kogerentnaya turbulentnost' na territorii Bajkal'skoj astrofizicheskoy observatorii [Coherent turbulence on the territory of the Baikal Astrophysical Observatory]. Izvestiya vuzov. Fizika [Proceedings of Universities. Physics], 55(9-2), 204–205.

12. Anekhnov O.A., Pykhalova T.D., Osipov K.I., Sekulich I.R., Badmaeva N.K., Namzalov B.B., Krivobokov L.V., Munkueva M.S., Sutkin A.V., Tubshinova D.B., & Tubanova D.Ya. (2001). Opredelitel' rasteniy Buryatii [Plant identifier of Buryatia]. Ulan-Ude.

13. Pogoda na Baykale [Weather on Baikal] (n.d.). Tutu putevoditel'. Retrieved October 21, 2024, from <https://www.tutu.ru/geo/rossiya/baikal/article/weather/#:~:text=>

14. Novikov V.S., Gubanov I.A. (2002). Populyarnyy atlas-opredelitel'. Dikorastushchie rasteniya [Popular atlas guide. Wild plants]. Moscow: Drofa. ISBN 5-7107-3766-6.

15. Sergacheva E.A., Igumen'sheva V.V. (2020). Issledovanie turistsko-rekreatsionnoy zony Pribaikalskogo natsional'nogo parka [Study of the tourist and recreational zone of the Pribaikal National Park]. In Sbornik nauchnykh trudov Angarskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta [Collection of scientific papers of the Angarsk State Technical University], Vol. 1, No. 17, pp. 243–250.

16. Khranova A.I. (2023). Otsenka turistsko-rekreatsionnykh resursov «Bol'shoy Baykal'skoy tropy» (Pribaikalskiy natsional'nyy park) [Assessment of tourist and recreational resources of the "Great Baikal Trail" (Pribaikal National Park)] (Bachelor's thesis in the field of study 05.03.02 – Geography).

### *Информация об авторах*

**Э.Р. Яхин** – студент 3 курса бакалавриата направления «Биология», профиль «Биоэкология», группы Б\_БИО-31-22, БГПУ им. М.Акмуллы, Уфа;

**Э.Р. Большакова** – студентка 3 курса бакалавриата направления «Биология», профиль «Биоэкология», группы Б\_БИО-31-22, БГПУ им. М.Акмуллы, Уфа;

**Н.Н. Султанова** – студентка 3 курса бакалавриата направления «Биология», профиль «Биоэкология», группы Б\_БИО-31-22, БГПУ им. М.Акмуллы, Уфа;

**Е.М. Базарсадаева** – студентка 3 курса бакалавриата направления «Биология», биологический профиль, группы 02520 БГУ им. Д. Банзарова, Улан-Удэ;

**В.П. Янькова** – студентка 3 курса бакалавриата направления «Биология», биологический профиль, группы 02520 БГУ им. Д. Банзарова, Улан-Удэ;

**К.А. Шайдурова** – студентка 3 курса бакалавриата направления «Биология», биологический профиль, группы 02520 БГУ им. Д. Банзарова, Улан-Удэ;

**И.В. Дылгырова** – студентка 3 курса бакалавриата направления «Биология», биологический профиль, группы 02520 БГУ им. Д. Банзарова, Улан-Удэ;

**Т.Г. Басхаева** – к.б.н., заведующий кафедрой ботаники, БГУ им. Д. Банзарова, Улан-Удэ;

**Н.В. Суханова** – д.б.н., заведующий кафедрой биоэкологии и биологического образования, БГПУ им. М. Акмуллы, Уфа;

**А.В. Саттарова** – бакалавр, БГПУ им. М. Акмуллы, Уфа.

### *Information about the authors*

**E.R. Yakhin** – 3rd year undergraduate student in the direction of “Biology”, major “Bioecology”, group B\_BIO-31-22, BSPU named after. M. Akmully, Ufa;

**E.R. Bolshakova** – 3rd year undergraduate student in the direction of “Biology”, major “Bioecology”, group B\_BIO-31-22, BSPU named after. M. Akmully, Ufa;

**N.N. Sultanova** – 3rd year undergraduate student in the direction of “Biology”, major “Bioecology”, group B\_BIO-31-22, BSPU named after. M. Akmully, Ufa;

**E.M. Bazarsadaeva** – 3rd year undergraduate student in the direction of “Biology”, biological profile, group 02520 BSU named after. D. Banzarova, Ulan-Ude;

**V.P. Yankova** – 3rd year undergraduate student in the direction of "Biology", biological profile, group 02520 BSU named after D. Banzarova, Ulan-Ude;

**K.A. Shaidurova** – 3rd year undergraduate student in the direction of "Biology", biological profile, groups 02520 BSU named after D. Banzarov, Ulan-Ude;

**I.V. Dylgyrova** – 3rd year bachelor's student of the direction "Biology", biological profile, groups 02520 BSU named after D. Banzarov, Ulan-Ude ;

**T.G. Baskhaeva** – PhD, Head of the Department of Botany, BSU named after D. Banzarov, Ulan-Ude;

**N.V. Sukhanova** – Doctor of Biological Sciences, Head of the Department of Bioecology and Biological Education, M. Akmulla Belarusian State Pedagogical University, Ufa;

**A.V. Sattarova** – Bachelor, BSPU named after. M. Akmully, Ufa.

*Статья поступила в редакцию 28.04.2025; принята к публикации 30.05.2025.*

*The article was submitted 28.04.2025; accepted for publication 30.05.2025.*

## ХИМИЧЕСКИЕ НАУКИ

Научная статья

УДК 547.541.3

DOI 10.21510/3034-266X-2025-2-85-117

### ПРИМЕНЕНИЕ ГИДРОКСИКИСЛОТ В КАЧЕСТВЕ СТИМУЛЯТОРОВ РОСТА РАСТЕНИЙ

*Вагиф Магеррам оглу Аббасов<sup>1</sup>, Рена Ахад гызы Асадова<sup>2</sup>,  
Фидан Мовсум гызы Гасанова<sup>3</sup>, Фахраддин Нифи оглу Агаев<sup>4</sup>*

*<sup>1,2,3</sup>Институт нефтехимических процессов Министерства  
науки и образования Азербайджана, Баку, Азербайджан,  
r.asadova88@mail.ru*

*<sup>4</sup>Научно-исследовательский институт овощеводства  
Азербайджана  
r.asadova88@mail.ru*

**Аннотация.** Гидроксикислоты представляют собой органические соединения, молекулы которых содержат две функциональные группы, одна из которых является карбоксильную группу, а другая представляет собой гидроксильную группу. Наличие этих функциональных групп, во-многом, предопределяет специфичность свойств гидроксикислот и их применение в различных сферах производственной деятельности. Среди областей применения гидроксикислот особо следует выделить наличие в них эффективных рост регулирующих свойств и вследствие этого, их использование в качестве фитостимуляторов. В представленной работе нами обобщены результаты исследований, посвященных применению некоторых наиболее часто используемых гидроксикислот в сельскохозяйственной практике, в частности, гликолевой, яблочной, лимонной, молочной и салициловой кислот, а также их влиянию этих кислот и их функционально замещенных производных на рост и развитие растений в целом, а также на их конкретные органы и части (корневая, стеблевая и др.). Также в работе представлены результаты исследований, проведенных нами на примере салициловой кислоты в полевых условиях. Были получены композиции некоторых щелочных солей салициловой кислоты и солей природных нефтяных кислот, выделенных из состава бакинских нефтей. Полученные в мольном соотношении 1:1 композиции были испытаны в качестве рост регуляторов на примере хлопчатника и были достигнуты весьма удовлетворительные результаты, что позволяет рекомендовать эти композиции, полученные на основе салициловой кислоты в качестве фитостимуляторов. Показано, что вышеуказанные композиции

способствуют ускорению роста саженцев хлопчатника и в данных условиях высота саженцев достигает 105-110 см.

**Ключевые слова:** гидроксикислоты, салициловая кислота, гликолевая кислота, яблочная кислота, лимонная кислота, фитогормоны, регуляторы роста растений

**Для цитирования:** Аббасов В.М., Асадова Р.А., Гасанова Ф.М., Агаев Ф.Н. Применение гидроксикислот в качестве стимуляторов роста растений // Вестник Башкирского государственного педагогического университета им. М.Акмиллы. Серия: Естественные науки. 2025. № 2. С. 85-117.

## CHEMICAL SCIENCES

Original article

### USE OF HYDROXY ACIDS AS PLANT GROWTH STIMULATORS

*Vagif Magerram Abbasov<sup>1</sup>, Rena Akhad Asadova<sup>2</sup>, Fidan Movsum Gasanova<sup>3</sup>, Fakhraddin Nifi Aghayev<sup>4</sup>*

*<sup>1,2,3</sup>Institute of Petrochemical Processes of the Ministry of Science and Education of Azerbaijan, Baku, r.asadova88@mail.ru*

*<sup>4</sup>Scientific Research Institute of Vegetable Growing of Azerbaijan  
r.asadova88@mail.ru*

**Abstract.** Hydroxy acids are organic compounds whose molecules contain two functional groups, one of which is a carboxyl group and the other is a hydroxyl group. The presence of these functional groups largely determines the specificity of the properties of hydroxy acids and their application in various areas of industrial activity. Among the areas of application of hydroxy acids, it is especially important to highlight the presence of effective growth-regulating properties in them and, as a result, their use as phytostimulants. In this paper, we summarize the results of studies devoted to the use of some of the most commonly used hydroxy acids in agricultural practice, in particular, glycolic, malic, citric, lactic and salicylic acids, as well as the effect of these acids and their functionally substituted derivatives on the growth and development of plants in general, as well as on their specific organs and parts (root, stem, etc.). The paper also presents the results of studies we conducted on the example of salicylic acid in field conditions. Compositions of some alkaline salts of salicylic acid and salts of natural petroleum acids isolated from the composition of Baku oils were obtained. The compositions obtained in a molar ratio of 1:1 were tested as growth regulators on the example of cotton and very satisfactory results were achieved, which allows us to recommend these compositions obtained on the basis of salicylic acid as phytostimulators. It is shown that the above compositions contribute to the acceleration of the growth of

cotton seedlings and under these conditions the height of seedlings reaches 105-110 cm.

**Keywords:** hydroxy acids, salicylic acid, glycolic acid, malic acid, citric acid, phytohormones, plant growth regulators

**For citing:** Abbasov V.M., Asadova R.A., Gasanova F.M., Aghayev F.N. Use of hydroxyl acids as plant growth derivatives // Bulletin of Bashkir State Pedagogical University named after M. Akmully. Series: Natural Sciences. 2025. №2. pp. 85-117.

Регуляторы роста растений (PGR) влияют на рост и развитие как в оптимальных, так и в стрессовых условиях [1]. Они борются с неблагоприятным эффектом, действуя как химический посредник и при сложной регуляции, позволяя растениям выживать в стрессовых условиях. PGR опосредуют различные физиологические и биохимические реакции, тем самым снижая токсичность, вызванную пестицидами. Экзогенное применение PGR смягчает токсичность пестицидов, стимулируя антиоксидантную защитную систему и обеспечивая устойчивость к стрессовым условиям, контролируя выработку активных форм кислорода, гомеостаз питательных веществ, увеличивают выработку вторичных метаболитов и запускают антиоксидантные механизмы. Эти фитогормоны защищают растения от окислительного повреждения, активируя каскад протеинкиназы, стимулируемый митогеном.

Среди различных типов (PGR) в последние годы особо выделяют гидроксикислоты. В частности, соли гликолевой, яблочной, молочной и 2-гидроксиглутаровой кислот являются важными соединениями в метаболизме растений. Большинство из них можно найти в виде D- и L-стереоизомеров. Эти 2-гидроксикислоты играют неотъемлемую роль в первичном метаболизме растений, где они участвуют в таких фундаментальных путях, как фотодыхание, цикл трикарбоновых кислот, цикл глиоксилата, путь метилглиоксаля и катаболизм лизина [2,3]. Недавние молекулярные исследования *Arabidopsis thaliana* помогли выяснить участие этих гидроксикислот в метаболизме и физиологии растений.

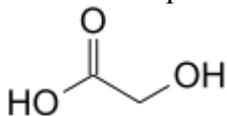
Целью представленной статьи является изучение роли гидроксикислот в процессе жизнедеятельности растительных организмов, их применение в качестве регуляторов роста растений, а также показать результаты собственных исследований, осуществленных в этой области.

Среди основных гидроксикислот, широко применяемых в качестве регуляторов роста растений особо следует отметить гликолевую, яблочную, молочную, лимонную, салициловую. А также некоторые другие гидроксикислоты.

Итак, гидроксикислоты представляют собой карбоновые кислоты, молекулы которых содержат одновременно две функциональные группы – карбоксильную и гидроксильную

Гликолевая кислота, а также ее соли или эфиры - гликоляты

Она является простейшей гидроксикислотой. Растения вырабатывают гликолевую кислоту во время фотодыхания. Она перерабатывается путем преобразования в глицин в пероксисомах и в полуальдегид тартроновой кислоты в хлоропластах.

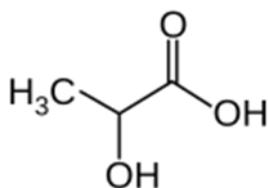


Гликолевая кислота может использоваться в качестве регулятора роста для содействия развитию растений. Исследования показали, что гликолевая кислота может способствовать таким процессам, как прорастание семян, рост корней и расширение листьев, тем самым увеличивая урожайность и качество сельскохозяйственных культур. Кроме того, гликолевая кислота может использоваться в качестве промежуточного продукта в синтезе пестицидов с инсектицидными, бактерицидными и гербицидными свойствами, обеспечивая эффективную поддержку сельскохозяйственного производства. Так, в патенте [4] сообщается, что гликолевая кислота, нанесенная на листья, открывает поры устьиц и предотвращает высыхание растений. Ее также можно сочетать с известными десикантами в более низких концентрациях, а также с системными препаратами, такими как гербициды и гибберелиновая кислота, чтобы помочь их поглощению и транслокации растением.

В другом патенте [5] описаны методы повышения устойчивости растений к воздействию стресса с использованием гликолевой кислоты, ее соли или их смеси. Описаны также методы стимуляции роста растений с использованием аммонийной соли гликолевой кислоты. Далее описаны методы стимуляции роста микроорганизмов с использованием выбранных количеств гликолевой кислоты, ее соли или их смеси.

Сообщается [6], что избыточное содержание свинца в почве приводит к потере продуктивности сельскохозяйственных угодий, а загрязненная свинцом пища попадает в пищевую цепочку, что серьезно угрожает здоровью человека. Древесная декоративная гортензия крупнолистная является потенциальным растением для рекультивации почвы, загрязненной свинцом; однако эффективность фиторемедиации необходимо повысить. Гликолевая кислота (GA) — это натуральная органическая кислота, выделяемая корнями *H. macrophylla* при стрессе от свинца. Различные дозы Pb и GA использовались для изучения влияния GA на антиоксидантную

систему, активность почвенных ферментов, накопление Pb и минеральные элементы в *H. macrophylla* на разных стадиях роста растений. Результаты показали, что относительно низкая концентрация GA увеличила эффективность рекультивации однолетней *H. macrophylla* на 39,65% и способствовала поглощению Pb за счет увеличения содержания K, Mn, Fe и Zn, тем самым увеличивая коэффициент транслокации (TF) и коэффициент биоконцентрации (BCF). Двухлетняя *H. macrophylla* сопротивлялась токсичности металлов за счет увеличения содержания MDA и увеличения содержания Ca, Mg, K и Fe для улучшения эффекта фиторемедиации. Добавление 1,5 мМ GA увеличило ее TF и BCF на 292% и 153% соответственно. Фактор транслокации 1-летней *H. macrophylla* был в два раза выше, чем у 2-летней *H. macrophylla*, а показатели роста были лучше. Это исследование дает первые всеобъемлющие доказательства того, что GA усиливает поглощение и транслокацию Pb в *H. macrophylla*, и предполагает, что растения разного возраста имеют разную эффективность удаления Pb.



Молочная кислота

В работе [7] отмечается, что лес покрывает ~12% площади континента в мире. Однако засоление почвы из-за химического или физического выветривания горных пород, чрезмерного выпаса скота и ненадлежащих методов ведения сельского хозяйства и т. д. угрожает качеству лесса и урожайности сельскохозяйственных культур. Следовательно, для улучшения качества лессовой почвы необходимо изучить устойчивые, доступные и недорогие почвенные добавки. В данном случае L-молочная кислота, как основной побочный продукт в процессе ферментации биологических отходов, была исследована из-за ее доступности и доступности для этой цели. Были исследованы взаимодействия L-молочной кислоты с лессовой почвой и микросистемой ризосферы, чтобы раскрыть ее способность улучшать проблемы, связанные с засолением, и восстанавливать сельскохозяйственные возможности почвы. Эффекты добавления L-молочной кислоты на микроорганизмы ризосферы почвы и рост проростков пшеницы были исследованы при дозировках L-молочной кислоты 0,07–2,99 мг-С/г почвы с определением физиологических характеристик проростков пшеницы, основной почвы и микроорганизмов ризосферы. Было показано, что низкая доза L-

молочной кислоты (0,07–0,75 мг-С/г почвы) снижает содержание ионов соли ( $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$  и  $\text{Ca}^{2+}$ ) в основной почве и смягчает последствия солевого стресса для растений. Напротив, добавление высокой дозы L-молочной кислоты (1,49–2,99 мг-С/г почвы) повышало содержание ионов соли ( $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$  и  $\text{Ca}^{2+}$ ) в основной почве и усиливало солевой стресс. В соответствии с соотношением  $\text{K}^+:\text{Na}^+$  и показателями содержания хлорофилла в проростках пшеницы, низкая доза L-молочной кислоты усилила фотосинтез растений и устойчивость к солевому стрессу. Ризосферная микроэкосистема, индуцированная L-молочной кислотой, создала среду, которая поддерживала рост микроорганизмов с повышенным уровнем растворимого фосфора, что обеспечило основу для цикла питания растение-микроб-почва и метаболизма. Газовая хроматография – масс-спектрометрия Orbitrap высокого разрешения использовали летучие органические соединения растений (ЛОС) в качестве индикаторов специфических и чувствительных сигналов, чтобы показать, что низкая доза L-молочной кислоты поддерживала обогащение ЛОС в надземных частях пшеницы, повышая устойчивость растений к болезням и тем самым увеличивая надземную биомассу растений. Высокая доза L-молочной кислоты снизила соотношение  $\text{K}^+:\text{Na}^+$  и содержание хлорофилла в пшенице и снизила устойчивость фотосинтеза растений к солевому стрессу; кроме того, количество устойчивых к болезням ЛОС, доступных пшенице, было сокращено, что подавило рост пшеницы. Это исследование показывает, что L-молочная кислота, добавленная в соответствующей дозе, может эффективно принести пользу микроэкосистеме ризосферы и росту растений, тем самым усиливая защиту и урожайность растений. Таким образом, почвенная добавка, полученная из L-молочной кислоты, демонстрирует значительный потенциал при применении на лессовых почвах.

В тепличных испытаниях рост корней *Asparagus officinalis* L. увеличился до 30%, когда корни 3-недельных саженцев были погружены в культуральный фильтрат *Pseudomonas putida* RSA9, штамма, выделенного из ризосферной почвы спаржи и антагониста возбудителя корневой гнили *Fusarium moniliforme* [8]. Культуральный фильтрат был экстрагирован этилацетатом при pH 3, и экстракты были фракционированы на колонке с октадезилсиликагелем. Было обнаружено, что активная фракция представляет собой смесь янтарной и молочной кислот в соотношении 45:55. Корневая масса увеличилась на 40%, когда корни саженцев были обработаны смесью кислот в соотношении 1:1 при концентрации 10 ppm. Результаты дают объяснение стимулирующему рост растений эффекту некоторых ризобактерий; Бактерии могут секретировать органические кислоты, такие как янтарная и молочная кислоты, и эти кислоты могут

усиливать рост растений в условиях, в которых популяции патогенов сокращаются.

Показано [9], что полимеры L-молочной кислоты способствуют росту растений. Сухой вес ряски (*Lemna minor* L.) и кукурузы (*Zea mays* L) увеличился более чем вдвое, когда растения выращивались в среде, содержащей димер L-молочной кислоты, L-лактоиллактовую кислоту. Более высокие полимеры были одинаково эффективны в увеличении биомассы растений. Мономерная молочная кислота и полимеры D-молочной кислоты не показали биологической активности. Увеличение биомассы растений сопровождалось увеличением накопления хлорофилла и ростом корней. Стимулирование накопления хлорофилла и биомассы может быть связано с повышенной способностью усваивать питательные вещества, поскольку растения, обработанные L-лактоиллактовой кислотой, не показали снижения биомассы при выращивании в среде, которая ограничивала рост контрольных растений.

Индукцированная устойчивость считается экологически чистой стратегией борьбы с болезнями, которая может повысить устойчивость растений к болезням, побуждая иммунную систему растений активировать защитный ответ [10]. В последние годы исследования показали, что молочная кислота может играть роль в защите растений от биологического стресса; однако, может ли молочная кислота повысить устойчивость табака к *Phytophthora nicotianae*, и ее молекулярный механизм остаются неясными. В нашем исследовании рост мицелия и производство спорангия *P. nicotianae* были ингибированы молочной кислотой *in vitro* дозозависимым образом. Применение молочной кислоты могло снизить индекс заболевания, а содержание общего фенола, салициловой кислоты (SA), жасмоновой кислоты (JA), лигнина и H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, активность каталазы (CAT) и фенилаланинаммиака-лиазы (PAL) были значительно увеличены. Для изучения этого защитного механизма устойчивости табака к болезням, индуцированного молочной кислотой, использовался анализ RNA-Seq. Молочная кислота повышает устойчивость к болезням табака, активируя Ca<sup>2+</sup>, сигнальную трансдукцию активных форм кислорода (ROS), регулируя антиоксидантные ферменты, сигнальные пути SA, JA, абсцизовой кислоты (ABA) и индол-3-уксусной кислоты (IAA), а также активируя гены, связанные с биосинтезом флавоноидов. Это исследование показало, что молочная кислота может играть роль в индуцировании устойчивости к болезни черной ножки табака; механизм, посредством которого молочная кислота индуцирует устойчивость к болезням, включает прямую противогрибковую активность и побуждение хозяина вырабатывать прямые и подготовленные защитные силы. В заключение, это исследование предоставило теоретическую основу для устойчивости,

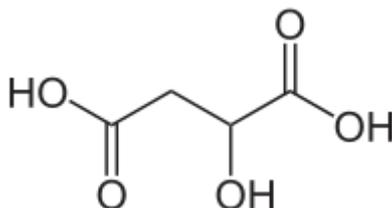
индуцированной молочной кислотой, и новую перспективу для профилактики и лечения болезни черной ножки табака.

Исследование [11] было направлено на изучение влияния янтарной кислоты, молочной кислоты и олигомеров молочной кислоты на рост гороховых проростков в водной культуре. Янтарная кислота и молочная кислота (каждая по 10 мг/л) не показали эффекта роста; однако, смесь обеих кислот увеличила биомассу в пересчете на сырой вес на 9% как в надземной, так и в подземной части горохового проростка. Смесь олигомеров молочной кислоты и янтарной кислоты не показала эффекта роста; однако, 10 мг/л олигомеров молочной кислоты в отдельности увеличили сырой вес на 13% в надземной и подземной частях. Гороховые проростки, высаженные в водной культуре с использованием олигомеров молочной кислоты, были гомогенизированы и разделены мембранным фильтром, а полученная жидкость была проанализирована с помощью ВЭЖХ-TOF/MS. Результаты анализа МС показали, что большинство олигомеров молочной кислоты, поглощенных ростками гороха, были линейными 2- и 4-олигомерами и циклическими 2-, 4- и 6-олигомерами. Не было никакой селективности в поглощении олигомеров молочной кислоты. Олигомеры молочной кислоты могут быть использованы для обогащения овощей с целью повышения их функциональности, поскольку эти олигомеры оказывают физиологические эффекты, такие как подавление пролиферации раковых клеток, и безопасны для использования даже в функциональных продуктах питания.

Полимолочная кислота (PLA) — это экологически чистый, разлагаемый полимер, который был предложен для использования в качестве матрицы для контролируемого высвобождения гербицидов [12]. Стимулирование роста и потенциал повышения урожайности низкомолекулярной (MW), поли(D,L-молочной кислоты) и D,L-лактида были оценены с использованием предпосевной заделки в почву сои (*Glycine max* (L.) Merrill). Исследования в теплицах подтвердили, что как лактид, так и PLA увеличивают площадь листьев сои, количество стручков, количество бобов и сухой вес бобов и растения. Урожайность семян сои была увеличена наиболее значительно (130%; в 2,3 раза) при еженедельном добавлении 30 ppm лактида, а также при однократном добавлении PLA с низкой MW (3500 дальтон) (40,6%; в 1,4 раза). Низкие уровни PLA были стимулирующими (15–30 ppm), в то время как более высокие уровни были ингибирующими, при этом было очевидно некоторое взаимодействие с условиями роста. Стимулирующий компонент был наиболее легко обеспечен еженедельным добавлением лактида, но также был обеспечен медленным высвобождением, гидролитическим расщеплением PLA в почве, причем 3500 Дальтон MW был лучше, чем более высокая MW PLA. В полевых исследованиях в двух местах PLA

(16,8 и 45,8 кг/га) увеличил урожайность сои на участке на 18%, что отразилось в увеличении, как роста, так и компонентов урожайности на растение (сухой вес растения, количество семян, сухой вес семян и количество стручков ветвей и семян). Уровни, используемые в полевых исследованиях, были выбраны так, чтобы быть похожими на уровень типичного носителя, используемого при медленном высвобождении гербицидов. Это исследование предполагает, что использование PLA в качестве инкапсулирующей матрицы для гербицидов может обеспечить снижение воздействия на окружающую среду и улучшенную борьбу с сорняками, в то же время, увеличивая урожайность сои за счет высвобождения стимулятора роста растений в форме олигомерной или мономерной молочной кислоты.

В работе [13] предложен новый рост регулятор растений на основе композиции, состоящей из молочной кислоты, амида и терпеноидных производных замещенных феноксикарбоновых кислот



*Яблочная (гидроксипутандиовая) кислота*

Эта кислота является двухосновной гидроксикислотой и она также часто используется в сельскохозяйственной технике в качестве регулятора роста растений. Так, в работе [14] сообщается, что яблочный фермент (МЭ) представляет собой семейство белков с несколькими изоформами, расположенными в разных компартментах эукариотических клеток. Это ключевой фермент, регулирующий метаболизм яблочной кислоты, который может катализировать обратимую реакцию окислительного декарбоксилирования яблочной кислоты. Он также является одним из важных ферментов в метаболизме растений и участвует во многих метаболических процессах. МЭ широко представлен в растениях и в основном обнаружен в цитоплазматической строме, митохондриях, хлоропластах. Он участвует в росте, развитии растений и реакции на стресс. Растения подвергаются стрессу из-за различных факторов окружающей среды, таких как засуха, высокая соль и высокая температура во время роста растений, и механизмы реакции растений на различные стрессы окружающей среды являются синергетическими. Многочисленные исследования показали, что МЭ участвует в процессе преодоления вышеуказанных факторов окружающей среды, повышая эффективность использования воды, улучшая фотосинтез растений,

обеспечивая восстановительную силу и т.д. В этом обзоре авторы обсуждают важную роль МЭ в развитии растений и реакции растений на стресс, а также перспективы его применения. Это дает теоретическую основу для будущего использования гена ME для молекулярной резистентности.

Отмечается [15], что роза является самым продаваемым в мире срезанным цветком, и существует высокий спрос на размноженные растения роз. Ауксины являются доминирующим регулятором роста, используемым для улучшения укоренения черенков; однако их применение остается трудоемким процессом, и, с другой стороны, существуют побочные эффекты, такие как плохой рост побегов. Органические кислотные спреи улучшили многие физиологические характеристики растений, что оправдывает изучение их возможного влияния на процесс укоренения в текущем исследовании. Различные концентрации лимонной (ЛК) или яблочной (ЯК) кислоты были распылены на маточные растения розы (*Rosa x hybrida* cv. 'Sherbet') перед взятием черенков. Яблочная или лимонная кислота (3, 6 или 9 мМ) применялась пять раз с интервалом в 14 дней в коммерческой теплице для производства срезанных цветов. Были подготовлены одноузловые черенки, которые были укоренены под туманом. Собранные данные включали процент укоренения, количество корней, длину корней и побегов, сухой вес и соотношение корней к побегам (R:S). Процент укоренения был увеличен всеми обработками. Лимонная кислота увеличила количество корней при уровне 6 мМ, затем 3 мМ лимонной кислоты. Средняя длина корней была увеличена всеми обработками, за исключением 3 и 6 мМ яблочной кислоты. Все обработки ЛК увеличили длину побегов, в то время как обработки ЯК на нее не повлияли. ЛК при уровне 3 и 6 мМ и 6 мМ ЯК увеличили сухой вес побегов, но только 9 мМ ЛК увеличили сухой вес корней. Обе органические кислоты оказали положительное влияние на реакцию укоренения роз сорта «Sherbet». Однако механизм наблюдаемых реакций на органические кислоты еще предстоит изучить. Хотя они улучшают физиологические показатели исходных растений, они также могут одновременно как улучшать укоренение, так и рост побегов новых растений.

Авторы работы [16] изучили влияние трех органических кислот (лимонной, винной и яблочной) на биомассу, содержание фотосинтетических пигментов и фотосинтетические параметры *Salix variegata* в условиях стресса от кадмия и наблюдали за ультраструктурой клеток мезофилла при каждой обработке. Стресс от кадмия значительно снизил фотосинтез за счет снижения содержания пигментов и нарушения структуры хлоропластов, что, следовательно, уменьшило биомассу. Однако соответствующее добавление трех органических кислот значительно увеличило биомассу *S. variegata* в

условиях стресса от кадмия. Среди них влияние яблочной или винной кислоты на накопление побегов и общей биомассы было больше, чем у лимонной кислоты. Снижение биомассы, вероятно, связано с процессом фотосинтеза. Результаты показали, что обработка каждой органической кислотой увеличивала чистую скорость фотосинтеза в условиях стресса от кадмия. Яблочная кислота способствовала росту растений и биомассе за счет увеличения содержания хлорофилла и смягчения повреждений фотосинтетического аппарата в результате стресса от кадмия. Винная кислота оказала незначительное влияние на содержание фотосинтетических пигментов, но она сыграла важную роль в смягчении ультраструктурного повреждения растений, вызванного Cd. Добавление лимонной кислоты значительно увеличило каротиноиды, а также количество и объем хлоропластов в клетках мезофилла, в то время как смягчение структурного повреждения в фотосинтетическом аппарате было слабее, чем при обработке винной кислотой или яблочной кислотой. Сделан вывод, что применение винной кислоты или яблочной кислоты эффективно для увеличения потенциала роста *S. variegata* в условиях стресса Cd и, таким образом, может быть перспективным подходом для фиторемедиации почвы, загрязненной Cd.

Для изучения влияния листовой подкормки 5-сульфосалициловой кислотой, яблочной кислотой, путресцином и нитратом калия на вегетативный рост и репродуктивные характеристики клубники сорта Сельва в качестве факторного эксперимента использовали в полностью рандомизированном дизайне с 4 повторениями, в котором факторы включали 5-сульфосалициловую кислоту на трех уровнях (0,5, 1,5 и 2,5 мМ), яблочную кислоту на трех уровнях (1,5, 2,5 и 5 мМ), путресцин на двух уровнях (1 и 2 мМ) и нитрат калия на двух уровнях (1 и 2%) [17]. В результате было показано, что 5-сульфосалициловая кислота в концентрации 2,5 мМ и нитрат калия в концентрации 2% увеличили вегетативный рост (сухой вес, площадь листьев, длина корней), количество цветов и вес первичных и вторичных цветков. 5-сульфосалициловая кислота в концентрации 2,5 мМ и яблочная кислота в концентрации 5 мМ увеличили общее количество фенолов, флавоноидов и нефлавоноидов клубники, но другие обработки не оказали существенного влияния на эту характеристику. Самый высокий процент общего количества растворимых сухих веществ, титруемой кислотности и аскорбиновой кислоты был достигнут в плодах, обработанных 2,5 мМ листовой 5-сульфосалициловой кислотой, а самый низкий был достигнут в контроле.

Лимонная кислота является обычным ингредиентом во многих рецептурах растворов для ваз, но использование лимонной кислоты перед сбором урожая является новым методом продления срока

службы срезанных цветов в вазе, о котором сообщалось ранее для туберозы [18]. Для того чтобы проверить предыдущий результат и проверить возможную замену лимонной кислоты яблочной кислотой, было разработано текущее исследование. Лимонная кислота (0, 0,075, 0,15% м/о) и яблочная кислота (0, 0,075, 0,15% м/о) использовались в факторном дизайне с тремя повторениями. Опрыскивание листьев проводилось два раза в период роста растений *Lilium*. Результаты показывают, что 0,15% лимонной кислоты в отдельности увеличило срок службы в вазе с 11,8 в контрольной обработке до 14 дней ( $\alpha < 0,05$ ). Интересным открытием стало влияние лимонной кислоты на вес луковицы, который снизился с 9 г в контроле до 1,5 г при обработке, содержащей комбинацию 0,075% лимонной кислоты и 0,075% яблочной кислоты. Яблочная кислота, не оказывая прямого влияния на вышеупомянутые признаки, на удивление значительно увеличила содержание хлорофилла. Эффект взаимодействия между лимонной кислотой и яблочной кислотой на продолжительность вазы и содержание хлорофилла оказался значительным и был очевиден в результатах, как антагонистических, так и синергических по различным признакам.

Яблочная кислота является компонентом экссудата ризосферы и жизненно важна для роста урожая [19]. Однако мало информации доступно о влиянии внешнего применения яблочной кислоты на усвоение питательных веществ и качество плодов винограда, и было проведено мало исследований о связи между изменениями в микробном сообществе ризосферы и усвоением питательных веществ и качеством плодов винограда после добавления яблочной кислоты. Здесь обработки LM (низкая концентрация яблочной кислоты) и HM (высокая концентрация яблочной кислоты) включали 5% и 10% яблочной кислоты (отношение кислоты к общему весу удобрения) в сочетании с удобрением NPK, соответственно. Применение яблочной кислоты значительно изменило структуру микробного сообщества ризосферы винограда и физиологический профиль на уровне сообщества (CLPP), а HM оказало положительное влияние на использование субстратов. Структура микробного сообщества в ризосфере винограда с добавлением яблочной кислоты была тесно связана с CLPP. Содержание N и P в листьях и плодах увеличилось после применения яблочной кислоты по сравнению с контролем, в то время как содержание K в плодах значительно увеличилось. Кроме того, яблочная кислота значительно снизила вес плода, значительно увеличила содержание растворимого сахара (SSC) и витамина C в плодах, а также значительно улучшила соотношение сахара и кислоты в плодах и оценку дегустации винограда. Более того, анализ главных компонентов и оценки питательных веществ винограда и качества плодов показали, что питательные вещества винограда и качество

плодов значительно пострадали от яблочной кислоты и были ранжированы как 5% яблочной кислоты > 10% яблочной кислоты > контроль. Корреляционная тепловая карта Пирсона микробного состава, усвоения питательных веществ и качества плодов винограда показала, что микробное сообщество винограда тесно связано с питательными веществами винограда и качеством плодов. Добавление яблочной кислоты положительно коррелировало с Planococcaceae, Bacillaceae, Woeseiaceae и Rhodobacteraceae. Кроме того, Planococcaceae, Bacillaceae, Woeseiaceae и Rhodobacteraceae были тесно связаны с усвоением питательных веществ виноградом и качеством плодов. Bacillaceae и Woeseiaceae положительно коррелировали с общим растворимым сахаром, в то время как Planococcaceae и Rhodobacteraceae положительно коррелировали с титруемой кислотой. Таким образом, Bacillaceae и Woeseiaceae были ключевыми бактериями, которые играли важную роль в качестве винограда и усвоении питательных веществ после применения водорастворимого удобрения на основе яблочной кислоты.

Листовая подкормка двумя уровнями лимонной кислоты и яблочной кислоты (100 или 300 мг/л) исследовалась на высоту цветonoса, высоту растения, производительность цветка и индексы урожайности (свежий урожай, сухой урожай и соотношение корней и побегов) *Gazania*. В качестве контрольной обработки применялась дистиллированная вода [20]. Многомерный анализ показал, что в то время как экспериментальные обработки не оказали существенного влияния на сырой вес и количество цветков, сухой вес растения был значительно увеличен при 300 мг/л яблочной кислоты. Лимонная кислота в концентрации 100 и 300 мг/л и 300 мг/л яблочной кислоты значительно увеличила свежий вес корней. И высота растения, и длина цветonoса были значительно увеличены при всех примененных уровнях лимонной кислоты и яблочной кислоты. Время проявления цветов на растении увеличилось при всех обработках по сравнению с контрольной обработкой. Соотношение корней и побегов было значительно увеличено при 300 мг/л лимонной кислоты по сравнению со всеми другими обработками. Эти результаты подтверждают более ранние отчеты о том, что лимонная кислота и яблочная кислота как экологически чистые химикаты эффективны в различных аспектах роста и развития сельскохозяйственных культур. Моделирование структурных уравнений используется параллельно с ANOVA для заключения о факторных эффектах и возможном пути эффектов.

Яблочная кислота (ЯК) играет важную роль в устойчивости растений к токсичным металлам, но ее влияние на ограничение транспорта вредных металлов остается неясным [21]. В этом исследовании рис *japonica* NPВ и его мутант *fc8* с хрупкими соломинами с низким содержанием целлюлозы и тонкой клеточной

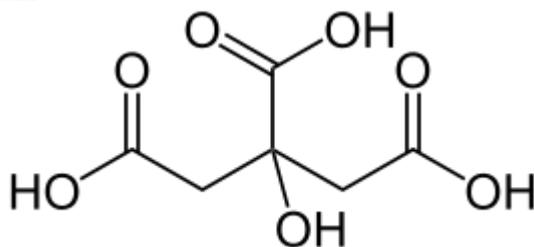
стенкой использовались для изучения влияния ЯК на накопление 4 токсичных элементов (Cd, Pb, Ni и Cr) и 8 незаменимых элементов (K, Mg, Ca, Fe, Mn, Zn, Cu и Mo) в рисе. Результаты показали, что fc8 накапливал меньше токсичных элементов, но больше Ca и глутамата в зернах и вегетативных органах, чем NPB. После внекорневой обработки с ЯК на стадии цветения риса содержание Cd, Pb, Ni значительно снизилось на 27,9–41,0%, в то время как содержание Ca и глутамата значительно увеличилось как в NPB, так и в fc8. Таким образом, соотношения между Cd и Ca в зернах NPB (3,4‰) и fc8 (1,5‰) были значительно выше, чем в зернах обработок NPB + ЯК (1,1‰) и fc8 + ЯК (0,8‰). Между тем, экспрессия OsCEAS4,7,8,9 для синтеза целлюлозы во вторичных клеточных стенках была снижена, и содержание целлюлозы в вегетативных органах NPB и fc8 снизилось на 16,7–21,1%. Однако применение ЯК значительно повысило экспрессию генов GLR (OsGLR3.1-3.5) и повысило активность глутаминово-щавелевоуксусной трансминазы для синтеза глутамата в NPB и fc8. Эти результаты показывают, что риски опасности токсичных элементов в пищевых продуктах можно эффективно снизить путем регулирования биосинтеза целлюлозы и каналов GLR в растении путем комбинирования генетической модификации *in vivo* и применения яблочной кислоты *in vitro*.

В работе [22] эксперимент проводился в пластиковом домике Ботанического сада на кафедре биологии Багдадского университета в течение одного сезона роста. Эксперимент включал изучение влияния трех концентраций лимонной кислоты (0, 75, 150) мг/л и четырех концентраций яблочной кислоты (0, 50, 100, 150) мг/л и их взаимодействия в некоторых параметрах роста и урожайности растения конской фасоли, высоте растения, сухом весе, количестве листьев, общем содержании хлорофилла, количестве цветов и стручков и весе стручка. Эксперимент проводился в полностью случайном дизайне (4×3) и с тремя дубликатами, результаты показали значительное влияние лимонной и яблочной кислоты на измеряемые параметры роста. Взаимодействие между ними также было значительным при концентрации более 150 мг/л для обеих кислот, что дало наилучшие значения изученных параметров по сравнению с другими концентрациями.

Улучшение некоторых свойств роста травянистых растений в стрессовых условиях с помощью опрыскивания лимонной кислотой и яблочной кислотой уже сообщалось ранее. В этом исследовании [23] эти вещества оцениваются на фисташковом дереве как важном продукте. Раннее расщепление и частота появления коричневых ядер были отмечены как признаки степени и статуса заражения афлатоксином. Исследование проводилось в минимально культивируемом саду сорта фисташки «Kallehghoochi». Обработка

была следующей: 1 мМ яблочной кислоты, 3 мМ яблочной кислоты, 3 мМ лимонной кислоты, 3% сульфата калия, 5% сульфата калия, 3% сульфата калия + 1 мМ яблочной кислоты, 0,1 мМ салициловой кислоты, 0,1 мМ салициловой кислоты + 3 мМ лимонной кислоты и контрольная обработка. За исключением СК 0,1 мМ, остальные обработки снизили процент ранних расколотых фисташек, имеющих коричневый цвет в интратудельной области, до 50%; однако, падение было значительным при 3 мМ лимонной кислоты, которая снизилась на 96% до 10,6 коричневых ядер на 10000 орехов. Все обработки значительно контролировали повреждение фисташек солнечными ожогами. Обработки, содержащие 1 мМ яблочной кислоты, превосходили контроль по вкусу, как определили эксперты.

В работе [24] эксперимент проводился на одном из полей, связанных с Baqubah Nursery Research Station/Diyala Agriculture Directorate. Эксперимент проводился в период с 1/10/2020 по 10/6/2021 для изучения влияния опрыскивания листьев тидиазуроном (TDZ) в концентрациях 1,2 и 4 мг/л в дополнение к опрыскиванию дистиллированной водой в качестве сравнительной обработки, и опрыскивания листьев органическими кислотами, яблочной кислотой (ЯК) в концентрациях 150 и 300 мг/л и лимонной кислотой (ЛК) в концентрациях 150 и 300 мг/л в дополнение к опрыскиванию дистиллированной водой в качестве сравнительной обработки на рост и цветение *Rosa hybrida* L., cv. "Arthur Bell" с желтыми цветками. Эксперимент проводился в соответствии с рандомизированным полным блочным дизайном (RCBD) как факторный эксперимент (4×5) с тремя повторениями.



*Лимонная кислота*

Лимонная кислота относится к трехосновным гидроксикислотам и также часто используется в агрономической практике в качестве регулятора роста растений. Лимонная кислота имеет множество применений в сельском хозяйстве, в т.ч.:

она действует как почвенный кондиционер и помогает улучшить качество почвы. Ее кислотные свойства могут нейтрализовать щелочные вещества в почве, повысить значение pH и способствовать росту бактерий и микроорганизмов в почве. Она также

может увеличить содержание органических веществ в почве, улучшить структуру почвы и увеличить удержание воды и аэрацию почвы.

Повышение устойчивости растений к болезням. Лимонная кислота помогает повысить устойчивость растений к болезням. Стимулируя метаболизм растений и улучшая иммунитет растений, можно эффективно предотвращать и контролировать различные заболевания растений.

Обеспечение питательными веществами. Лимонная кислота используется в качестве органического удобрения и богата различными питательными веществами, такими как фосфор, калий, азот и т. д., обеспечивая всестороннюю питательную поддержку растений и способствуя их росту и развитию.

Повышение урожайности. Лимонная кислота эффективно повышает урожайность и качество урожая, улучшая плодородие почвы и эффективность усвоения питательных веществ растениями.

Предотвращение болезней растений. Лимонная кислота используется для борьбы с распространенными заболеваниями растений, такими как ржавчина. Например, она может нейтрализовать избыток железа в почве, снизить кислотность почвы и уменьшить возникновение ржавчины.

Регулировать качество воды. Лимонная кислота используется в качестве агента для регулирования качества воды, нейтрализации избыточных ионов металлов в воде и повышения pH воды, делая качество воды более подходящим для роста и производства сельскохозяйственных культур.

Как комплексообразующий агент, лимонная кислота может образовывать комплексы с ионами металлов, ускорять поглощение ионов металлов растениями и способствовать росту и развитию сельскохозяйственных культур. Таким образом, лимонная кислота как эффективный кондиционер почвы и органическое удобрение имеет широкие перспективы применения в сельскохозяйственной сфере. Так, в работе [25] отмечается, что несколько недавних исследований показали, что лимонная кислота/цитрат (ЛК) может придавать растениям устойчивость к абиотическому стрессу. Экзогенное применение ЛК приводит к улучшению роста и урожайности сельскохозяйственных культур в условиях различных абиотических стрессов. Улучшенные физиологические результаты связаны с более высокими скоростями фотосинтеза, снижением количества активных форм кислорода и лучшей осморегуляцией. Применение ЛК также индуцирует антиоксидантные защитные системы, способствует повышению содержания хлорофилла и влияет на вторичный метаболизм, ограничивая ограничения роста растений в условиях стресса. В частности, ЛК оказывает большое влияние на снятие стресса от тяжелых металлов, способствуя осаждению, хелатированию и

секвестрации ионов металлов. В этом обзоре суммируются механизмы, которые опосредуют регулируемые ЛК изменения в растениях, в первую очередь участие ЛК в контроле физиологических и молекулярных процессов в растениях в условиях абиотического стресса. Авторы также рассматриваем стратегии генной инженерии для устойчивости к абиотическому стрессу, опосредованной ЛК. Наконец, мы предлагаем модель, объясняющую, как положение ЛК в сложных метаболических сетях, включающих биосинтез фитогормонов, аминокислот, сигнальных молекул и других вторичных метаболитов, может объяснить некоторые из его свойств, смягчающих абиотический стресс. Этот обзор суммирует наше текущее понимание толерантности к абиотическому стрессу, опосредованной ЛК, и выделяет области, где необходимы дополнительные исследования.

Было проведено двухлетнее (2020-21) исследование с целью изучения возможности использования лимонной кислоты (ЛК), гибберелловой кислоты (GA3) и гуминовой кислоты (HA) для десятилетних грушевых деревьев, выращенных на супесчаной почве, орошаемой капельным способом [26]. ЛК применялась в концентрациях 500, 1000 и 1500 ppm, GA3 — 50, 100 и 150 ppm, а HA — 3, 4 и 5%, тогда как в качестве контроля использовалось распыление воды. Результаты исследования доказали, что ЛК, GA3 и HA улучшили длину побегов, толщину побегов, площадь листьев и хлорофилл листьев груши по сравнению с контролем. Более того, они также положительно увеличили процент завязывания плодов и конечный урожай груши сорта «Le Conte». Вес, размер и твердость плодов также улучшились под влиянием вышеупомянутых обработок. Растворимые твердые вещества плодов, общие сахара, азот листьев, фосфор листьев и калий листьев груши также были улучшены по сравнению с контролем. Кроме того, распыление GA3 в концентрации 150 ppm, а также HA в концентрации 5 и 4% были превосходными обработками и показали наиболее значительное влияние на рост растений, урожайность, качество плодов и содержание минералов в листьях груши. Это исследование дает основу для будущего выяснения молекулярных механизмов, модулируемых HA, GA3 и ЛК, в груше, что может внести значительный вклад в научное сообщество.

Показано [27], что лимонная кислота может быть вовлечена в реакцию растений на высокую температуру. Целью данного исследования было изучение того, может ли экзогенная лимонная кислота улучшить устойчивость к жаре у вида газонной травы прохладного сезона, овсяницы тростниковой (*Lolium arundinaceum*), и определение физиологических механизмов воздействия лимонной кислоты на устойчивость к тепловому стрессу. Травы подвергались четырем уровням лимонной кислоты (0, 0,2, 2 и 20 мМ) и двум уровням температуры (25/20 и 35/30 ± 0,5 °С, день/ночь) в камерах

роста. Тепловой стресс увеличивал утечку электролитов (EL) и содержание малональдегида (MDA), в то время как снижал рост растений, содержание хлорофилла (Chl), фотохимическую эффективность (Fv/Fm), активность корней и активность антиоксидантных ферментов (супероксиддисмутаза, SOD; каталаза, CAT; пероксидаза, POD). Внешняя лимонная кислота смягчила пагубное воздействие теплового стресса на овсяницу тростниковую, что было подтверждено снижением содержания EL и MDA, а также улучшением роста растений в условиях стресса. Кроме того, снижение содержания Chl, Fv/Fm, SOD, POD, CAT и активности корней были улучшены в растениях, обработанных лимонной кислотой в условиях теплового стресса. Высокая температура вызвала экспрессию генов белка теплового шока (HSP), которые показали более высокие уровни экспрессии после обработки лимонной кислотой в условиях теплового стресса. Эти результаты показывают, что экзогенное применение лимонной кислоты может смягчить рост и физиологические повреждения, вызванные высокой температурой. Кроме того, экзогенно примененная лимонная кислота может отвечать за поддержание стабильности мембраны, активности корней и активацию антиоксидантного ответа и генов HSP, которые могут способствовать защитной роли лимонной кислоты в реакциях овсяницы тростниковой на тепловой стресс.

Загрязнение сельскохозяйственных почв тяжелыми металлами является серьезной проблемой, оказывающей сильное воздействие на растения и здоровье человека [28]. Для решения этой проблемы авторы статьи сформулировали и протестировали новый подход слияния неорганических (хелат лимонной кислоты) и органических (*Bacillus sp.*) методов мелиорации тяжелых металлов. *Bacillus sp.* был толерантен к тяжелым металлам и демонстрировал характеристики, способствующие росту растений, включая растворение фосфата, выработку сидерофоров, выработку цианида водорода, выработку индолилуксусной кислоты и выработку 1-аминоциклопропан-1-карбоксилатдеаминазы. Анализ данных показал, что растения, получавшие комбинированное применение хелата лимонной кислоты (ЛК) и *Bacillus sp.*, смягчали токсичность тяжелых металлов. Они увеличивали выработку биомассы и количество фотосинтетических пигментов в растительных клетках. Они подавляли негативное воздействие кадмия (Cd) и хрома (Cr) на метаболические системы растений. Значительное увеличение активности ферментативных и неферментативных антиоксидантов также наблюдалось, что снижало повреждающее действие активных форм кислорода и поддерживало внутреннюю структуру клеток. Снижение содержания Cr и Cd в зернах пшеницы при обработке хелатом ЛК и *Bacillus sp.* составило 51% и 27% соответственно. Бионакопление металлов также снизилось до 49%

(Cr) и 57% (Cd). Данный подход может быть апробирован и применен в полевых условиях для почв с загрязнением тяжелыми металлами.

Токсичность свинца (Pb) оказывает большое влияние с точки зрения токсичности на живые организмы, поскольку она серьезно влияет на рост сельскохозяйственных культур, урожайность и продовольственную безопасность; таким образом, оправдывая соответствующие меры по рекультивации почв, загрязненных свинцом [29]. Фитоэкстракция тяжелых металлов (ТМ) с использованием толерантных растений вместе с органическими хелаторами привлекла всеобщее внимание. Таким образом, в этом исследовании изучается возможное влияние лимонной кислоты (ЛК) на раскрытие потенциальной фитоэкстракции Pb с использованием клещевины. Для этой цели различные уровни Pb (0, 300, 600 мг/кг почвы) и ЛК (0, 2,5 и 5 мМ) были предоставлены по отдельности и во всех возможных комбинациях. Результаты показывают, что повышенные уровни Pb (особенно 600 мг/кг почвы) вызывают окислительный стресс, включая выработку перекиси водорода (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>) и малонодальдегида (МДА) в растениях. Стресс Pb снижает фотосинтетические признаки (параметры хлорофилла и газообмена) в тканях растений (листьях и корнях), что в конечном итоге приводит к снижению роста, а также биомассы. Активность ферментов, таких как гваяколпероксидаза, супероксиддисмутаза, аскорбатпероксидаза и каталаза, также линейно увеличивается в зависимости от дозы при стрессе Pb. Экзогенное применение ЛК снизило токсичность Pb в растениях за счет улучшения фотосинтеза и, в конечном итоге, роста растений. Рост антиоксидантов против окислительного стресса показывает потенциал обработанных ЛК растений клещевины противодействовать стрессовым повреждениям за счет снижения уровней H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> и MDA. Из результатов этого исследования можно сделать вывод, что обработка ЛК играет многообещающую роль в увеличении поглощения Pb и снижении его фитотоксичности. Эти результаты свидетельствуют о том, что применение ЛК может быть эффективным подходом для фитоэкстракции Pb из загрязненных почв при выращивании клещевины.

Целью исследования [30] было изучение полезных эффектов внекорневой подкормки антиоксидантом лимонной кислотой в сочетании с некоторыми микроэлементами на рост, урожайность и несколько химических компонентов растений кукурузы (*Zea mays* L.). Растения выращивались на глинистой почве и опрыскивались одиннадцатью обработками (0, 0,05, 0,1, 0,15, 0,2, 0,25, 0,3, 0,35, 0,4, 0,45 и 0,5%) комбинированного удобрения (цитрин), которое содержит (15% лимонной кислоты, 2% Fe, 2% Mn и 2% Zn). Полученные результаты в целом показали, что каждый из них изучал параметры вегетативного роста (т. е. высоту растения, диаметр стебля, количество

листьев/растение, сухой вес листьев) так же, как и урожайность зерна/корм. и некоторые из их компонентов (т. е. длина колоса, диаметр колоса, количество рядов/колос, количество зерен/ряд, вес зерна/колос, вес 100 зерен и вес колоса/растение) и некоторые химические составляющие листьев (хлорофилл а, b, общие каротиноиды, антоцианы, общие углеводы, общие и восстанавливающие сахара, общие свободные аминокислоты, общие индолы, азот, фосфор и калий) и процент белка в зерне, были накоплены при применении различных обработок. Максимальные значения были получены при обработке 0,3%. Напротив, обработка цитрином минимизировала восстанавливающие сахара и свободный фенол в листьях по сравнению с контролем. Самые простые результаты были получены при применении обработки цитрином в дозе 0,3%. Следовательно, можно рекомендовать использование удобрений с цитрином в качестве внекорневой подкормки со скоростью 0,3% для улучшения роста, урожайности и химических составляющих растений кукурузы.

Исследование [31] направлено на изучение потенциальной защитной роли экзогенных применений гиббереллина, ауксина, лимонной кислоты и кальция на рост и клеточное окислительно-восстановительное состояние прорастающих семян гороха (*Pisum sativum* L.), подверженных стрессу от меди. Все протестированные обработки смягчали неблагоприятные эффекты токсичности, вызванной Cu, на рост, жизнеспособность клеток и мобилизацию питательных веществ из семядолей. Это смягчение токсичности Cu происходило за счет ограничения биосорбции тяжелых металлов и поддержания клеточного окислительно-восстановительного гомеостаза. Окислительно-восстановительный баланс, исследованный посредством изучения окислительно-восстановительного состояния пар никотинамида НАД<sup>+</sup>/НАДН и НАДФ<sup>+</sup>/НАДФН, по-видимому, был защищен обработками. Эта коррекция коррелировала с модуляцией активности НАД(Ф)Н-оксидазы и дегидрогеназы, такой как глюкозо-6-фосфатдегидрогеназа, 6-фосфоглюконатдегидрогеназа и малатдегидрогеназа. Настоящее исследование доказывает, что добавление в растения гиббереллина, ауксина, лимонной кислоты и кальция является эффективным подходом для повышения толерантности к Cu у проростков гороха.

Сообщается [32], что хром крайне вреден для растений из-за его пагубного воздействия на доступность жизненно важных питательных веществ и вторичных метаболитов, необходимых для правильного роста и развития растений. Был проведен гидропонный эксперимент для анализа влияния лимонной кислоты на растения клешевины при хромовом стрессе. Кроме того, была исследована роль двух устойчивых к хрому микроорганизмов, *Bacillus subtilis* и

*Staphylococcus aureus*, в снижении токсичности Cr. Различные количества хрома (0 мкМ, 100 мкМ, 200 мкМ) и лимонной кислоты (0 мМ, 2,5 мМ и 5 мМ) использовались как по отдельности, так и в сочетании для анализа потенциала ремедиации. Результаты показали, что повышенные количества хрома (в частности, 200 мкМ) минимизировали рост и биомассу, поскольку высокая концентрация Cr индуцировала окислительные маркеры. Обработка экзогенной лимонной кислотой усилила рост и развитие растений за счет улучшения фотосинтеза с помощью таких ферментов, как супероксиддисмутаза, гваяколпероксидаза, каталаза и аскорбатпероксидаза, что снизило токсичность Cr. Применение лимонной кислоты помогло растениям вырабатывать высокую концентрацию антиоксидантов, которые противодействовали окислителям, образующимся из-за стресса от хрома. Было выявлено, что растения клещевины, обработанные лимонной кислотой, могли компенсировать стрессовые повреждения за счет снижения уровня H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, утечки электролитов и малонового диальдегида. Инокуляция растений бактериями дополнительно усилила параметры роста растений за счет улучшения фотосинтеза и снижения токсичности, вызванной хромом, в растениях. Результаты показали, что сочетание лимонной кислоты и устойчивых к металлам бактерий может быть ценным методом для ремедиации тяжелых металлов и опосредования неблагоприятных последствий токсичности металлов для растений.

Некоторые растения накапливают некоторые совместимые растворенные вещества и выделяют различные органические кислоты при воздействии экологического стресса [33]. Предполагается, что эти совместимые растворенные вещества, включая пролин, участвуют в устойчивости к стрессу, поддерживая достаточный тургор клеток для роста, тем самым улучшая рост растений, защищая ферменты и мембраны. Однако существует меньше доказательств относительно защитной роли органических кислот в условиях стресса. В этой работе авторы исследуют влияние лимонной кислоты как компонента реакции на стресс на рост растений и активность антиоксидантных ферментов в двух генотипах галофита *Leymus chinensis* (Trin.), LcWT07 и LcJS0107. Данные показали, что как солевой стресс (200 мМ NaCl), так и щелочной стресс (100 мМ Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>) снижали рост растений по относительной скорости роста и скорости ассимиляции CO<sub>2</sub>, но увеличивали концентрацию лимонной кислоты в 6-недельных растениях в течение 72-часового экспериментального периода. При экзогенном применении 50 мг/л лимонной кислоты в условиях стресса, это значительно улучшило рост растений и внутреннюю концентрацию лимонной кислоты, а также индуцировало защитные механизмы за счет повышения активности антиоксидантных ферментов. Для сравнения со смягчающим эффектом экзогенной лимонной кислоты на

стресс, экзогенное применение пролина также проводилось в тех же условиях, и были отмечены аналогичные эффекты улучшения роста. На основании этих результатов мы предположили, что лимонная кислота является важным компонентом реакции на стресс у *L. chinensis*, и экзогенное применение 50 мг/л лимонной кислоты может играть положительную роль в устойчивости к стрессу.

Фитоэкстракция — это новый метод, который включает использование растений для удаления тяжелых металлов из загрязненных почв [34]. Эксперимент в горшках на открытом воздухе был разработан для оценки потенциала фитоэкстракции трех видов растений *Cucurbita pepo*, *Lagenaria siceraria* и *Raphanus sativus* в почве, загрязненной несколькими металлами (Cd, Co, Cr, Cu, Ni, Pb и Zn), при применении лимонной кислоты. Результаты показали, что *Raphanus sativus* из всех исследованных растений имел самый высокий сухой вес корней и побегов и способность накапливать все тяжелые металлы в более высоких концентрациях, за исключением Cu. Внесение лимонной кислоты в загрязненную почву значительно увеличило рост растений, биомассу и поглощение тяжелых металлов. Высокие значения биоконцентрации указывают на то, что *Raphanus sativus* является перспективным растением для поглощения и накопления Cd и Ni из почвы. Максимальные значения биоконцентрации также наблюдались при применении лимонной кислоты. Значения перемещения металлов из корня в побег варьировались в зависимости от вида растения и применения лимонной кислоты. Что касается биомассы, содержания металлов, а также значений процента удаления металлов, стало очевидно, что растение *Raphanus sativus* является наиболее эффективной культурой для удаления тяжелых металлов из загрязненной несколькими металлами почвы. В целом, эти результаты подчеркивают, что применение лимонной кислоты может быть полезным подходом для содействия фитоэкстракции Cd и Ni растениями *Raphanus sativus*. Когда эти растения выращиваются как овощные культуры, больше внимания следует уделять оценке содержания в них тяжелых металлов, особенно при добавлении лимонной кислоты в их почву через системы фертигации, чтобы избежать загрязнения пищевой цепи.

Физиологические и фитохимические реакции *Artemisia abrotanum* на внекорневую подкормку различными концентрациями аминокислот (триптофана и фенилаланина) и лимонной кислоты изучались в течение двух последовательных сезонов (2014–2015 гг.). Результаты показали, что внекорневая подкормка аминокислотами или лимонной кислотой значительно повысила параметры роста с точки зрения высоты растения, количества ветвей, свежей и сухой биомассы [35]. Все обработки привели к значительному увеличению содержания эфирного масла и урожайности. Рост растений и параметры эфирного

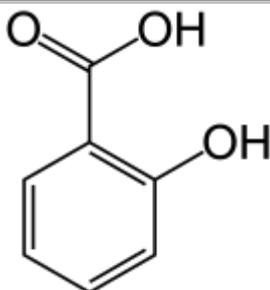
масла постепенно увеличивались с концентрацией аминокислот или лимонной кислоты. Газожидкостный хроматографический анализ показал, что основными идентифицированными компонентами эфирного масла были хамазулен, п-цимен-8-ол и пиперитон. Органические и аминокислотные обработки привели к улучшению количества и качества компонентов эфирного масла.

Было исследовано влияние прайминга семян и добавления лимонной кислоты (СА) на прорастание и рост рассады сои [36]. Семена сои были заправлены дистиллированной водой (контроль), 1 mM ЛК (ЛК1) или 2 mM ЛК (ЛК2), а затем помещены для прорастания в чашки Петри, содержащие дистиллированную воду или 150 mM NaCl (SS), отдельно или в сочетании с 1 mM или 2 mM ЛК. Проросшие семена были помещены в гидропонные горшки с использованием аналогичного режима обработки, который указан для чашек Петри, чтобы получить рост рассады и биохимические параметры. Солевой стресс значительно снизил всхожесть, признаки роста, относительное содержание воды (RWC) и фотосинтетический пигмент. Когда семена были заправлены ЛК в условиях солевого стресса, скорость прорастания, конечный процент прорастания, индекс энергии семян и количество боковых корней значительно увеличились. Более того, добавление ЛК значительно увеличило свежий и сухой вес побегов и корней, высоту растения, RWC и фотосинтетические пигменты по сравнению с обработанными солью растениями. Также установлено, что солевой стресс значительно увеличил содержание перекиси водорода ( $H_2O_2$ ) и малонового диальдегида (MDA) по сравнению с контрольными растениями. Опрыскивание ЛК1 и ЛК2 значительно снизило уровни  $H_2O_2$  и MDA в обработанных солью растениях. Как иерархическая кластеризация, так и PCA показали, что эффекты солевого стресса и ЛК на прорастание, характеристики роста, фотосинтетические пигменты,  $H_2O_2$  и концентрации MDA сильно взаимодействовали друг с другом. Согласно результатам, ЛК можно применять в качестве прайминга семян и экзогенного агента, чтобы помочь бобам расти быстрее при воздействии солевого стресса.

Эксперимент проведен для изучения влияния листовой подкормки лимонной кислотой на снижение последствий стресса засухи на *Calendula officinalis* L.. Влияние лимонной кислоты (0, 50 и 100 мг/л) и различных уровней засухи (без стресса: контроль, 25, 50 и 75% полевой влагоемкости) изучалось как факторный эксперимент на основе полностью рандомизированного дизайна с тремя повторениями в 2018 г. в теплицах на севере Ирана [37]. Листовая подкормка применялась в три этапа с интервалом около 20 дней, включая стадию шести листьев, полное кущение и появление первой почки. Результаты показали, что стресс засухи и листовая подкормка ЛК значительно повлияли на оцениваемые параметры. Самый высокий свежий и сухой

вес побегов и корней, каротиноиды, фенол и флавоноид были получены при 75% FC + ЛК 50 мг/л. Максимальная высота растения, длина корня и количество цветков были при контрольном поливе + ЛК 50 мг/л, а самая высокая продолжительность жизни цветка на растении, общая углеводная, рутиновая и общая антиоксидантная активность наблюдались при 75% FC + ЛК 100 мг/л. Кроме того, обработка контрольным поливом + ЛК 100 мг/л имела самое высокое общее содержание хлорофилла и витамина С, а обработка 25% FC имела самое высокое содержание пролина. В целом, орошение бархатцев лекарственными с 75% FC и опрыскивание лимонной кислотой 100 мг/л оказали положительное влияние на рост растений и биохимические параметры.

Засоленность является существенным препятствием для здорового прорастания семян, развития рассады и урожайности сельскохозяйственных культур [38]. Устойчивость к засолению может быть эффективно вызвана путем замачивания семян и экзогенного применения различных обрабатывающих агентов. Овощная культура бамиа является здоровой и популярной во всем мире. Известно, что солевой стресс отрицательно влияет на рост растений бамии. В настоящем исследовании мы изучили влияние лимонной кислоты (ЛК) в качестве замачивающего и экзогенного агента для смягчения ингибированного засолением прорастания и раннего роста бамии. Семена были предварительно обработаны лк (1 мМ и 2 мМ) и замочены в дистиллированной воде (контроль) в течение 60 мин. Пророщенные семена выращивались в гидропонном растворе и подвергались солевому стрессу (50 мМ и 100 мМ NaCl) с тремя повторами, и те же концентрации ЛК (1 мМ и 2 мМ) были экзогенно распылены. Результаты показали, что праймирование семян 1 мМ ЛК дало самый высокий процент прорастания (GP), индекс прорастания (GI), энергию прорастания (GE), индекс энергии семян (SVI), длину и вес корешков, длину и вес гипокотилия и количество боковых корней, при этом сократилось среднее время прорастания семян по сравнению с контролем. Также солевой стресс резко уменьшил длину корней и побегов, высоту растения, сырой вес корней и побегов и сухой вес, а также относительное содержание воды (RWC). В условиях солевого стресса добавление 1 мМ и 2 мМ ЛК значительно увеличило RWC, длину корней и побегов, сырой и сухой вес корней и высоту растения. Эти результаты предоставляют информацию о том, что праймирование ЛК улучшает параметры прорастания, а экзогенные обработки могут улучшить солеустойчивость и характеристики рассады бамии. Таким образом, наши результаты показывают, что 1 мМ ЛК можно использовать в качестве праймирования семян и экзогенного агента для внесения, снижая воздействие солевого стресса и способствуя раннему развитию рассады бамии.



*Салициловая (гидроксibenзонная) кислота*

Она является простейшей ароматической гидроксикислотой. Применение салициловой кислоты и ее функциональных производных в качестве регулятора роста растений было широко изучено в нашей обзорной работе [49].

В исследованиях, проведенных совместно с «Евлах-Инновация» ООО «МКТ ИК» были проведены эксперименты по исследованию стимулирующего действия солей и комплексов природных нефтяных кислот (ПНК), а также 0,001%-ных водных растворов композиций, приготовленных на основе ПНК и щелочных солей салициловой кислоты (СК) в мольном соотношении 1:1 на семена хлопчатника в полевых условиях. Посев хлопка проводился в конце апреля. Ватные палочки обрабатывают 0,001% водным раствором натриевых и калиевых солей ПНК, комплексами триэаноламина (ТЕА) и изобутиламина (ІВА) с ПНК, а также смесью комплексов ПНК с натриевыми и калиевыми солями СК в соотношении 1:1, а контрольный вариант высаживали в почву после выдерживания в воде в течение 24 часов. Наблюдения, проведенные в течение вегетационного периода, приведены в табл. 1.

*Таблица 1.*

Влияние композиций ПНК+соли СК на количество  
и высоту саженцев хлопка

Образцы	Количество, %	Высота, см
Контроль	78	85
ПНК-Na 10-3	80	95
ПНК-K 10-3	60	105
ПНК-ТЕА 10-3	93	93
ПНК-ІВА 10-3	80	98
ПНК-ТЕА + ПНК-Na 10-3	73	100
ПНК-ІВА + ПНК-K 10-3	83	97
ПНК-ТЕА + СК-Na 10-3	83	105
ПНК-ТЕА + СК-K 10-3	780	108
ПНК-ІВА + СК-Na 10-3	86	100
ПНК-ІВА + СК-K 10-3	80	105

Полученные данные показывают, что композиции, приготовленные на основе ПНК и солей салициловой кислоты в мольном соотношении 1:1 обладают высокой стимулирующей рост растений активностью и могут быть предложены в качестве регуляторов роста растений в сельскохозяйственной практике.

Из представленного обзора результатов научных исследований можно заключить, что гидроксикислоты являются эффективными регуляторами роста различных растений и приведенные в работе данные создают весомые перспективы для проведения систематических исследований в области изучения роста регуляторных свойств гидроксикислот.

### СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Sadaf J., Singh R., Bhardwai R., Parvaiz A. Plant growth regulators: a sustainable approach to combat pesticide toxicity. *J. Biotech.*, 2020, Vol. 10, N 11, pp. 466-478.
2. Maurino V., Enqvist M. 2-Hydroxy Acids in Plant Metabolism. *Arabidopsis book*, 2015, Vol. 13, pp. 182-198.
3. Mikami Y., Takahara H., Limura H., Suzuki A. Several Synthetic Hydroxy-acids as Plant Growth Regulators. *Agricultural and Biological Chemistry*, 1970, Vol. 34, N 6, pp. 977-979.
4. Pat. 3679492A. US. 1969.
5. Pat. 6432883B1. US. 2000.
6. Zhao H., Chen H., Bing Zh. Glycolic acid addition enhances lead uptake and transport by *Hydrangea macrophylla* (Thunb.) Ser. of different plant ages. *Environmental Technology and Innovation*, 2024, Vol. 36, pp. 103877-103892.
7. Wenwen Ch., Pingjing H., Zhang H., Duan H. The low dose of L-lactic acid as loess soil amendment enhances wheat rhizosphere microecosystem. *Rhizosphere*, 2023, Vol. 28, pp. 100784-100793.
8. Yoshikawa M., Hirai N., Wakabayashi K., Sugizaki H. Succinic and lactic acids as plant growth promoting compounds produced by rhizospheric *Pseudomonas putida*. *Canadian Journal of Microbiology*, 1993, Vol. 39, N 12, pp. 71-77.
9. Kinnersley A., Scott T., Yopp J.H., Whitten G.H. Promotion of plant growth by polymers of lactic acid. *Plant Growth Regulation*, 1990, Vol. 9, pp. 137-146.
10. Yan F., Junchi M., Congfanq X., Peng M. Lactic acid induced defense responses in tobacco against *Phytophthora nicotianae*. *Scientific Reports*, 2024, Vol. 14, pp. 9338-9341.
11. Nakamura H., Shinohara R., Kobayashi J., Matsuzoe N. Effect of succinic acid, lactic acid, and lactic acid oligomers on the growth of pea sprouts (*Pisum sativum*) in water culture. *Journal of Japanese Society of Agricultural Technology Management*, 2019, Vol. 25, N 3, pp. 63-69.

12. Chang Y-N., Mueller R.E., Jannotti E. Use of lpw MW polylactic acid and lactide to stimulate growth and yield of soybeans. *Plant Growth Regulation*, 1995, Vol. 19, pp. 31-38.
13. Krewson C.F., Saggese E.J., Carmichael J.F., Ard J.S. Plant Growth Regulators, Synthesis and Preliminary Evaluations of Amide, Lactic Acid, and Terpenoid Derivatives of Substituted Phenoxycarboxylic Acids. *J. Agric. Food Chem.*, 1959, Vol. 7, N 2, pp. 116-122.
14. Sun X., Guoliang H., Meng Zh., Lin L. Roles of malic enzymes in plant development and stress responses. *Plant Signal Behavior*, 2019, Vol. 14, N 10, pp. 1644596-1644603.
15. Ghazijahani N., Hadavi E., Son M.S., Jeong B.R. Foliar application of citric and malic acid to stock plants of rose alters the rooting of stem cuttings. *Chemical and Biological Technologies in Agriculture*, 2018, Vol. 5, pp. 11-19.
16. Chen H-Ch., Zhang S., Wu K., Rui L. The effects of exogenous organic acids on the growth, photosynthesis and cellular ultrastructure of *Salix variegata* Franch. Under Cd stress. *Exotoxicology and Environmental Safety*, 2020, Vol. 187, pp. 109790-109796.
17. Kazemi M. Influence of Foliar Application of 5-Sulfosalicylic Acid, Malic Acid, Putrescine and Potassium Nitrate on Vegetative Growth and Reproductive Characteristics of Strawberry cv. 'Selva'. *J. Biol. Environ. Sci.*, 2013, Vol. 7, N 20, pp. 93-101.
18. Darandeh N., Hadavi E. Effect of Pre-Harvest Foliar Application of Citric Acid and Malic Acid on Chlorophyll Content and Post-Harvest Vase Life of *Lilium* cv. Brunello. *Front. Plant. Sci.*, 2012, Vol. 2, N 5, pp. 106-112.
19. Peng S., Shao W., Huili Y., Guoyi X. Differences in Microbial Communities Stimulated by Malic Acid Have the Potential to Improve Nutrient Absorption and Fruit Quality of Grapes. *Front. Microbiol.*, 2022, Vol. 13, pp. 146-162.
20. Talebi M., Hadavi E., Jaafari N. Foliar Sprays of Citric Acid and Malic Acid Modify Growth, Flowering, and Root to Shoot Ratio of *Gazania* (*Gazania rigens* L.): A Comparative Analysis by ANOVA and Structural Equations Modeling/ *Advances in Agriculture*, 2014, Vol. 3, pp. 72-79.
21. Zhang X., Weijie X., IIN q., Zhang Ch. Malic acid inhibits accumulation of cadmium, lead, nickel and chromium by down-regulation of OsCESA and up-regulation of OsGLR3 in rice plant. *Environmental Pollution*, 2024, Vol. 341, N 1, pp. 122934-122942.
22. Twai S., Al-Saedi A., Jauma Y., Rasha K. Effect of citric and malic acids concentration on some growth and yield parameters of vicia fabal plant. *Plant Archives*, 2019, Vol. 19, N 2, pp. 4062-4066
23. Saboory A., Hadavi E., Imani A. Foliar sprays based on malic acid, citric acid and potassium sulfate improve several qualitative and

quantitative traits of pistachio nuts. International Society for Horticultural Science, 2016, Vol. 1109, pp. 137-142.

24. Saeed A., Hassan Sh. Impact of thidiazuron, malic and citric acids on growth and flowering of rosa hybrida L. cv. "Arthur Bell" International Journal of Health Sciences, 2022, Vol. 6, N 1, pp. 514-520.

25. Tahjib-Ul-Arif M., Zahan I., Karim M., Imran Sh. Citric Acid-Mediated Abiotic Stress Tolerance in Plants. Inter. J. Mol. Sci., 2021, Vol. 22, N 13, pp. 7235-7245.

26. Mosa W., El-Megeed N., MoaazAli M., Abada H. Preharvest Foliar Applications of Citric Acid, Gibberellic Acid and Humic Acid Improve Growth and Fruit Quality of 'Le Conte' Pear (*Pyrus communis* L.). Horticulturae, 2022, Vol. 8, N 6, pp. 507-516.

27. Longxing H., Zhang Zh., Xiang Z., Yang Zh. Exogenous Application of Citric Acid Ameliorates the Adverse Effect of Heat Stress in Tall Fescue (*Lolium arundinaceum*). Front. Plant Sci., 2016, Vol. 7, pp. 312-319.

28. Noshin I., Akhtar N., Humaira Y., Sahreen S. Efficacy of citric acid chelate and Bacillus sp. in amelioration of cadmium and chromium toxicity in wheat. Chemosphere, 2022, Vol. 290, pp. 133342-133349

29. Malihi Z., Rizwan M., Mansha A., Qasim A. Citric Acid Enhances Plant Growth, Photosynthesis, and Phytoextraction of Lead by Alleviating the Oxidative Stress in Castor Beans. Plants (Basel), 2019, Vol. 8, N 11, pp. 525-536

30. El-Yazal M. The Application of Citric Acid in Combination with Some Micronutrients Increases the Growth, Productivity and a Few Chemical Constituents of Maize (*Zea Mays*) Plants. International Letters of Natural Sciences, 2019, Vol. 76, pp. 86-97.

31. Massoud M.B., Sakouhi L., Chaui A. Effect of plant growth regulators, calcium and citric acid on copper toxicity in pea seedlings. Journal of Plant Nutrition, 2019, Vol. 42, N 10, pp. 1230-1242.

32. Waseem M., Hussain A., Rizwan M., Awais A. Combined Application of Citric Acid and Cr Resistant Microbes Improved Castor Bean Growth and Photosynthesis while It Alleviated Cr Toxicity by Reducing Cr<sup>+6</sup> to Cr<sup>3+</sup> Microorganisms, 2021, Vol. 9, N 12, pp. 2499-2507.

33. Sun Y-L., Hong S-K. Effects of citric acid as an important component of the responses to saline and alkaline stress in the halophyte *Leymus Chinensis* (Trin.). Plant Growth Regulation, 2011, Vol. 64, pp. 129-139.

34. Ibrahim E. Effect of citric acid on phytoextraction potential of Cucurbita pepo, Lagenaria siceraria, and Raphanus sativus plants exposed to multi-metal stress. Scientific Reports, 2023, Vol. 13, pp. 13070-13076.

35. El-Zefzafy M., Shahhat I., Tousef R., I-Sharkawy E. Influence of foliar application with amino acids and citric acid on physiological and

phytochemical responses of *Artemisia abrotanum* produced by in vitro culture. *Biosci. Biotech. Res. Comm.*, 2016, Vol. 9, N 4, pp. 702-711.

36. Imran Sh., mAHAMUD a., Chakrobortty J., Chandra N.P. Seed priming and exogenous application of citric acid enhance seedling growth and photosynthetic pigments and mitigate oxidative damage of soybean (*Glycine max*) under salt stress. *Archives of Biological Sciences*, 2023, Vol. 75, N 4, pp. 137-152.

37. Soroori S., Danaee E. Effects of Foliar Application of Citric Acid on Morphological and Phytochemical Traits of *Calendula officinalis* L. under Drought Stress Conditions. *Explore Journal*, 2023, Vol. 10, N 3, pp. 361-374.

38. Chakrobortty J., Imran Sh., Mahamud A., Sarker P. Effect of citric acid (CA) priming and exogenous application on germination and early seedling growth of okra (*Abelmoschus esculentus* L.) plants under salinity stress condition. *Archives*, 2022, Vol. 7, N 3, pp. 262-267.

39. Abbasov V.M., Mursalov N.I., Asadova R.A. Synthesis of new innovative salicylic acid derivatives and compositions based on natural petroleum acids as plant growth stimulators. *PPOR*, 2025, Vol. 26, N 1, pp. 127-152.

## REFERENCES

1. Sadaf J., Singh R., Bhardwai R., Parvaiz A. Plant growth regulators: a sustainable approach to combat pesticide toxicity. *J. Biotech.*, 2020, Vol. 10, N 11, pp. 466-478.

2. Maurino V., Enqvist M. 2-Hydroxy Acids in Plant Metabolism. *Arabidopsis book*, 2015, Vol. 13, pp. 182-198.

3. Mikami Y., Takahara H., Limura H., Suzuki A. Several Synthetic Hydroxy-acids as Plant Growth Regulators. *Agricultural and Biological Chemistry*, 1970, Vol. 34, N 6, pp. 977-979.

4. Pat. 3679492A. US. 1969.

5. Pat. 6432883B1. US. 2000.

6. Zhao H., Chen H., Bing Zh. Glycolic acid addition enhances lead uptake and transport by *Hydrangea macrophylla* (Thunb.) Ser. of different plant ages. *Environmental Technology and Innovation*, 2024, Vol. 36, pp. 103877-103892.

7. Wenwen Ch., Pingjing H., Zhang H., Duan H. The low dose of L-lactic acid as loess soil amendment enhances wheat rhizosphere microecosystem. *Rhizosphere*, 2023, Vol. 28, pp. 100784-100793.

8. Yoshikawa M., Hirai N., Wakabayashi K., Sugizaki H. Succinic and lactic acids as plant growth promoting compounds produced by rhizospheric *Pseudomonas putida*. *Canadian Journal of Microbiology*, 1993, Vol. 39, N 12, pp. 71-77.

9. Kinnersley A., Scott T., Yopp J.H., Whitten G.H. Promotion of plant growth by polymers of lactic acid. *Plant Growth Regulation*, 1990, Vol. 9, pp. 137-146.
10. Yan F., Junchi M., Congfanq X., Peng M. Lactic acid induced defense responses in tobacco against *Phytophthora nicotianae*. *Scientific Reports*, 2024, Vol. 14, pp. 9338-9341.
11. Nakamura H., Shinohara R., Kobayashi J., Matsuzoe N. Effect of succinic acid, lactic acid, and lactic acid oligomers on the growth of pea sprouts (*Pisum sativum*) in water culture. *Journal of Japanese Society of Agricultural Technology Management*, 2019, Vol. 25, N 3, pp. 63-69.
12. Chang Y-N., Mueller R.E., Jannotti E. Use of lpw MW polylactic acid and lactide to stimulate growth and yield of soybeans. *Plant Growth Regulation*, 1995, Vol. 19, pp. 31-38.
13. Krewson C.F., Saggese E.J., Carmichael J.F., Ard J.S. Plant Growth Regulators, Synthesis and Preliminary Evaluations of Amide, Lactic Acid, and Terpenoid Derivatives of Substituted Phenoxycarboxylic Acids. *J. Agric. Food Chem.*, 1959, Vol. 7, N 2, pp. 116-122.
14. Sun X., Guoliang H., Meng Zh., Lin L. Roles of malic enzymes in plant development and stress responses. *Plant Signal Behavior*, 2019, Vol. 14, N 10, pp. 1644596-1644603.
15. Ghazijahani N., Hadavi E., Son M.S., Jeong B.R. Foliar application of citric and malic acid to stock plants of rose alters the rooting of stem cuttings. *Chemical and Biological Technologies in Agriculture*, 2018, Vol. 5, pp. 11-19.
16. Chen H-Ch., Zhang S., Wu K., Rui L. The effects of exogenous organic acids on the growth, photosynthesis and cellular ultrastructure of *Salix variegata* Franch. Under Cd stress. *Exotoxicology and Environmental Safety*, 2020, Vol. 187, pp. 109790-109796.
17. Kazemi M. Influence of Foliar Application of 5-Sulfosalicylic Acid, Malic Acid, Putrescine and Potassium Nitrate on Vegetative Growth and Reproductive Characteristics of Strawberry cv. 'Selva'. *J. Biol. Environ. Sci.*, 2013, Vol. 7, N 20, pp. 93-101.
18. Darandeh N., Hadavi E. Effect of Pre-Harvest Foliar Application of Citric Acid and Malic Acid on Chlorophyll Content and Post-Harvest Vase Life of *Lilium* cv. Brunello. *Front. Plant. Sci.*, 2012, Vol. 2, N 5, pp. 106-112.
19. Peng S., Shao W., Huili Y., Guoyi X. Differences in Microbial Communities Stimulated by Malic Acid Have the Potential to Improve Nutrient Absorption and Fruit Quality of Grapes. *Front. Microbiol.*, 2022, Vol. 13, pp. 146-162.
20. Talebi M., Hadavi E., Jaafari N. Foliar Sprays of Citric Acid and Malic Acid Modify Growth, Flowering, and Root to Shoot Ratio of *Gazania* (*Gazania rigens* L.): A Comparative Analysis by ANOVA and Structural Equations Modeling/ *Advances in Agriculture*, 2014, Vol. 3, pp. 72-79.

21. Zhang X., Weijie X., IIN q., Zhang Ch. Malic acid inhibits accumulation of cadmium, lead, nickel and chromium by down-regulation of OsCESA and up-regulation of OsGLR3 in rice plant. *Environmental Pollution*, 2024, Vol. 341, N 1, pp. 122934-122942.
22. Twai S., Al-Saedi A., Jauma Y., Rasha K. Effect of citric and malic acids concentration on some growth and yield parameters of vicia fabal plant. *Plant Archives*, 2019, Vol. 19, N 2, pp. 4062-4066
23. Saboory A., Hadavi E., Imani A. Foliar sprays based on malic acid, citric acid and potassium sulfate improve several qualitative and quantitative traits of pistachio nuts. *International Society for Horticultural Science*, 2016, Vol. 1109, pp. 137-142.
24. Saeed A., Hassan Sh. Impact of thidiazuron, malic and citric acids on growth and flowering of rosa hybrida L. cv. "Arthur Bell" *International Journal of Health Sciences*, 2022, Vol. 6, N 1, pp. 514-520.
25. Tahjib-Ul-Arif M., Zahan I., Karim M., Imran Sh. Citric Acid-Mediated Abiotic Stress Tolerance in Plants. *Inter. J. Mol. Sci.*, 2021, Vol. 22, N 13, pp. 7235-7245.
26. Mosa W., El-Megeed N., MoaazAli M., Abada H. Preharvest Foliar Applications of Citric Acid, Gibberellic Acid and Humic Acid Improve Growth and Fruit Quality of 'Le Conte' Pear (*Pyrus communis* L.). *Horticulturae*, 2022, Vol. 8, N 6, pp. 507-516.
27. Longxing H., Zhang Zh., Xiang Z., Yang Zh. Exogenous Application of Citric Acid Ameliorates the Adverse Effect of Heat Stress in Tall Fescue (*Lolium arundinaceum*). *Front. Plant Sci.*, 2016, Vol. 7, pp. 312-319.
28. Noshin I., Akhtar N., Humaira Y., Sahreen S. Efficacy of citric acid chelate and Bacillus sp. in amelioration of cadmium and chromium toxicity in wheat. *Chemosphere*, 2022, Vol. 290, pp. 133342-133349
29. Malihi Z., Rizwan M., Mansha A., Qasim A. Citric Acid Enhances Plant Growth, Photosynthesis, and Phytoextraction of Lead by Alleviating the Oxidative Stress in Castor Beans. *Plants (Basel)*, 2019, Vol. 8, N 11, pp. 525-536
30. El-Yazal M. The Application of Citric Acid in Combination with Some Micronutrients Increases the Growth, Productivity and a Few Chemical Constituents of Maize (*Zea Mays*) Plants. *International Letters of Natural Sciences*, 2019, Vol. 76, pp. 86-97.
31. Massoud M.B., Sakouhi L., Chaui A. Effect of plant growth regulators, calcium and citric acid on copper toxicity in pea seedlings. *Journal of Plant Nutrition*, 2019, Vol. 42, N 10, pp. 1230-1242.
32. Waseem M., Hussain A., Rizwan M., Awais A. Combined Application of Citric Acid and Cr Resistant Microbes Improved Castor Bean Growth and Photosynthesis while It Alleviated Cr Toxicity by Reducing Cr+6 to Cr3+ Microorganisms, 2021, Vol. 9, N 12, pp. 2499-2507.

33. Sun Y-L., Hong S-K. Effects of citric acid as an important component of the responses to saline and alkaline stress in the halophyte *Leymus Chinensis* (Trin.). *Plant Growth Regulation*, 2011, Vol. 64, pp. 129-139.
34. Ibrahim E. Effect of citric acid on phytoextraction potential of *Cucurbita pepo*, *Lagenaria siceraria*, and *Raphanus sativus* plants exposed to multi-metal stress. *Scientific Reports*, 2023, Vol. 13, pp. 13070-13076.
35. El-Zefzafy M., Shahhat I., Tousef R., I-Sharkawy E. Influence of foliar application with amino acids and citric acid on physiological and phytochemical responses of *Artemisia abrotanum* produced by in vitro culture. *Biosci. Biotech. Res. Comm.*, 2016, Vol. 9, N 4, pp. 702-711.
36. Imran Sh., MAHAMUD a., Chakroborty J., Chandra N.P. Seed priming and exogenous application of citric acid enhance seedling growth and photosynthetic pigments and mitigate oxidative damage of soybean (*Glycine max*) under salt stress. *Archives of Biological Sciences*, 2023, Vol. 75, N 4, pp. 137-152.
37. Soroori S., Danaee E. Effects of Foliar Application of Citric Acid on Morphological and Phytochemical Traits of *Calendula officinalis* L. under Drought Stress Conditions. *Explore Journal*, 2023, Vol. 10, N 3, pp. 361-374.
38. Chakroborty J., Imran Sh., Mahamud A., Sarker P. Effect of citric acid (CA) priming and exogenous application on germination and early seedling growth of okra (*Abelmoschus esculentus* L.) plants under salinity stress condition. *Archives*, 2022, Vol. 7, N 3, pp. 262-267.
39. Abbasov V.M., Mursalov N.I., Asadova R.A. Synthesis of new innovative salicylic acid derivatives and compositions based on natural petroleum acids as plant growth stimulators. *PPOR*, 2025, Vol. 26, N 1, pp. 127-152.

#### ***Информация об авторах***

***В.М. Аббасов*** – академик, директор Института Нефтехимических процессов имени акад. ЮГ. Мамедалиева МНО Азербайджана;

***Р.А. Асадова*** – докторант, ст. н.с. лаборатории «Биологически активные соединения» ИНХП МНО Азербайджана;

***Ф.М. Гасанова*** – н.с. лаборатории «Исследование проблем катализа спектроскопическими методами» ИНХП МНО Азербайджана;

***Ф.Н. Агаев*** – кандидат биологических наук, вед. н.с. лаборатории «Функционального анализа» НИИ Овощеводства Азербайджана.

***Information about the author***

***V.M. Abbasov*** – academician, director of the Institute of Petrochemical Processes named after academician Yu.H. Mammadaliyev of the Ministry of Education of Azerbaijan;

***R.A. Asadova*** – doctoral student, senior researcher of the laboratory "Biologically active compounds" of the Institute of Petrochemical Problems of the Ministry of Education of Azerbaijan;

***F.M. Gasanova*** – researcher of the laboratory "Study of catalysis problems by spectroscopic methods" of the Institute of Petrochemical Problems of the Ministry of Education of Azerbaijan;

***F.N. Agayev*** – candidate of biological sciences, leading researcher of the laboratory "Functional analysis" of the Research Institute of Vegetable Growing of Azerbaijan.

*Статья поступила в редакцию 11.04.2025; принята к публикации 13.05.2025.*

*The article was submitted 11.04.2025; accepted for publication 13.05.2025.*

## ХИМИЧЕСКИЕ НАУКИ

Научная статья

УДК 547.541.3

DOI 10.21510/3034-266X-2025-2-118-124

### АЦИЛИРОВАНИЕ КАРБОНИЛЬНЫХ СОЕДИНЕНИЙ

*Гюнай Заман гызы Гейдарли<sup>1</sup>, Чингиз Князь оглу Расулов<sup>2</sup>,  
Гюльшан Джаббар гызы Гасанова<sup>3</sup>, Кенуль Ширин гызы  
Алиева<sup>4</sup>*

*<sup>1,2,3,4</sup>Институт нефтехимических процессов Министерства  
науки и образования Азербайджана, Баку, Азербайджан,  
gulwen.hesenova@inbox.ru*

**Аннотация.** Представлены результаты исследований в области изучения реакции ацилирования карбонильных соединений, в частности, альдегидов и кетонов. Показаны основные направления применения продуктов реакции ацилирования карбонильных соединений.

**Ключевые слова:** реакция ацилирования, карбонильные соединения, альдегиды, кетоны, области применения ацильных аддуктов

**Для цитирования:** Гейдарли Г.З., Расулов Ч.К., Гасанова Г.Дж., Алиева К.Ш. Ацилирование карбонильных соединений // Вестник Башкирского государственного педагогического университета им. М.Акмиллы. Серия: Естественные науки. 2025. № 2. С. 118-124.

## CHEMICAL SCIENCES

Original article

### ACYLATION OF CARBONYL COMPOUNDS

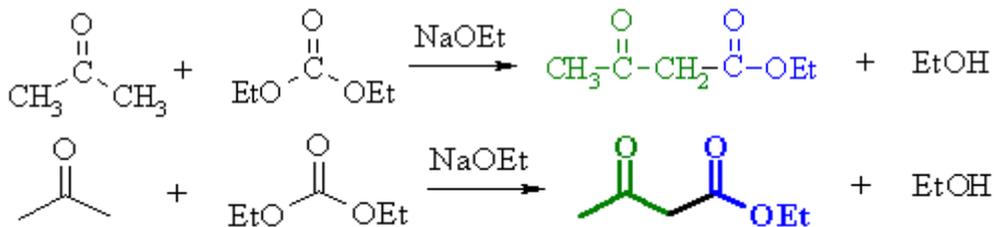
*Gunay Zaman Heydarli<sup>1</sup>, Chingiz Qnyaz Rasulov<sup>2</sup>, Gulshen  
Djabbar Gasanova<sup>3</sup>, Kenul Shirin Aliyeva<sup>4</sup>*

*<sup>1,2,3,4</sup>Institute of Petrochemical Processes of the Ministry of Science  
and Education of Azerbaijan, Baku, Azerbaijan,  
gulwen.hesenova@inbox.ru*

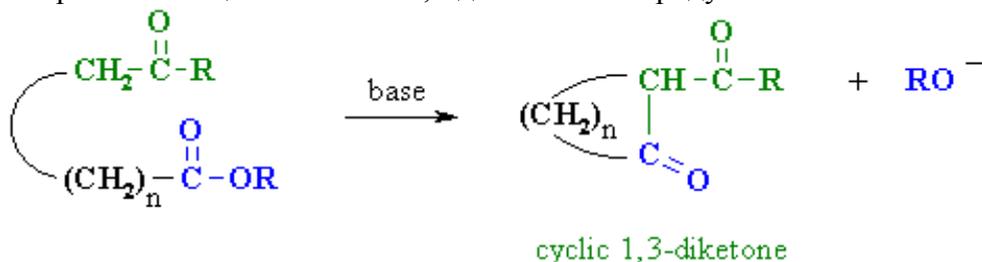
**Abstract.** The article presents the results of research in the field of studying the acylation reaction of carbonyl compounds, in particular, aldehydes and ketones. The main areas of application of the products of the acylation reaction of carbonyl compounds are shown.



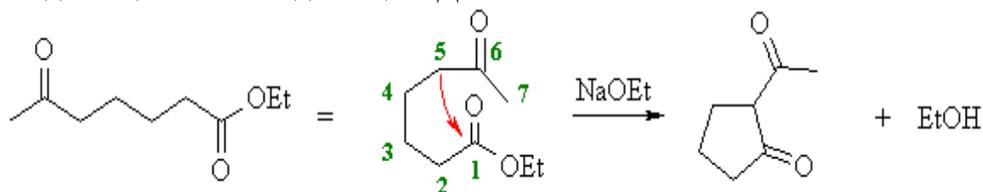
В качестве примера можно исследовать механизм реакции ацетона с диэтилкарбонатом, в результате которой образуется этилацетоацетат.



Внутримолекулярный вариант этой реакции также возможен при образовании благоприятных 5- или 6-членных колец, что приводит к образованию циклического 1,3-дикетонного продукта:



В качестве примера рассмотрим следующую реакцию, которая дает циклопентановую систему вместо менее благоприятной циклогептановой. Это похоже на внутримолекулярную альдольную конденсацию или конденсацию Дикмана

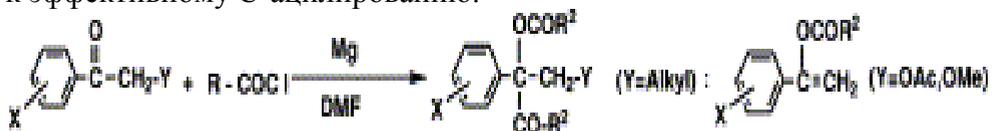


Обобщены данные об O- и C-ацилировании карбонильных соединений в условиях кислотного катализа [5]. Описаны свойства малоизученных продуктов этих реакций, т. е. ацилалей, агалогеналкилацилатов и енолацилатов. Охарактеризованы ацилоксикарбокатионы, образующиеся при ацилировании альдегидов и кетонов. Обсуждаются недавно открытые новые реакции карбонильных соединений, которые приводят к различным гетероциклическим и полифункциональным соединениям. Библиография включает 275 ссылок.

Альдегиды, полученные в результате окисления тканей перекислотой, легко ацетируются или полуизоируются, чтобы ослабить или полностью предотвратить реакцию Шиффа на фоне других хромогенных реакций [4]. Реакционная способность ацилированных альдегидов в реакции Шиффа быстро

восстанавливается путем омыления спиртовым раствором гидроксида калия (10-20 мм, 1% КОН, 70% этанзола). Реакция бемизолирования с 5-10% бензоилхлоридом в пиридине дает самую быструю и полную амидную блокаду, которая несколько хуже при добавлении 0,5% серной кислоты. Смеси пиридин уксусного амигирида, 25, 40 и 50% дают частичную или полную блокаду. Добавление 0,25-0,5% серной кислоты не дает последовательных эффектов. Уксусный ангиририд при 60# {176} С дал частичную блокаду в Y2-5 часов, при добавлении 0,01-0,25% серной кислоты была достигнута полная или субтотальная блокада. Ацетилирование в спирте дало худшие результаты. Use 25% уксусного ангиририда в ледяной уксусной кислоте дало худшие результаты; добавление 0,25% серной кислоты дало полную или субтотальную блокаду в течение 4-5 часов. Ледяная уксусная кислота не имела заметного эффекта блокады. Сульфатирование ими 10% и 25% H2SO4/ледяная уксусная кислота не блокировало альдегиды. Эксперименты с реакцией Шиффа на перуксусной кислоте для этиленовых групп показывают, что может образовываться некоторая доля эмсол-мотто-бензоата, и что при различных методах ацетилирования образуется меньшая или пригодная доля ацетата енола. Уксусный амигиририд с 0,25% H2SO4 при 600С, по-видимому, образует альдегиддиацетат.

Восстановительное кросс-сочетание ароматических альдегидов и кетонов с алифатическими хлоридами кислот, стимулированное Mg-переходами в ДМФА при комнатной температуре, привело к эффективному С-ацилированию с получением соответствующих  $\alpha$ -ацилокси- $\alpha$ -арилкетонов с хорошими выходами [6]. Обработка  $\alpha$ -метокси или  $\alpha$ -ацетоксиацетофенонов в аналогичных условиях дала соответствующие  $\alpha$ -ацилоксистирола исключительно. Реакция может быть инициирована переносом электронов от Mg к карбонильным группам субстратов. Кросс-сочетание ароматических альдегидов и кетонов с алифатическими хлоридами, стимулированное Mg, привело к эффективному С-ацилированию.



При определенных условиях кетон, имеющий альфа-атом водорода, может быть ацилирован сложным эфиром, ангириридом кислоты или хлорангириридом кислоты с образованием  $\beta$ -кетона или, когда ацилирующим агентом является муравьиный эфир,  $\beta$ -кетоальдегида [2]. Процесс заключается в замене альфа-атома водорода кетона ацильной группой. Реакция включает конденсацию углерода с углеродом. Ацилирование кетонов сложными эфирами

обычно осуществлялось с помощью основного реагента, такого как натрий, этюксид натрия и т. д. Ацилирование кетонов с образованием  $\beta$ -дикетонов может также происходить с помощью ангидридов кислот с помощью кислотного реагента трифторида бора.

Разработан метод, катализируемый Pd, для прямого ацилирования связи C-H путем кросс-сочетания арилкетонных оксимов и альдегидов с использованием трет-бутилгидропероксида (ТВНР) в качестве окислителя. С оксимами в качестве направляющей группы для активации связи C-H соединение с альдегидами достигалось замечательной региоселективностью [1]. Реакции ацилирования демонстрируют толерантность к функциональным группам, и как алифатические, так и гетероароматические альдегиды могут быть эффективно соединены с оксимами.

Однореакторное прямое восстановительное ацелирование альдегидов было достигнуто в мягких условиях с использованием 1-гидросилатрана в качестве безопасного и легкодоступного катализатора [7]. Описан простой синтез получения ацилированных первичных спиртов, которые являются строительными блоками для органического синтеза. Метод имеет хорошую толерантность к функциональным группам и работает для ряда арильных альдегидов, за исключением богатых электронами аренов. Серия эфиров была выделена с помощью флэш-хроматографии с выходами до 92%.

### СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Larock R.C., Dubrovskiy A.V., Markina N.A. Alkylation and Acylation of Aldehydes, Ketones, and Their Derivatives // Chapter in book *Comprehensive Organic Transformations*. – 2018. – 283 p.
2. Stork G., Brizzolara A., Landesman H., Terrell R. The enamine alkylation and acylation of carbonyl compounds // *J. Amer. Chem. Soc.* – 1963. – Vol. 85. – N 2. – pp. 207-222.
3. Seebach D. Methods and Possibilities of Nucleophilic Acylation // *Angewandte Chemie International Edition*. – 1969. – Vol. 8. – N 9. – pp. 639-650.
4. Lukyanov S.M., Koblik A.V. Acid-catalysed acylation of carbonyl compounds // *Russian Chemical Reviews*. – 1996. – Vol. 65. – N 1. – pp. 1-25.
5. Lillie R. Histochemical acylation of aldehydes produced by periodic acid oxidation // *Journal of Histochemistry and Cytochemistry*. – 1966. – Vol. 14. – N 7. – pp. 529-537.
6. Nishiguchi K., Sakai M., Naekawa H., Ohno T. Mg-promoted carbon-acylation of aromatic aldehydes and ketones // *Tetrahedron Letters*. – 2002. – Vol. 43. – N 4. – pp. 635-637.

7. Hauser Ch., Swamer F., Adams J.T. The Acylation of Ketones to Form  $\beta$ -Diketones or  $\beta$ -Keto Aldehydes // Chapter in book *Organic Reactions*. – 2011. – 180 p.

8. Chan Ch., Zhongyuan Zh., Albert Ch., Wing Y. Pd-catalyzed ortho-C-H acylation/cross coupling of aryl ketone O-methyl oximes with aldehydes using tert-butyl hydroperoxide as oxidant // *Organic Letters*. – 2010. – Vol. 12. – N 17. – pp. 3926-3929.

9. Reuben J., Herlugson Sh., Varjosaari S., Skrypaia Z. One-Pot Reductive Acetylation of Aldehydes using 1-Hydrosilatrane in Acetic Acid // *SynOpen Letter*. – 2019. – N 3. – pp. 1-3.

### REFERENCES

1. Larock R.C., Dubrovskiy A.V., Markina N.A. Alkylation and Acylation of Aldehydes, Ketones, and Their Derivatives // Chapter in book *Comprehensive Organic Transformations*. – 2018. – 283 p.

2. Stork G., Brizzolara A., Landesman H., Terrell R. The enamine alkylation and acylation of carbonyl compounds // *J. Amer. Chem. Soc.* – 1963. – Vol. 85. – N 2. – pp. 207-222.

3. Seebach D. Methods and Possibilities of Nucleophilic Acylation // *Angewandte Chemie International Edition*. – 1969. – Vol. 8. – N 9. – pp. 639-650.

4. Lukyanov S.M., Koblik A.V. Acid-catalysed acylation of carbonyl compounds // *Russian Chemical Reviews*. – 1996. – Vol. 65. – N 1. – pp. 1-25.

5. Lillie R. Histochemical acylation of aldehydes produced by periodic acid oxidation // *Journal of Histochemistry and Cytochemistry*. – 1966. – Vol. 14. – N 7. – pp. 529-537.

6. Nishiguchi K., Sakai M., Naekawa H., Ohno T. Mg-promoted carbon-acylation of aromatic aldehydes and ketones // *Tetrahedron Letters*. – 2002. – Vol. 43. – N 4. – pp. 635-637.

7. Hauser Ch., Swamer F., Adams J.T. The Acylation of Ketones to Form  $\beta$ -Diketones or  $\beta$ -Keto Aldehydes // Chapter in book *Organic Reactions*. – 2011. – 180 p.

8. Chan Ch., Zhongyuan Zh., Albert Ch., Wing Y. Pd-catalyzed ortho-C-H acylation/cross coupling of aryl ketone O-methyl oximes with aldehydes using tert-butyl hydroperoxide as oxidant // *Organic Letters*. – 2010. – Vol. 12. – N 17. – pp. 3926-3929.

9. Reuben J., Herlugson Sh., Varjosaari S., Skrypaia Z. One-Pot Reductive Acetylation of Aldehydes using 1-Hydrosilatrane in Acetic Acid // *SynOpen Letter*. – 2019. – N 3. – pp. 1-3.

### ***Информация об авторах***

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

***Г.Дж. Гасанова*** – кандидат химических наук, ведущий н.с. лаборатории «Химия и технология циклоалкилфенолов» ИНХП МНО Азербайджана;

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

***К.Ш. Алиева*** – докторант, мл. н. с. лаборатории «Химия и технология циклоалкилфенолов» ИНХП МНО Азербайджана.

### ***Information about the author***

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

***G.D. Gasanova*** – candidate of chemical sciences, leading researcher of laboratory "Chemistry and technology of cycloalkylphenols" IPCP MES of Azerbaijan;

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

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

*Статья поступила в редакцию 10.04.2025; принята к публикации 13.05.2025.*

*The article was submitted 10.04.2025; accepted for publication 13.05.2025.*

---

## ХИМИЧЕСКИЕ НАУКИ

Научная статья

УДК 547.541.3

DOI 10.21510/3034-266X-2025-2-125-142

*Мехрибан Видади гызы Нагиева<sup>1</sup>, Чингиз Князь оглу Расулов<sup>2</sup>,  
Гюльсум Фариз гызы Гаджиева<sup>3</sup>, Гюнай Заман гызы  
Гейдарли<sup>4</sup>*

*<sup>1,2,3,4</sup>Институт Нефтехимических процессов Министерства  
Науки и Образования Азербайджана, Баку, Азербайджан,  
rchk@mai.ru*

### ИЗУЧЕНИЕ РЕАКЦИИ АЦИЛИРОВАНИЯ АМИНОВ И ИХ ПРОИЗВОДНЫХ

**Аннотация.** Рассмотрены реакции ацилирования аминов и их функционально-замещенных производных. Показаны влияния различных факторов и параметров реакции, на выход синтезированных ациламинов. Предложены основные области применения синтезированных аддуктов.

**Ключевые слова:** амины, аммиак, первичные, вторичные и третичные амины, ацилирование, ациламины

**Для цитирования:** Нагиева М.В., Расулов Ч.К., Гаджиева Г.Ф., Гейдарли Г.З. Изучение реакции ацилирования аминов и их производных // Вестник Башкирского государственного педагогического университета им. М.Акмуллы. Серия: Естественные науки. 2025. № 2. С. 125-142.

## CHEMICAL SCIENCES

Original article

### STUDY OF THE ACYLATION REACTION OF AMINES AND THEIR DERIVATIVES

*Mehriban Vidadi qizi Nagiyeva<sup>1</sup>, Chingiz Knyaz oglu Rasullo<sup>2</sup>,  
Gyulsun Fariz qizi Hajiyeva<sup>3</sup>, Gunay Zaman qizi Heydarli<sup>4</sup>*

*<sup>1,2,3,4</sup>Institute of Petrochemical Processes of the Ministry of Science  
and Education of Azerbaijan, Baku, Azerbaijan,  
rchk@mai.ru*

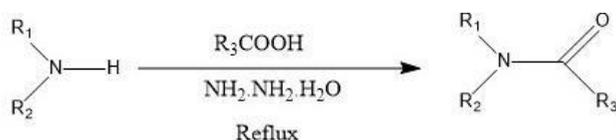
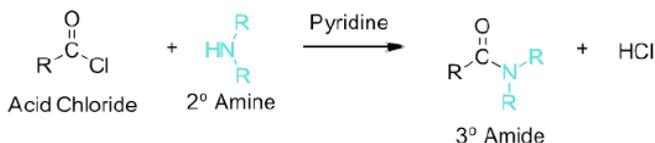
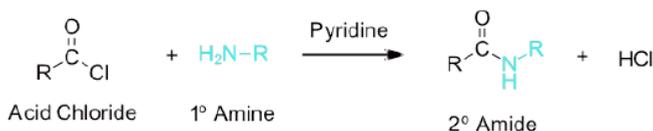
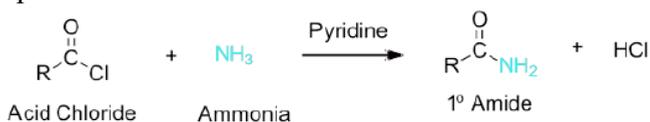
**Abstract.** The reactions of acylation of amines and their functionally substituted derivatives are considered. The influence of various factors and

reaction parameters on the yield of synthesized acylamines is shown. The main areas of application of the synthesized adducts are proposed.

**Keywords:** amines, ammonia, primary, secondary and tertiary amines, acylation, acylamines

**For citing:** Nagiyeva M.V., Rasullov Ch.K., Hajiyeva G.F., Heydarli G.Z. Study of the acylation reaction of amines and their derivatives // Bulletin of Bashkir State Pedagogical University named after M. Akmully. Series: Natural Sciences. 2025. №2. pp. 125-142.

Аммиак, первичные и вторичные амины быстро реагируют с хлорангидридами или ангидридами кислот, образуя первичные, вторичные и третичные амиды. Эти реакции обычно протекают быстро при комнатной температуре и обеспечивают высокие выходы реакции. Реакция обычно проводится с основанием, таким как NaOH или пиридин, для нейтрализации HCl. Избыточное ацилирование не происходит, поскольку неподеленные пары электронов на азоте амида сопряжены с карбонилем, что делает его менее нуклеофильным, чем исходный материал амина.



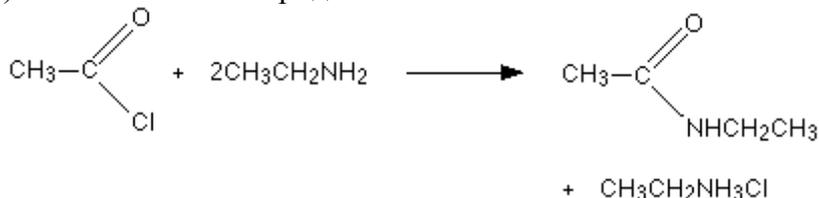
For anilines, R<sub>1</sub>=aryl, R<sub>2</sub>=H;

Secondary amines R<sub>1</sub>=aryl, R<sub>2</sub>=-CH<sub>3</sub>; morpholino, piperidino

R<sub>3</sub>=-CH<sub>3</sub>-, -CH<sub>2</sub>-CH<sub>2</sub>-

Рассмотрим механизм реакции ацилирования аминов на примере реакции нуклеофильного присоединения/элиминирования между ацилхлоридами (хлорангидридами кислот) и аминами.

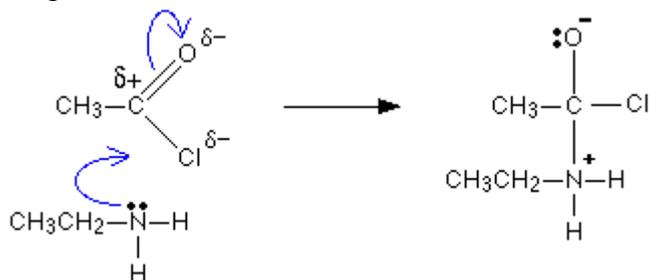
Этаноилхлорид рассматривается как типичный ацилхлорид. Аналогично, этиламин рассматривается как типичный амин. Этианоилхлорид активно реагирует с холодным концентрированным раствором этиламина. Образуется белый твердый продукт, представляющий собой смесь N-этилэтаноамида (N-замещенного амида) и этиламмонийхлорида.



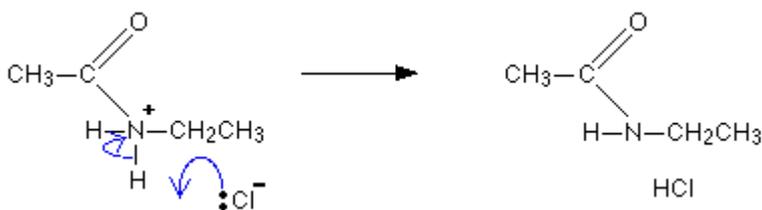
Следует отметить, что в отличие от реакций между этаноилхлоридом и водой или этанолом, хлористый водород не образуется — по крайней мере, ни в каком количестве. Любой образовавшийся хлористый водород немедленно прореагирует с избытком этиламина, давая хлорид этиламмония.



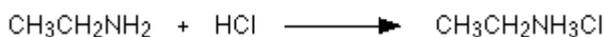
Первая стадия (стадия присоединения реакции) включает нуклеофильную атаку на положительный атом углерода неподделенной электронной парой атома азота в этилаmine.



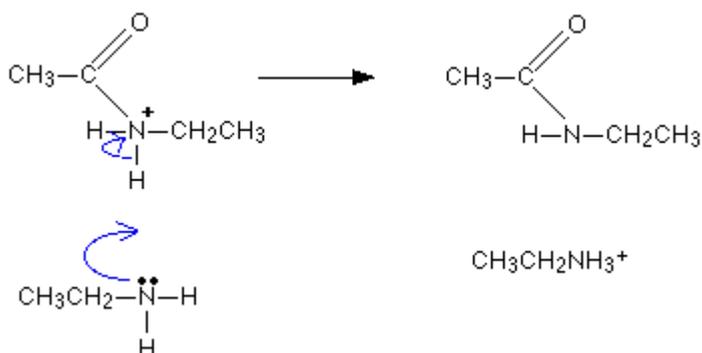
Затем следует удаление иона водорода из азота. Это может произойти одним из двух способов. Он может быть удален ионом хлорида, образуя HCl (который немедленно прореагирует с избытком этиламина, давая хлорид этиламмония, как указано выше).



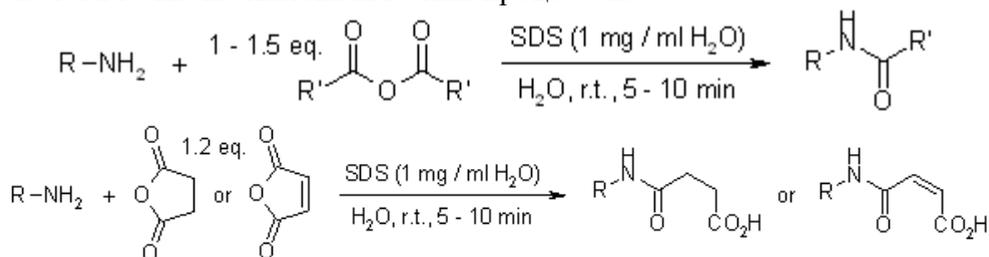
и



или его можно удалить непосредственно молекулой этиламина. Ион этиламмония вместе с уже присутствующим хлорид-ионом образуют хлорид этиламмония, образующийся в ходе реакции.

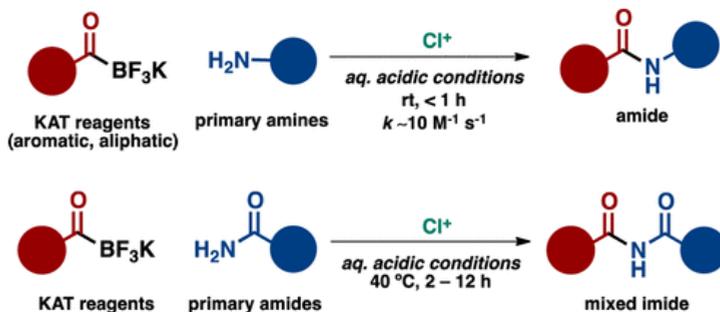


Амины эффективно ацилируются циклическими и ациклическими ангидридами путем растворения их в водной среде с помощью поверхностно-активного вещества, додецилсульфата натрия (SDS) [1]. Циклические и ациклические ангидриды одинаково легко реагируют с амином, а амины с различными стереоэлектронными факторами реагируют с одинаковой скоростью с ангидридом. Было достигнуто хемоселективное ацилирование аминов в присутствии фенолов и тиолов и тиолов в присутствии фенолов. В ходе реакции не используются ни кислотные, ни основные реагенты. Для выделения ацилированных продуктов не требуется хроматографического разделения. Реакции в нейтральной водной среде, простота выделения продуктов и безвредные побочные продукты делают настоящий метод экологически чистым химическим процессом.

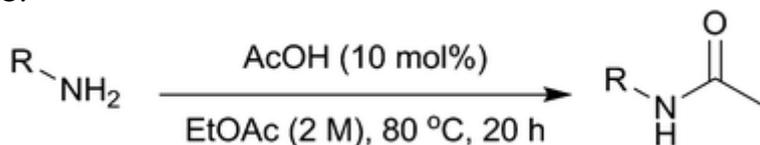


Современные методы построения амидных связей соединяют амины и карбоновые кислоты посредством дегидратационных связей — процессов, которые обычно требуют органических растворителей, дорогих и часто опасных реагентов для связывания и маскировки других функциональных групп [2]. В этой работе авторы описывают образование амида с использованием первичных аминов и ацилтрифторборатов калия, стимулированное простыми хлорирующими агентами, которое быстро протекает в воде. Реакция протекает быстро при кислом pH и допускает наличие спиртов, карбоновых кислот и вторичных аминов в субстратах. Она применима к функционализации

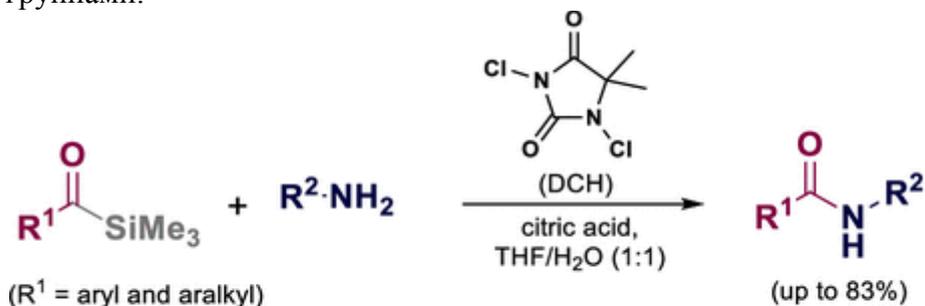
первичных амидов, сульфонамидов и других N-функциональных групп, которые обычно сопротивляются классическим ацилированиям, и может применяться для функционализации на поздних стадиях.



Сообщается о дешевом и простом методе ацетилирования различных аминов с использованием каталитической уксусной кислоты, этилацетата или бутилацетата в качестве источника ацила [3]. Загрузка катализатора всего лишь в 10 мол.% давала ацетамидные продукты с отличным выходом при температурах от 80 до 120 °C. Методология также может быть успешно применена для синтеза широкого спектра других амидов, включая образование формамидов при 20 °C.

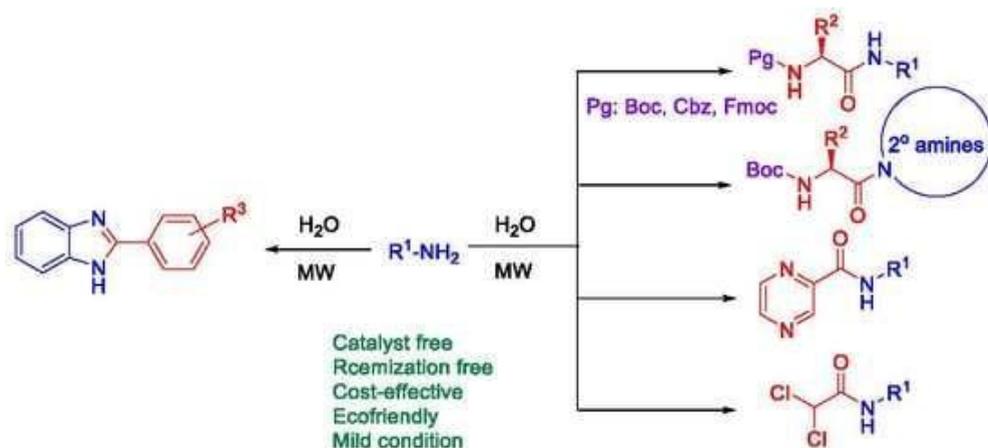


Авторы [4] сообщают о простом методе формирования амидных связей между ацилсиланами и широким спектром аминов в присутствии мягкого хлорирующего агента в водно-кислых условиях. Реакция является высокоселективной, как показано на примере модификации на поздней стадии панели одобренных лекарственных средств и натуральных продуктов с реактивными функциональными группами.



✓chemoselective ✓mild aqueous conditions ✓late-stage modifications

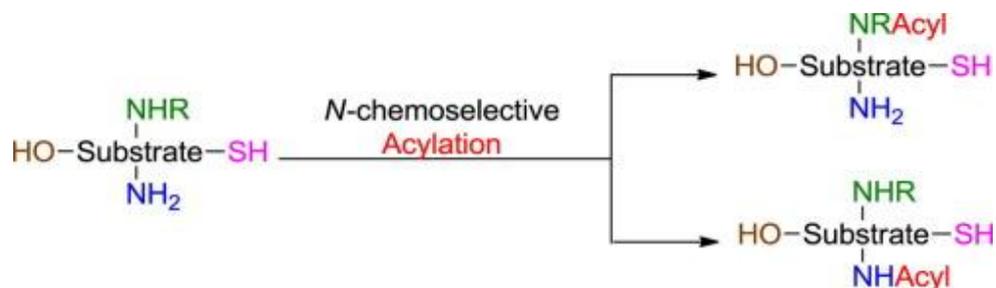
Прямой, мягкий и экономичный синтез различных ариламинов в воде был осуществлен с использованием универсальной химии бензотриазола [5]. Ацилирование различных аминов было достигнуто в воде при комнатной температуре, а также при микроволновом облучении. Разработанный протокол раскрывает синтез ариламинов аминокислот, конъюгатов лекарственных средств и бензимидазолов. Экологически чистый синтез, короткое время реакции, простая обработка, высокие выходы, мягкие условия и отсутствие рацемизации являются ключевыми преимуществами этого протокола.



Хемоселективное ацилирование аминов было проведено в воде на открытом воздухе с использованием ациклических или циклических ангидридов или бензоилхлорида в отсутствие какого-либо кислотного или основного катализатора или поверхностно-активного вещества [6]. Алкил- или ариламины, включая первичные или вторичные амины, аминокислоты, диамины и т.д., давали соответствующие N-ацильные производные с хорошими выходами. Селективное N-ацилирование наблюдалось в присутствии групп -OH, -SH, -COOH или -COOEt. Будучи альтернативой существующим методам селективного ацилирования аминов, настоящая методология может найти применение.

N-хемоселективное ацилирование аминов в присутствии конкурирующих нуклеофилов, таких как спирты и тиолы, ни в коем случае не является простым достижением в органическом синтезе, и еще больше трудностей возникает, когда необходимо провести различие между первичными, вторичными и ароматическими аминами [7]. В настоящем обзоре будут рассмотрены некоторые недавние достижения в этой области. Кроме того, будут обсуждаться более креативные стратегии, включающие хемоферментативные реакции и катализируемые металлами ацилирования и карбонилирования, чтобы

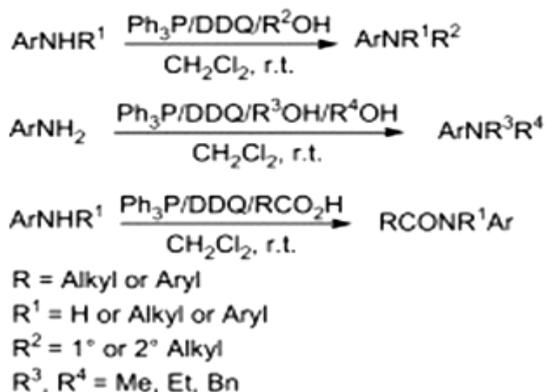
предоставить краткий обзор современных подходов к этой синтетической задаче.



Отмечается [8], что амидная связь повсеместно встречается в биологии, медицинской химии и материаловедении. Как следствие, методы N-ацилирования аминов с образованием амидов являются одной из наиболее широко исследованных реакций в органической химии. Здесь описываются наиболее широко используемые реакции N-ацилирования, используемые для получения вторичных и третичных амидов с использованием различных ацилирующих агентов, включая реакции образования пептидных связей, используемые для синтеза больших полипептидных цепей. Также освещаются последние разработки в реакциях N-ацилирования, в частности, достижения в каталитических подходах к амидным связям, химическом лигировании пептидов, а также эффективные стратегии N-ацилирования, которые использовались для кинетического разделения рацемических аминов.

В работе [9] проведено ацилирование алифатических и ароматических аминов, спиртов и аминоспиртов с помощью одновременного инфракрасно-ультразвукового облучения (SIUI) без растворителя за короткое время реакции и с хорошим выходом. Сравниваются результаты, полученные с SIUI и для термических, инфракрасных и ультразвуковых источников энергии. Это первый отчет, касающийся применения SIUI в реакциях ацилирования.

Показано [10], что ацилирование первичных и вторичных аминов 5-фенилтетразол-2-илацетилхлоридом приводит к соответствующим тетразолилацетидам независимо от природы заместителя в структуре амина. Селективное N-моноалкилирование ароматических аминов первичными и вторичными спиртами и превращение ароматических аминов в амиды осуществляются немедленно и с отличными выходами с использованием трифенилфосфина (PPh<sub>3</sub>) и 2,3-дихлор-5,6-дицианобензохинона (DDQ) в дихлорметане при комнатной температуре [11]. Симметричное и несимметричное N,N-диалкилирование ароматических аминов также осуществляются с умеренным выходом при комнатной температуре с помощью этой системы реагентов.

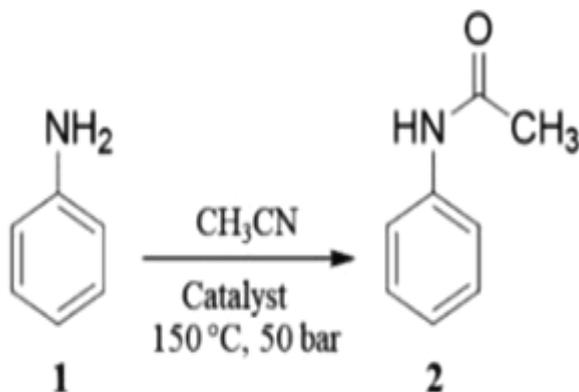


Обнаружено, что йод способствует количественному N-ацилированию первичных и вторичных аминов (алифатических и ароматических) за короткое время с эквимольным количеством ацетилхлорида и бензоилхлорида без растворителя при комнатной температуре [12]. Это каталитическое ацилирование аминов предлагает дополнительный метод для ацетилирования с использованием ацетилхлорида вместо уксусного ангидрида и других ацетилирующих агентов, а также полезен при N-ацилировании гетероциклов. Мягкие условия реакции, высокая селективность, эффективность и хорошие выходы являются его преимуществами.

Изучены стабильность и реакционная способность азидов карбоксиэтилдекстрана по отношению к аминам, а также влияние pH среды и pKa амина на количество амидных групп в продуктах ацилирования [13]. Разработана реакция ацетилирования с непрерывным потоком, с применением недорогого и безопасного реагента, ацетонитрила в качестве ацетилирующего агента и оксида алюминия в качестве катализатора. В методе используется более мягкий реагент, чем в традиционных. Реакция протестирована на различных ароматических и алифатических аминах с хорошей конверсией, катализатор показал пригодность к повторному использованию. Кроме того, лекарственное вещество (парацетамол) было также синтезировано с хорошей конверсией и выходом.

Простой одностадийный биокаталитический синтез N-ациламидов в воде был выполнен с использованием универсальной и хемоселективной ацилтрансферазы из *Mycobacterium smegmatis* (MsAcT) [15]. Ацетилирование первичных арилалкиламинов было достигнуто с рядом доноров ацетила в двухфазных системах в течение 1 часа при комнатной температуре. Винацетат был лучшим донором, который можно было использовать в N-ацетилировании широкого диапазона первичных аминов с превосходными выходами (85-99%) всего через 20 мин. Другие доноры ацила (включая формил-,

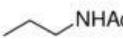
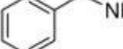
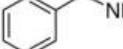
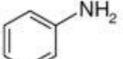
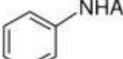
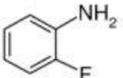
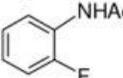
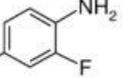
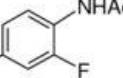
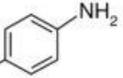
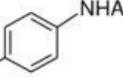
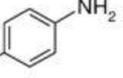
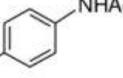
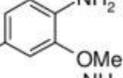
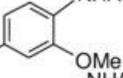
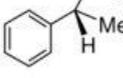
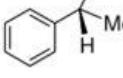
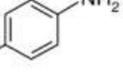
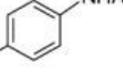
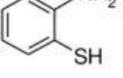
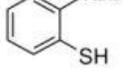
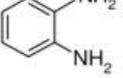
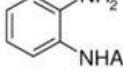
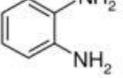
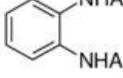
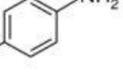
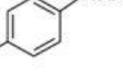
пропионил- и бутирил-доноры) также эффективно использовались в биокаталитическом N-ацилировании.

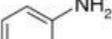
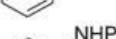
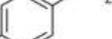
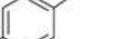
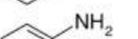
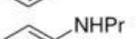
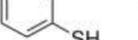
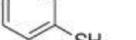
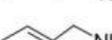
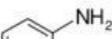
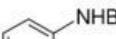
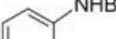
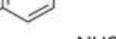
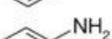
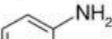
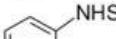


Entry	Lewis Acids	Solvent	Conversion (%)
1	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Acetonitrile	0
2	Boric acid	Acetonitrile	3
3	AlCl <sub>3</sub>	Acetonitrile	19
4	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Acetonitrile	64

Наконец, биокатализатор был испытан в реакциях переамидирования с использованием ацетамида в качестве донора ацетила в водной среде, достигнув выходов 60-70%. Эта работа расширяет спектр методов для получения N-ациламидов, описывая биокаталитический подход, который легко реализовать в мягких условиях в воде.

Наночастицы магнетита, модифицированные медно-привитой гуанидинуксусной кислотой (Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>@GAA-Cu(II)) в качестве зеленого, суперпарамагнитного и восстанавливаемого нанокатализатора, как обнаружено, способствуют количественному N-ацилированию различных аминов за очень короткое время с эквимольным количеством тиоуксусной кислоты в воде при комнатной температуре [16]. Данный метод оказался высокоселективным для аминов и нечувствительным к другим функциональным группам. Мягкие условия реакции, высокая селективность, эффективность, простая обработка и отличные выходы являются некоторыми из основных преимуществ процедуры.

Substrate	Product <sup>a</sup>	Yield (%) <sup>b</sup>
 <b>1</b>	 <b>1a</b>	63
 <b>2</b>	 <b>2a</b>	71
 <b>3</b>	 <b>3a</b>	94
 <b>4</b>	 <b>4a</b>	93
 <b>5</b>	 <b>5a</b>	94
 <b>6</b>	 <b>6a</b>	85
 <b>7</b>	 <b>7a</b>	97
 <b>8</b>	 <b>8a</b>	95
 <b>9</b>	 <b>9a</b>	87
 <b>10</b>	 <b>10a</b>	79
 <b>11</b>	 <b>11</b>	95
 <b>12</b>	 <b>12a</b>	26 <sup>c</sup>
 <b>13</b>	 <b>13a</b>	93 <sup>d</sup>
 <b>13</b>	 <b>13aa</b>	85 <sup>e</sup>
 <b>14</b>	 <b>14a</b>	93 <sup>e</sup>

Substrate	Anhydride	Product	Yield (%) <sup>a,b</sup>
 <b>2</b>	Propionic	 <b>2b</b>	83
 <b>4</b>	Propionic	 <b>4b</b>	93
 <b>11</b>	Propionic	 <b>11b</b>	96
 <b>12</b>	Propionic	 <b>12b</b>	08 <sup>c</sup>
 <b>2</b>	Benzoic	 <b>2c</b>	85
 <b>3</b>	Benzoic	 <b>3c</b>	88
 <b>4</b>	Benzoic	 <b>4c</b>	91
 <b>11</b>	Benzoic	 <b>11c</b>	93
 <b>4</b>	Succinic	 <b>4d</b>	79
 <b>7</b>	Succinic	 <b>7d</b>	82
 <b>11</b>	Succinic	 <b>11d</b>	86
 <b>4</b>	Maleic	 <b>4e</b>	78
 <b>7</b>	Maleic	 <b>7e</b>	83
 <b>8</b>	Maleic	 <b>8e</b>	85
 <b>4</b>	Phthalic	 <b>4f</b>	86
 <b>7</b>	Phthalic	 <b>7f</b>	84
 <b>8</b>	Phthalic	 <b>8f</b>	81
 <b>11</b>	Phthalic	 <b>11f</b>	88

Ацилцианиды являются весьма полезными реагентами для хемоселективного ацилирования первичных аминов в присутствии

вторичных аминов [17]. Реакция обеспечивает универсальный метод для короткого шага синтеза различных природных полиаминов.

Различные типы алифатических аминов были формилированы формамидом и этилформиатом [18]. Ацилирование бензиламина было проведено с формилметиламином, формилэтиламином, ацетамидом, н-бутилформиатом и этилацетатом.

Ацетилхлорид является одним из наиболее доступных и дешевых ацилирующих агентов, но его высокая реакционная способность и сопутствующая нестабильность в воде исключают его использование для проведения ацетилирования в водной среде [19]. Настоящая методология иллюстрирует эффективное ацетилирование первичных аминов и аминокислот в рассоле с помощью ацетилхлорида в слабощелочных условиях в присутствии ацетата натрия и/или триэтиламина с последующим растиранием с водным насыщенным раствором бикарбоната. Эта попытка представляет собой первое эффективное использование этого самого реакционноспособного, но дешевого ацетилирующего агента для ацетилирования аминов с превосходными выходами в водной среде. Это потенциально полезное зеленое химическое преобразование, где реакция происходит в экологически чистом рассоле, что приводит к легкой обработке и выделению производных амида. Механистическое обоснование этой методологии также важно.

Сообщается [20] о прямом ацетилировании различных аминов с этилацетатом и  $\{[Me_2(MeCOO)Sn]_2O\}_2$  в качестве катализатора. Первичные амины ацетируются с высоким выходом, тогда как вторичные объемные амины и анилин получают с низким выходом. Предложен предварительный механизм.

В исследовании [21] был разработан мягкий, эффективный и экологически чистый метод синтеза амидов и эфиров в присутствии гидротальцита в воде при комнатной температуре. Были использованы различные типы аминов и фенолов, и во всех случаях продукты были получены с выходами от умеренных до высоких после легкой обработки. Этот метод следует принципам зеленой химии.

В исследовании [22] была получена электропрядильная пленка для контроля свежести, полученная путем загрузки желатина/зеина с антоцианами фиолетового батата (PSPA), для отслеживания состояния свежести *Penaeus vannamei*. Электропрядильные нановолоконные пленки с весовым соотношением желатина и зеина 1:0, 3:1, 2:1 и 1:1 были названы GA, GZA 3:1, GZA 2:1 и GZA 1:1 соответственно. Было исследовано влияние концентрации зеина на свойства электропрядильной нановолоконной пленки. Результаты СЭМ показали, что для электропрядильных нановолоконных пленок наблюдалась гладкая поверхность. По мере увеличения содержания зеина средний диаметр уменьшался. FTIR и XRD не показали новых

характерных пиков, что указывает на хорошую совместимость желатина, зеина и PSPA. Включение зеина снизило коэффициент набухания (с полного растворения до 100,7%) и растворимость в воде (со 100% до 30%) и увеличило угол контакта с водой (с 0° до 113,3°). GA, GZA 3:1, GZA 2:1 и GZA 1:1 имели очевидные изменения цвета на NH<sub>3</sub> и продемонстрировали хорошую стабильность и обратимость. Кроме того, состояния свежести (свежий, полусвежий и испорченный) *Penaeus vannamei*, хранившегося при 4 °С, могли быть эффективно различимы GZA 3:1 по показам различных цветов (от розового до серо-фиолетового и синего). Следовательно, GZA3:1 продемонстрировал улучшенную гидрофобность и чувствительность к рН и имеет большой потенциал для мониторинга качества водных продуктов в реальном времени.

Разработана экологически чистая, простая, мягкая, хемоселективная и высокоэффективная процедура ацилирования первичной и вторичной аминофункции в различных структурно и электронно алифатических и ароматических соединениях, дающая соответствующие производные N-Ас [22]. Мягкие условия, простота и легкая обработка являются основными преимуществами этого метода. Реакции ацилирования аминов также стали предметом исследований в работах [23-25].

### СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Naik S., Bhattachariya G., Talukdar B., Patel Bh. Chemoselective acylation of amines in aqueous media // *European Journal of Organic Chemistry*. – 2004. – N 6. – pp. 1254-1260
2. Galves A., Schaack C., Noda H., Bode J. Chemoselective Acylation of Primary Amines and Amides with Potassium Acyltrifluoroborates under Acidic Conditions // *J. Amer. Chem. Soc.* – 2017. – Vol. 139. – N 5. – pp. 1826-1829.
3. Sharley D., Williams J. Acetic acid as a catalyst for the N-acylation of amines using esters as the acyl source // *Chemical Communications*. – 2017. – Vol. 53. – N 12. – pp. 2020-2023.
4. Tian J., Wei L., Deng X., Lakshminarayanan R. Chemoselective N-Acylation of Amines with Acylsilanes under Aqueous Acidic Conditions // *Org. Lett.* – 2023. – Vol. 25. – N 31. – pp. 5740-5744.
5. Ibrahim T., Seliem I., Panda S., Al-Mahmoudy A. An Efficient Greener Approach for N-acylation of Amines in Water Using Benzotriazole Chemistry // *Molecules*. – 2020. – Vol. 25. – N 11. – pp. 2501-2509.
6. Dulla B., Vijayavardhini S., Rambau D., Anuradha V. Catalyst / Surfactant Free Chemoselective Acylation of Amines in Water // *Current Green Chemistry*. – 2014. – Vol. 1. – N 1. – pp. 73-79.

7. Piazzolla F., Temperini A. Recent advances in chemoselective acylation of amines // *Tetrahedron Letters*. – 2018. – Vol. 59. – N 27. – pp. 2615-2621.
8. Taylor J.E., Bull S.D. N-Acylation Reactions of Amines // *Comprehensive Organic Synthesis*. – 2014. – Vol. 6. – N 2. – pp. 427-478.
9. Luna-Mora R., Ortega-Jimenez F., Rios-Guerra H., Garcia-Estrada J.G. Simultaneous infrared-ultrasound irradiation in organic synthesis: Acylation of amines, alcohols and amino alcohols // *Journal of the Mexican Chemical Society*. – 2019. – Vol. 63. – N 2. – pp. 156-172.
10. Putis S.M., Zubarev V.Y., Poplavskiy V.S., Ostrovskiy V.A. Acylation of amines with 5-phenyltetrazol-2-ylacetyl chloride // *Chemistry of Heterocyclic Compounds*. – 2004. – Vol. 40. – pp. 854-861.
11. Iranpoor N., Firouzabadi H., Nowrouzi N., Khalili D. Selective mono- and di-N-alkylation of aromatic amines with alcohols and acylation of aromatic amines using Ph<sub>3</sub>P/DDQ // *Tetrahedron*. – 2009. – Vol. 65. – N 19. – pp. 3893-3899.
12. Phukkan K., Ganquly M., Devi N. Mild and Useful Method for N-Acylation of Amines // *Synthetic Communications*. – 2009. – Vol. 35. – N 19. – pp. 2694-2701.
13. Krasnikova A.V., Vasilyeva Y.L., Iozep A.A. Acylation of amines with carboxyethyl dextran azides // *Russian Journal of Applied Chemistry*. – 2004. – Vol. 77. – pp. 260-262.
14. Orsy G., Fulop F., Mandity I. N-Acetylation of Amines in Continuous-Flow with Acetonitrile – No Need for Hazardous and Toxic Carboxylic Acid Derivatives // *Molecules*. – 2020. – Vol. 25. – N 8. – pp. 1985-1992.
15. Contente M.L., Pinto A., Molinari F., Paradis F. Biocatalytic N-Acylation of Amines in Water Using an Acyltransferase from *Mycobacterium smegmatis* // *Advan. Synth. Catal.* – 2023. – Vol. 13. – N 1. – pp. 1-7.
16. Miraki M.K., Yazdani E., Ghandi L., Azizi K. Mild and eco-friendly chemoselective acylation of amines in aqueous medium using a green, superparamagnetic, recoverable nanocatalyst // *Applied Organometallic Chemistry*. – 2017. – Vol. 31. – N 11. – pp. 3744-3751.
17. Murahashi Sh., Naota T., Nakajima N. Chemoselective Acylation of Primary Amines in the Presence of Secondary Amines with Acyl Cyanides. Highly Efficient Methods for the Synthesis of Spermidine and Spermine Alkaloid // *Chemistry Letters*. – 1987. – Vol. 16. – N 5. – pp. 879-882.
18. Sekiya M. Acylation of Amines with Amides or Esters // *J-STAGE*. – 1950. – Vol. 70. – N 10. – pp. 553-555.
19. Basu K., Chakraborty S., Sarkar A.K., Saha Ch. Efficient acetylation of primary amines and amino acids in environmentally benign

brine solution using acetyl chloride // *J. Chem. Sci.* – 2013. – Vol. 125. – N3. – pp. 607-613.

20. Camacho C., Jimenez-Perez V.M., Paz-Sandoval M.A., Flores-Parra A. Catalytic Acetylation Amines with Ethyl Acetate // *Main Group Metal Chemistry.* – 2008. – Vol. 312. – N 1-2. – pp. 1-8.

21. Massah A.R., Toghyani M., Nahafabadi B.H. Green and efficient method for the acylation of amines and phenols in the presence of hydrotalcite in water // *Journal of Chemical Research.* – 2012. – N 2. – pp. 603-605.

22. Ouarna S., Hacene K., Lakrouf S., Ghorab H. An eco-friendly and highly efficient route for N-acylation under catalyst-free condition // *Oriental Journal of Chemistry.* – 2022. – Vol. 31. – N 2. – pp. 9212-9215.

23. Kim H-O., Kahn M. Approaches to the Acylation of Hindered Secondary Amines // *Synlett.* – 1995. – N 1. – pp. 549-551.

24. Mikaia I. Reactive chromate-mass spectrometry. 15. Acylation in a chromato-mass spectrometer column when investigating mixtures of amines // *Russian Chemical Bulletin.* – 1988. – Vol. 37. – N 9. – pp. 492-497.

25. Al-Sehemi A., Al-Amri R., Irfan A. Selectivities in acylation of primary and secondary amine with diacylaminoquinazolinones and diacylanilines // *Indian Journal of Chemistry.* – 2014. – Vol. 53B. – pp. 1115-1121.

## REFERENCES

1. Naik S., Bhattachariya G., Talukdar B., Patel Bh. Chemoselective acylation of amines in aqueous media // *European Journal of Organic Chemistry.* – 2004. – N 6. – pp. 1254-1260

2. Galves A., Schaack C., Noda H., Bode J. Chemoselective Acylation of Primary Amines and Amides with Potassium Acyltrifluoroborates under Acidic Conditions // *J. Amer. Chem. Soc.* – 2017. – Vol. 139. – N 5. – pp. 1826-1829.

3. Sharley D., Williams J. Acetic acid as a catalyst for the N-acylation of amines using esters as the acyl source // *Chemical Communications.* – 2017. – Vol. 53. – N 12. – pp. 2020-2023.

4. Tian J., Wei L., Deng X., Lakshminarayanan R. Chemoselective N-Acylation of Amines with Acylsilanes under Aqueous Acidic Conditions // *Org. Lett.* – 2023. – Vol. 25. – N 31. – pp. 5740-5744.

5. Ibrahim T., Seliem I., Panda S., Al-Mahmoudy A. An Efficient Greener Approach for N-acylation of Amines in Water Using Benzotriazole Chemistry // *Molecules.* – 2020. – Vol. 25. – N 11. – pp. 2501-2509.

6. Dulla B., Vijayavardhini S., Rambau D., Anuradha V. Catalyst / Surfactant Free Chemoselective Acylation of Amines in Water // *Current Green Chemistry.* – 2014. – Vol. 1. – N 1. – pp. 73-79.

7. Piazzolla F., Temperini A. Recent advances in chemoselective acylation of amines // *Tetrahedron Letters*. – 2018. – Vol. 59. – N 27. – pp. 2615-2621.
8. Taylor J.E., Bull S.D. N-Acylation Reactions of Amines // *Comprehensive Organic Synthesis*. – 2014. – Vol. 6. – N 2. – pp. 427-478.
9. Luna-Mora R., Ortega-Jimenez F., Rios-Guerra H., Garcia-Estrada J.G. Simultaneous infrared-ultrasound irradiation in organic synthesis: Acylation of amines, alcohols and amino alcohols // *Journal of the Mexican Chemical Society*. – 2019. – Vol. 63. – N 2. – pp. 156-172.
10. Putis S.M., Zubarev V.Y., Poplavskiy V.S., Ostrovskiy V.A. Acylation of amines with 5-phenyltetrazol-2-ylacetyl chloride // *Chemistry of Heterocyclic Compounds*. – 2004. – Vol. 40. – pp. 854-861.
11. Iranpoor N., Firouzabadi H., Nowrouzi N., Khalili D. Selective mono- and di-N-alkylation of aromatic amines with alcohols and acylation of aromatic amines using Ph<sub>3</sub>P/DDQ // *Tetrahedron*. – 2009. – Vol. 65. – N 19. – pp. 3893-3899.
12. Phukkan K., Ganquly M., Devi N. Mild and Useful Method for N-Acylation of Amines // *Synthetic Communications*. – 2009. – Vol. 35. – N 19. – pp. 2694-2701.
13. Krasnikova A.V., Vasilyeva Y.L., Iozep A.A. Acylation of amines with carboxyethyl dextran azides // *Russian Journal of Applied Chemistry*. – 2004. – Vol. 77. – pp. 260-262.
14. Orsy G., Fulop F., Mandity I. N-Acylation of Amines in Continuous-Flow with Acetonitrile – No Need for Hazardous and Toxic Carboxylic Acid Derivatives // *Molecules*. – 2020. – Vol. 25. – N 8. – pp. 1985-1992.
15. Contente M.L., Pinto A., Molinari F., Paradis F. Biocatalytic N-Acylation of Amines in Water Using an Acyltransferase from *Mycobacterium smegmatis* // *Advan. Synth. Catal.* – 2023. – Vol. 13. – N 1. – pp. 1-7.
16. Miraki M.K., Yazdani E., Ghandi L., Azizi K. Mild and eco-friendly chemoselective acylation of amines in aqueous medium using a green, superparamagnetic, recoverable nanocatalyst // *Applied Organometallic Chemistry*. – 2017. – Vol. 31. – N 11. – pp. 3744-3751.
17. Murahashi Sh., Naota T., Nakajima N. Chemoselective Acylation of Primary Amines in the Presence of Secondary Amines with Acyl Cyanides. Highly Efficient Methods for the Synthesis of Spermidine and Spermine Alkaloid // *Chemistry Letters*. – 1987. – Vol. 16. – N 5. – pp. 879-882.
18. Sekiya M. Acylation of Amines with Amides or Esters // *J-STAGE*. – 1950. – Vol. 70. – N 10. – pp. 553-555.
19. Basu K., Chakraborty S., Sarkar A.K., Saha Ch. Efficient acetylation of primary amines and amino acids in environmentally benign

brine solution using acetyl chloride // J. Chem. Sci. – 2013. – Vol. 125. – N3. – pp. 607-613.

20. Camacho C., Jimenez-Perez V.M., Paz-Sandoval M.A., Flores-Parra A. Catalytic Acetylation Amines with Ethyl Acetate // Main Group Metal Chemistry. – 2008. – Vol. 312. – N 1-2. – pp. 1-8.

21. Massah A.R., Toghiani M., Nahafabadi B.H. Green and efficient method for the acylation of amines and phenols in the presence of hydrotalcite in water // Journal of Chemical Research. – 2012. – N 2. – pp. 603-605.

22. Ouarna S., Hacene K., Lakrou S., Ghorab H. An eco-friendly and highly efficient route for N-acylation under catalyst-free condition // Oriental Journal of Chemistry. – 2022. – Vol. 31. – N 2. – pp. 9212-9215.

23. Kim H-O., Kahn M. Approaches to the Acylation of Hindered Secondary Amines // Synlett. – 1995. – N 1. – pp. 549-551.

24. Mikaia I. Reactive chromate-mass spectrometry. 15. Acylation in a chromato-mass spectrometer column when investigating mixtures of amines // Russian Chemical Bulletin. – 1988. – Vol. 37. – N 9. – pp. 492-497.

25. Al-Sehemi A., Al-Amri R., Irfan A. Selectivities in acylation of primary and secondary amine with diacylaminoquinazolinones and diacylanilines // Indian Journal of Chemistry. – 2014. – Vol. 53B. – pp. 1115-1121.

### ***Информация об авторах***

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

Нагиева Мехрибан Видади гызы – кандидат химических наук, ведущий н.с. лаборатории «Химия и технология циклоалкилфенолов» ИНХП МНО Азербайджана;

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

***Г.Ф. Гаджиева*** – докторант, мл. н. с. лаборатории «Химия и технология циклоалкилфенолов» ИНХП МНО Азербайджана.

### ***Information about the author***

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

***M.V. Naghiyeva*** – candidate of chemical sciences, leading researcher of laboratory "Chemistry and technology of cycloalkylphenols" IPCP MES of Azerbaijan;

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

**G.F. Hajiyeva** – doctoral student, researcher of laboratory "Chemistry and technology of cycloalkylphenols" IPCP MES of Azerbaijan.

*Статья поступила в редакцию 10.04.2025; принята к публикации 15.05.2025.*

*The article was submitted 10.04.2025; accepted for publication 15.05.2025.*

## ХИМИЧЕСКИЕ НАУКИ

Научная статья

УДК 547.541.3

DOI 10.21510/3034-266X-2025-2-143-156

### АЛКИЛИРОВАНИЕ ФЕНОЛА И ЕГО ГОМОЛОГОВ ЦИКЛИЧЕСКИМИ ОЛЕФИНАМИ

*Чингиз Князь оглу Расулов<sup>1</sup>, Гюльшан Джаббар гызы Гасанова<sup>2</sup>, Мехрибан Видади гызы Нагиева<sup>3</sup>, Гюнай Заман гызы Гейдарли<sup>4</sup>*

<sup>1,2,3,4</sup>*Институт нефтехимических процессов Министерства науки и образования Азербайджана, Баку, Азербайджан, rchk49@mail.ru*

**Аннотация.** Алкилирование фенола и его производных является одной из важнейших реакций современного органического и нефтехимического синтеза. Эта реакция лежит в основе получения целого ряда промышленно важных продуктов. Поэтому изучение реакции алкилирования фенолов различными алкилирующими агентами, представляет важный как теоретический, так и практический интерес. Для проведения этой реакции в качестве алкилирующих агентов обычно используют олефины, спирты или алкилгалогениды. Реакция протекает в присутствии катализаторов типа кислот Льюиса или Бренстеда. Наиболее распространенными и часто используемыми алкилирующими агентами для реакции алкилирования фенола и его гомологов являются олефины, и в частности циклоолефины. Как правило, в этой реакции в качестве алкилирующего агента используют циклогексен, циклопентен, их метильные замещенные, а также некоторые терпеновые циклоолефины и димерные формы циклолкенон.

**Ключевые слова:** фенолы, циклоалкилирование, циклопентены, метильные замещенные, катализатор КУ-23, циклоалкилфенолы

**Для цитирования:** Расулов Ч.К., Гасанова Г.Д., Нагиева М.В., Гейдарли Г.З. Алкилирование фенола и его гомологов циклическими олефинами // Вестник Башкирского государственного педагогического университета им. М.Акмуллы. Серия: Естественные науки. 2025. № 2. С. 140-153.

---

## CHEMICAL SCIENCES

Original article

### ALKYLATION OF PHENOL AND ITS HOMOLOGUES BY CYCLIC OLEFINS

*Chingiz Qnyaz Rasulov<sup>1</sup>, Gulshen Jabbar Gasanova<sup>2</sup>, Mehriban Vidadi Naghiyeva<sup>3</sup>, Gunay Zaman Heydarli<sup>4</sup>*

*<sup>1,2,3,4</sup>Institute of Petrochemical Processes of the Ministry of Science and Education of Azerbaijan, Baku, Azerbaijan,  
rchk49@mail.ru*

**Abstract.** Alkylation of phenol and its derivatives is one of the most important reactions of modern organic and petrochemical synthesis. This reaction underlies the production of a number of industrially important products. Therefore, the study of the alkylation reaction of phenols by various alkylating agents is of great theoretical and practical interest. To carry out this reaction, olefins, alcohols or alkyl halides are usually used as alkylating agents. The reaction occurs in the presence of catalysts such as Lewis or Bronsted acids. The most common and frequently used alkylating agents for the alkylation reaction of phenol and its homologues are olefins, and in particular cycloolefins. As a rule, cyclohexene, cyclopentene, their methyl substituted derivatives, as well as some terpene cycloolefins and dimeric forms of cycloalkenes are used as the alkylating agent in this reaction.

**Keywords:** phenols, cycloalkylation, cyclopentenes, methyl substituted derivatives, KU-23 catalyst, cycloalkylphenols

**For citing:** Rasulov Ch.Q., Gasanova G.J., Naghiyeva M.V., Heydarli G.Z. Alkylation of phenols and its homologues by cyclic olefins // Bulletin of Bashkir State Pedagogical University named after M. Akmully. Series: Natural Sciences. 2025. №2. pp. 140-153.

Алкилирование фенола и его производных является одной из ключевых реакций нефтехимической промышленности на современном этапе. Это обусловлено тем, что данная реакция является ключевой стадией целого ряда процессов нефтехимического синтеза. Поэтому изучение реакции алкилирования фенолов различными алкилирующими агентами, в частности циклическими олефинами представляет важный как теоретический, так и практический интерес. В этой работе нами рассмотрены результаты ключевых исследований в области алкилирования фенолов циклоолефинами, а также показаны результаты собственных исследований, проведенных в лаборатории «Химия и технология циклоалкилфенолов» ИНХП МНО.

В работе [33] изучена реакционная способность нескольких фенолов в жидкофазном алкилировании циклогексеном в присутствии гетерогенного и гомогенного кислотного катализатора при 358 К. Авторами показано, что в этой реакции образование циклогексильных ариловых эфиров обратимо; напротив, алкилирование кольца оказывается необратимым. Реакционная способность диметилфенолов показывает сильное влияние стерического затруднения заместителя на электрофильную атаку циклогексильного катиона, которая слабо подвержена индуктивному эффекту метильной группы.

В работе [32] рассмотрены реакции алкилирования и циклоалкилирования фенолов циклогексенами и метилциклогексенами, в частности циклодимерами изопрена и пиперилена в присутствии катализатора КУ-23 и цеолита Y, пропитанного о-фосфорной кислотой. Показана возможность синтеза соответствующих алкил- и циклоалкилфенолов с высокими выходами и селективностью за счет использования катализаторов КУ-23 и цеолита Y.

Алкилирование фенола циклогексеном проводили в присутствии различных катионитов и кислотообработанной глины (Фильтрол-24) в качестве катализаторов в интервале температур 45–120°C [6]. Также оценена роль гомогенных катализаторов, таких как 50% водный раствор п-толуолсульфо кислоты (ПТСК) и 98% H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>. Эта реакция уникальна тем, что значительное количество циклогексилфенилового эфира образуется при более низкой температуре.

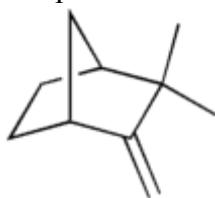
Алкилфенолы с высоким выходом синтезированы алкилированием фенола олефинами (C<sub>6</sub>-C<sub>8</sub>, в том числе и циклогексеном) в присутствии серной кислоты [14]. Также изучалось влияние на реакции изменения температуры, молярного соотношения фенола и олефина, времени реакции, концентрации и количества серной кислоты.

Изучена реакция алкилирования фенола циклогексанолом и циклогексеном в декалине с помощью методов <sup>13</sup>C MAS ЯМР-спектроскопии [15]. Алкилирование фенола протекает лишь после дегидратации большей части циклогексильного спирта до циклогексена. Авторы показали, что алкилирование фенола циклогексеном протекает гораздо быстрее.

Аналогичное исследование было проведено в работе [16]. Изучено алкилирование фенола циклогексеном в паровой фазе на катионообменных X-цеолитных катализаторах [17]. В результате dealкилирования продуктов каталитическая активность снижалась с повышением температуры реакции. Выход циклогексилфенола линейно увеличивался с увеличением количества кислоты. Кроме того, каталитическая активность снижается с добавлением пиридина.

Однако порядок каталитической активности алкилирования фенола циклогексенон не соответствовал таковому при крекинге кумола. С другой стороны, между каталитической активностью алкилирования фенола циклогексенон наблюдалась вулкановая связь и электроотрицательность иона металла в катализаторе. На основании этих результатов делается вывод, что реакция алкилирования протекает на кислотных центрах, а активными центрами являются поверхностные протоны и ионы металлов катализатора.

Алкилирование фенолов также рассматривалось в работах [21,23]. Сообщается [3], что реакция алкилирования фенола, анизол и их метилзамещенных производных камфеном на широкопористых бета-цеолитах протекает либо по типу О-алкилирования с преимущественным образованием терпенилфениловых эфиров с изоборнильной структурой алициклического остатка ( $\text{C}_8\text{H}_{12}$  в качестве растворителя) или как С-алкилирование с образованием соответствующих терпенилфенолов и анизолов (смесь бензола и  $\text{C}_8\text{H}_{12}$  в соотношении 1:1 по объему в качестве растворителя). Преобладающий путь зависит от структуры субстрата и используемого растворителя. В последних продуктах терпеновый фрагмент имеет необычное строение: метильные группы занимают 1,4,7-положения алициклического каркаса. При этом наблюдается высокая пара-селективность алкилирования ароматического реагента.



камфен

Алкилирование фенола циклогексенон с использованием кислотных катализаторов приводит к образованию как О-, так и С-алкилированных продуктов, которые важны в различных отраслях промышленности [34]. О-алкилированный продукт циклогексилфениловый эфир является ценным ароматизатором, а также может служить предшественником дифенилового эфира, очень важного химического вещества. Эффективность различных кислотных катализаторов, таких как сульфатированный диоксид циркония, гексагональный мезопористый диоксид кремния, обработанный сульфоновой кислотой ( $\text{SO}_3\text{-HMS}$ ), 20% (мас./мас.) додекавольфрамфосфорной кислоты (DTP), нанесенный на глину К-10, 20% (мас./мас.) цезия. соль DTP ( $\text{Cs}_2.5\text{H}_0.5\text{PW}_{12}\text{O}_{40}$ ), нанесенная на глину К-10 ( $\text{Cs-DTP/K-10}$ ) и 20% (мас./мас.) DTP/HMS, изучали для улучшения селективности по отношению к циклогексилфениловому эфиру. Селективность О- по сравнению с С-алкилированием сильно зависит от температуры, а при более низких температурах

селективность по циклогексилфениловому эфиру увеличивается. Оптимальная рабочая температура составляет 60°C. Математическая модель строится для интерпретации кинетических данных и разработки механизма.

В работе [10] сообщается, что образование одинарной связи C-C между ароматическим кольцом и циклогексеном имеет большое значение для получения бициклических углеводородов. В данной работе алкилирование толуола циклогексеном над фосфорновольфрамовой кислотой (HPW) исследовано как с использованием экспериментальной кинетики реакции, так и методами *ab initio* теории функционала плотности (DFT). Кинетические модели образования о-циклогексилтолуола, м-циклогексилтолуола и п-циклогексилтолуола были созданы и использованы для соответствия экспериментальным кинетическим данным. Рассчитаны и сопоставлены константы скорости реакций и кажущиеся энергии активации образования трех продуктов. На основе расчета DFT были определены энергетические профили с соответствующими равновесными и переходными состояниями для адсорбции реагентов, образования и депротонирования метастабильных состояний и десорбции продуктов. Показано метастабильное состояние адсорбированного иона арения на HPW. Константы скорости ( $k$ ) основных элементарных стадий при различных температурах рассчитаны с использованием данных DFT. Кажущуюся константу скорости далее определяют теоретически на основе кинетического анализа. Результаты показывают, что теоретический расчет хорошо согласуется с экспериментальными данными, которые имеют схожую тенденцию к изменению с температурой. Совокупные экспериментальные кинетические результаты и расчеты методом DFT позволяют предположить, что как образование, так и депротонирование метастабильного состояния играют ключевую роль в влиянии на селективность продукта.

Изомерные ксилолы были циклоалкилированы циклогексеном в присутствии п-толуолсульфокислоты в качестве катализатора [12,19]. Результаты исследования кинетических закономерностей каталитического циклоалкилирования фенола циклогексеном в присутствии катализатора КУ-23 представлены в работе [20]. Рассчитаны коэффициенты корреляции, которые характеризуют силу взаимосвязи факторов. Разработана математическая модель и осуществлена оптимизация процесса на основе обработки экспериментальных данных. Для этой цели авторы работы использовали программу Matlab-6.5 с использованием математической матрицы Бокса-Бенкина. Применение регрессионного уравнения и расчет его коэффициентов осуществлено использованием программы S-plus 2000 professional, позволяющая рассчитывать статистические

данные анализа, коэффициенты регрессионной модели и парной корреляции коэффициентов в автоматизированной форме. В результате исследования выявлен эффект различных параметров.

Исследования в этой области органической химии также нашли свое продолжение в работах [30,28, 8,18]. В работе [22] представлены результаты исследования взаимодействия фенола с 1-метилциклопентадиеном в присутствии катализатора КУ-23. Эту реакцию проводили в лабораторных условиях на установке с принципом периодического действия. В результате реакции полученный алкилат отделяют от реакционной смеси с катализатором и ректифицируют. На первом этапе проводят атмосферную разгонку. МЦК и не вступивший в реакцию фенол отгоняли (до 200°C), а после этого осуществляют вакуумную разгонку при остаточном давлении 666,5 Па с целью отделения основного продукта реакции и устанавливают качественные его характеристики. Изучена кинетика реакции и разработан механизм образования целевого продукта с использованием модифицированного метода поисковой программы. Для этого использовался разработанный пакет прикладных программ.

Кинетику процесса циклоалкилирования фенола циклогексеном также рассматривались в работе [27]. Показано [26], что продукты циклоалкилирования фенола, о-крезола, м-крезола и п-крезола, а также 1,2-дигидронафталина рекомендованы в качестве антиоксидантов для стабилизации полиэтилена высокого давления. Алкилирование фенола и его производных циклическими олефинами также рассматривалось в работах [1, 24, 25, 29, 4].

Осуществлено каталитическое алкилирование фенола с использованием циклодимеров изопрена на непрерывно действующей установке и найдены наиболее эффективные параметры реакции с достижением высокого выхода целевого продукта [7]. Исследования проводились в следующем режимном интервале: температура 80–150°C, мольное соотношение исходных реагентов составляло 0,5:1 – 2:1, объемная скорость – 0,25–1,0 ч<sup>-1</sup>. Авторы применили математическую регрессионную модель процесса для определения функциональной взаимосвязи между технологическими характеристиками реакции, что позволяет проводить прогнозирование и последующие возможные варианты протекания реакции. Для определения коэффициентов уравнения использовалась программа S-pluse 2000 Professional, позволяющая автоматически рассчитывать данные статистического анализа. Применяя критерий Стьюдента, были найдены значимые и незначимые коэффициенты уравнения. Адекватность разработанной модели определяли с использованием параметров Фишера. На основании проведенных математических расчетов по оптимизации процесса было установлено, что при температуре 1400С, соотношении компонентов 1:0,5 и объемной

скорости 0,25 ч<sup>-1</sup> значение селективности составляет 91%, при этом выход целевого продукта достигает 69%.

Авторы работ [8,13] сообщают, что в процессе пиролиза низкооктанового бензина образуется большое количество C5-фракции, для которой не определена эффективная область использования. Продукты пиролиза собираются на предприятиях, что является наиболее вредным для биосферы. C5-фракцию, богатую изопреном и пиперином, конденсируют с этиленом для получения 1- и 3-метилциклогексенов, затем вовлекают в реакции алкилирования с фенолом и пара-крезолом. Реакция ацилирования алкилфенолов является одним из перспективных направлений в нефтехимии. Их используют в качестве сырья для синтеза высокоэффективных термо- и фотостабилизаторов для полиолефинов, присадок к маслам и топливам. На первом этапе протекают реакции каталитического циклоалкилирования фенола и пара-крезола с 1-метилциклопентеном и 1(3)-метилциклогексеном в присутствии катализатора КУ-23. По результатам исследований было изучено влияние некоторых параметров (температуры, продолжительности, мольного соотношения реагентов, количества катализатора) на фактический выход продуктов и селективность. Для каждой реакции были исследованы оптимальные условия. Установлено, что фактические выходы продуктов составили 71,3-76,7%, а селективность продуктов - 92-97 %. Чистые продукты были получены ректификацией при 5 мм рт. ст. и определены структурная формула, элементный состав, физико-химические параметры продуктов. Алкилирование фенола и его гомологов циклоолефинами также рассматривалось в работах [5,9,11,31].

В наших исследованиях также большое внимание уделяется алкилированию фенола циклическими олефинами, в частности циклогексеном и циклопентеном. Исследования в этой области продолжают интенсивно развиваться и полученные результаты создают хорошие весомые перспективы для проведения дальнейших систематических исследований в этой области.

### СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Мирзоев В.Х. Некоторые особенности реакций алкилирования фенола продуктами димеризации C4-фракции процесса пиролиза. *Elixir Appl. Chem.*, 2017, Vol. 109, pp. 47926-47928.
2. Расулов Ч.К., Агамалиев З.З., Назаров И.Г., Мехтизаде Р.А. Алкилирование пара-крезола циклодимерами изопрена в присутствии фосфорсодержащего цеолита. *Мир нефтепродуктов*, 2017. – № 9. – С. 16-19.
3. Anand R., Gore K.U., Rao B.S. Alkylation of phenol with cyclohexanol and cyclohexene using HY and modified HY zeolites // *Catalysis Letters*, 2002, Vol. 81, N 2, pp. 33-41.

4. Ashaduzzaman M., Saha M., Hossain K., Kumar Sh. Alkylation of isomeric xylenes with cyclohexene. *Bangladesh Journal of Scientific and Industrial Research*, 2004, Vol. 39, N 1-2, pp. 59-67.
5. Alekperova I.I., Aghamaliyev Z.Z., Veliyeva F.M., Rasulov Ch.K. Optimization of phenol cycloalkylation process with cyclohexene in the presence of catalyst KU-23. *PPOR*, 2019, Vol. 20, N 4, pp. 424-432.
6. Alekperova I.I., Aghamaliyev Z.Z., Veliyeva F.M., Rasulov Ch.K. Optimization of the Reaction of Catalytic Cycloalkylation of Phenol with Cyclohexene. *Key Engineering Materials*, 2020, Vol. 869, pp. 82-87.
7. Azimova R.K., Abasov S.I., Azizov A.H., Rasulov Ch.K. Some regularities of cycloalkylation reactions of phenol with methylcyclohexanes in the presence phosphate-containing zeolite. *Azerbaijan Chemical Journal*, 2011, N 4, pp. 30-34.
8. Aghamaliyev Z.Z., Abbasov V.M., Rasulov Ch.K., Nazarov I.G. Synthesis of spatially-hindered methylcycloalkylphenols and some peculiarities of their aminomethylation reactions by aminoethylnonylimidazoline. *News of Higher Institutes, Chemistry and Chemical Technology*, 2019, Vol. 62, N 2, pp. 17-24.
9. Bagirzadeh R.Z., Jafarov R.P., Guliyev F.V., Mirzoyev V.G., Rasulov Ch.K. Kinetic regularities and mechanism of the reaction of phenol cycloalkylation by cyclohexene. *Azerbaijan Chemical Journal*, 2018, N 1, pp. 68-70.
10. Chakrabarti A., Sharma M. Alkylation of phenol with cyclohexene catalysed by cationic ion-exchange resins and acid-treated clay: O- versus C-alkylation. *Reactive Polymers*, 1992, Vol. 17, N 3, pp. 331-340.
11. Evano G., Theunissen C. Beyond Friedel and Crafts: Directed Alkylation of C@H Bonds in Arenes. *Angewandte Chemie International Edition*, 2019, Vol. 58, pp. 1-35.
12. Fomenko V.V., Korchagina D.V., Salakhutdinov N.F., Barkhas V.A. Alkylation of Phenol and its Methyl-Substituted Derivatives by Camphene on Wide-Pore Beta-Zeolite. *Papers of Novosibirsk Institute of Organic Chemistry*, 1998, N 2, pp. 1-3.
13. Genkuo N., Guozhu L., Liang D., Zhang X. Alkylation of toluene with cyclohexene over phosphotungstic acid: A combined experimental and computational study. *Journal of Catalysis*, 2017, Vol. 355, pp. 145-155.
14. Gasimova F.I., Aghamaliyev Z.Z., Gasanova G.J., Rasulov Ch.K. Some Features of Cycloalkylation Reactions of Phenol with 1-Methylcyclopentene. *Key Engineering Materials*, 2021, Vol. 899, pp. 726-732.
15. Gasimova F.I., Rasulov Ch.k., Jafarov R.P., Aghamaliyev Z.Z., Farzalizadeh O.M. Study of the kinetic regularities and mechanism of the cycloalkylation reaction of phenol with 1-methylcyclopentadiene. *Мир нефтепродуктов*, 2022, № 5-6, С. 117-122.

16. Heydarli G.Z., Rasulov Ch.K. The acylation reactions of cycloalkylphenols with acetic acid. *Ecological and environmental chemistry*, 2022, Vol. 1, N 7, pp. 204-205.
17. Jafarov R.P., Rasulov Ch.K., Aghamaliyev Z.Z., Dadasheva A.M., Alekperova I.I. Optimization of the process of phenol alkylation by isoprene cyclodimer in the presence of KU-23 catalyst at a continuous operation plant. *Мир нефтепродуктов*, 2022, № 4, С. 16-23.
18. Kozlov N.S., Klein A.G., Galishevskiy Y.A. Cycloalkylation of phenol with cyclohexene in the presence of polyphosphoric acid. *Petroleum Chemistry of USSR*, 1974, Vol. 14, N 4, pp. 244-250.
19. Mirzayev V.H., Abbasov V.M., Rasulov Ch.K., A]amaliyev Z.Z., Bagirzadeh R.Z., Majidov E.A. Selective catalytic alkylation and cycloalkylation of phenol with alkyl- and alkenylcyclohexenes. *PPOR*, 2017, Vol. 18, N 4, pp. 341-350.
20. Naumova S.F., Balykina M.V., Artsimenya E.N. Stabilization of High-Pressure Polyethylene by New Antioxidants - Products of the Cycloalkylation of Phenol and o-, m-, and p-Cresols and 1,2-Dihydronaphthalene. A.D. 753-479, *USSR*, 1972, 11 p.
21. Naghiyeva M.V., Aghamaliyev Z.Z., Rasulov Ch.K. Synthesis of cycloalkylphenol Mannich bases. *Achievements and perspectives of modern chemistry*, Chisinau, Moldova, 2019, p. 232.
22. Pat. 2233262C1. RU. 2003. Method for preparing ortho-terpenophenols / А.В. Кучин, И.Ю. Чукичева.
23. Ronchin L., Vavasori A., Toniolo L. Acid catalyzed alkylation of phenols with cyclohexene: Comparison between homogeneous and heterogeneous catalysis, influence of cyclohexyl phenyl ether equilibrium and of the substituent on reaction rate and selectivity. *Journal of Molecular Catalysis A. Chemical*, 2012, Vol. 355, pp. 131-141.
24. Rasulov Ch.K., Azizov A.H., Zeinalova L.B., Azimova R.K., Abasova S.I., Rashidova A.A. The reaction of phenol with 1-methylcycloalkenes in the presence of phosphorus-containing zeolite Y. *Petroleum Chemistry*, 2007, Vol. 47, pp. 409-411.
25. Rasulov Ch.K., Aghamaliyev Z.Z., Naghiyeva M.V., Gasanova G.J., Gasymova F.I. Synthesis and properties of 2-hydroxy-5[1(3)-methylcycloalkyl]benzylaminoethylnonylimidazolines. *Chem and Chem. Techn.*, 2021, Vol. 64, N 4, pp. 79-85.
26. Rasulov Ch.K., Heydarli G.Z., Nuriyev Sh.A. 2-Hydroxy-5-(1-methylcyclohexyl) synthesis reagent of acetophenone // *Journal of endemism – biodiversity and environmental*, 2023, Vol. 1, N 1, pp. 12-17.
27. Saha M., Hossain M.K., Ashaduzzanian M., Afroza I. Alkylation of Phenol with Olefins in the Presence of Sulphuric Acid. *Bangladesh Journal of Scientific and Industrial Research*, 2009, Vol. 44, N 1, pp. 137-144.

28. Seino M., Okazaki S., Saito T. Alkylation of Phenol with Cyclohexene. *Bulletin of the Japan Petroleum Institute*, 1976, Vol. 18, N 1, pp. 32-38.
29. Shi H., Yuanshual L., Wang M., Jianzhi H. Liquid-phase alkylation of lignin-derived phenolics on solid acids: towards improved mechanistic understanding and process design. *Papers of Catalysis Research Center*, 2015, N 1, pp. 1-3.
30. Saha M., Ziaul K.M., Ismayil M. Alkylation of Xylenes with Cyclohexene in the Presence of p-Toluenesulphonic Acid. *Bangladesh Journal of Scientific and Industrial Research*, 2007, Vol. 42, N 4, pp. 31-39.
31. Saha M., Mossihuzaman M., Shikha S. Alkylation of p-cresol with cyclohexene in the presence of benzenesulphonic acid. *Indian Journal of Chemical Technology*, 1996, Vol. 3, pp. 292-294.
32. Yuanshuai L., Cheng G., Barath E., Shi H., Lercher J.A. Alkylation of lignin-derived aromatic oxygenates with cyclic alcohols on acidic zeolites. *Applied Catalysis B. Environmental*, 2021, Vol. 281, pp. 119424-118431.
33. Yadav G.D., Kumar P. Alkylation of phenol with cyclohexene over solid acids: Insight in selectivity of O- Versus C-alkylation. *Applied Catalysis A. General*, 2005, Vol. 286, N 1, pp. 61-70.
34. Zhenchao Zh., Shi H., Chuan W., Hu M. Mechanism of Phenol Alkylation in Zeolite H-BEA Using In Situ SolidState NMR Spectroscopy. *Journal of the American Chemical Society*, 2017, Vol. 139, pp. 9178-9185.

## REFERENCES

1. Mirzoev V.H. Nekotorye osobennosti reakcij alkilirovaniya fenola produktami dimerizacii S4-frakcii processa piroliza. *Elixir Appl. Chem.*, 2017, Vol. 109, pp. 47926-47928.
2. Rasulov CH.K., Agamaliyev Z.Z., Nazarov I.G., Mekhtizade R.A. Alkilirovanie para-krezola ciklodimerami izoprena v prisutstvii fosforsoderzhashchego ceolita. *Mir nefteproduktov*, 2017, № 9, S. 16-19.
3. Anand R., Gore K.U., Rao B.S. Alkylation of phenol with cyclohexanol and cyclohexene using HY and modified HY zeolites // *Catalysis Letters*, 2002, Vol. 81, N 2, pp. 33-41.
4. Ashaduzzaman M., Saha M., Hossain K., Kumar Sh. Alkylation of isomeric xylenes with cyclohexene. *Bangladesh Journal of Scientific and Industrial Research*, 2004, Vol. 39, N 1-2, pp. 59-67.
5. Alekperova I.I., Aghamaliyev Z.Z., Veliyeva F.M., Rasulov Ch.K. Optimization of phenol cycloalkylation process with cyclohexene in the presence of catalyst KU-23. *PPOR*, 2019, Vol. 20, N 4, pp. 424-432.
6. Alekperova I.I., Aghamaliyev Z.Z., Veliyeva F.M., Rasulov Ch.K. Optimization of the Reaction of Catalytic Cycloalkylation of Phenol with Cyclohexene. *Key Engineering Materials*, 2020, Vol. 869, pp. 82-87.

7. Azimova R.K., Abasov S.I., Azizov A.H., Rasulov Ch.K. Some regularities of cycloalkylation reactions of phenol with methylcyclohexanes in the presence phosphate-containing zeolite. *Azerbaijan Chemical Journal*, 2011, N 4, pp. 30-34.

8. Aghamaliyev Z.Z., Abbasov V.M., Rasulov Ch.K., Nazarov I.G. Synthesis of spatially-hindered methylcycloalkylphenols and some peculiarities of their aminomethylation reactions by aminoethylnonylimidazoline. *News of Higher Institutes, Chemistry and Chemical Technology*, 2019, Vol. 62, N 2, pp. 17-24.

9. Bagirzadeh R.Z., Jafarov R.P., Guliyev F.V., Mirzoyev V.G., Rasulov Ch.K. Kinetic regularities and mechanism of the reaction of phenol cycloalkylation by cyclohexene. *Azerbaijan Chemical Journal*, 2018, N 1, pp. 68-70.

10. Chakrabarti A., Sharma M. Alkylation of phenol with cyclohexene catalysed by cationic ion-exchange resins and acid-treated clay: O- versus C-alkylation. *Reactive Polymers*, 1992, Vol. 17, N 3, pp. 331-340.

11. Evano G., Theunissen C. Beyond Friedel and Crafts: Directed Alkylation of C@H Bonds in Arenes. *Angewandte Chemie International Edition*, 2019, Vol. 58, pp. 1-35.

12. Fomenko V.V., Korchagina D.V., Salakhutdinov N.F., Barkhas V.A. Alkylation of Phenol and its Methyl-Substituted Derivatives by Camphene on Wide-Pore Beta-Zeolite. *Papers of Novosibirsk Institute of Organic Chemistry*, 1998, N 2, pp. 1-3.

13. Genkuo N., Guozhu L., Liang D., Zhang X. Alkylation of toluene with cyclohexene over phosphotungstic acid: A combined experimental and computational study. *Journal of Catalysis*, 2017, Vol. 355, pp. 145-155.

14. Gasimova F.I., Aghamaliyev Z.Z., Gasanova G.J., Rasulov Ch.K. Some Features of Cycloalkylation Reactions of Phenol with 1-Methylcyclopentene. *Key Engineering Materials*, 2021, Vol. 899, pp. 726-732.

15. Gasimova F.I., Rasulov Ch.k., Jafarov R.P., Aghamaliyev Z.Z., Farzalizadeh O.M. Study of the kinetic regularities and mechanism of the cycloalkylation reaction of phenol with 1-methylcyclopentadiene. *Mir nefteproduktov*, 2022, № 5-6, pp. 117-122.

16. Heydarli G.Z., Rasulov Ch.K. The acylation reactions of cycloalkylphenols with acetic acid. *Ecological and environmental chemistry*, 2022, Vol. 1, N 7, pp. 204-205.

17. Jafarov R.P., Rasulov Ch.K., Aghamaliyev Z.Z., Dadasheva A.M., Alekperova I.I. Optimization of the process of phenol alkylation by isoprene cyclodimer in the presence of KU-23 catalyst at a continuous operation plant. *Mir nefteproduktov*, 2022, № 4, pp. 16-23.

18. Kozlov N.S., Klein A.G., Galishevskiy Y.A. Cycloalkylation of phenol with cyclohexene in the presence of polyphosphoric acid. *Petroleum Chemistry of USSR*, 1974, Vol. 14, N 4, pp. 244-250.
19. Mirzayev V.H., Abbasov V.M., Rasulov Ch.K., AJamaliyev Z.Z., Bagirzadeh R.Z., Majidov E.A. Selective catalytic alkylation and cycloalkylation of phenol with alkyl- and alkenylcyclohexenes. *PPOR*, 2017, Vol. 18, N 4, pp. 341-350.
20. Naumova S.F., Balykina M.V., Artsimenya E.N. Stabilization of High-Pressure Polyethylene by New Antioxidants – Products of the Cycloalkylation of Phenol and o-, m-, and p-Cresols and 1,2-Dihydronaphthalene. *A.D. 753-479, USSR*, 1972, 11 p.
21. Naghiyeva M.V., Aghamaliyev Z.Z., Rasulov Ch.K. Synthesis of cycloalkylphenol Mannich bases. Achievements and perspectives of modern chemistry, Chisinau, Moldova, 2019, p. 232.
22. Pat. 2233262C1. RU. 2003. Method for preparing ortho-terphenols / A.V. Kuchin, I.Y. Chukicheva.
23. Ronchin L., Vavasori A., Toniolo L. Acid catalyzed alkylation of phenols with cyclohexene: Comparison between homogeneous and heterogeneous catalysis, influence of cyclohexyl phenyl ether equilibrium and of the substituent on reaction rate and selectivity. *Journal of Molecular Catalysis A. Chemical*, 2012, Vol. 355, pp. 131-141.
24. Rasulov Ch.K., Azizov A.H., Zeinalova L.B., Azimova R.K., Abasova S.I., Rashidova A.A. The reaction of phenol with 1-methylcycloalkenes in the presence of phosphorus-containing zeolite Y. *Petroleum Chemistry*, 2007, Vol. 47, pp. 409-411.
25. Rasulov Ch.K., Aghamaliyev Z.Z., Naghiyeva M.V., Gasanova G.J., Gasymova F.I. Synthesis and properties of 2-hydroxy-5[1(3)-methylcycloalkyl]benzylaminoethylnonylimidazolines. *Chem and Chem. Techn.*, 2021, Vol. 64, N 4, pp. 79-85.
26. Rasulov Ch.K., Heydarli G.Z., Nuriyev Sh.A. 2-Hydroxy-5-(1-methylcyclohexyl) synthesis reagent of acetophenone // *Journal of endemism – biodiversity and environmental*, 2023, Vol. 1, N 1, pp. 12-17.
27. Saha M., Hossain M.K., Ashaduzzanian M., Afroza I. Alkylation of Phenol with Olefins in the Presence of Sulphuric Acid. *Bangladesh Journal of Scientific and Industrial Research*, 2009, Vol. 44, N 1, pp. 137-144.
28. Seino M., Okazaki S., Saito T. Alkylation of Phenol with Cyclohexene. *Bulletin of the Japan Petroleum Institute*, 1976, Vol. 18, N 1, pp. 32-38.
29. Shi H., Yuanshual L., Wang M., Jianzhi H. Liquid-phase alkylation of lignin-derived phenolics on solid acids: towards improved mechanistic understanding and process design. *Papers of Catalysis Research Center*, 2015, N 1, pp. 1-3.

30. Saha M., Ziaul K.M., Ismayil M. Alkylation of Xylenes with Cyclohexene in the Presence of p-Toluenesulphonic Acid. Bangladesh Journal of Scientific and Industrial Research, 2007, Vol. 42, N 4, pp. 31-39.

31. Saha M., Mossihuzaman M., Shikha S. Alkylation of p-cresol with cyclohexene in the presence of benzenesulphonic acid. Indian Journal of Chemical Technology, 1996, Vol. 3, pp. 292-294.

32. Yuanshuai L., Cheng G., Barath E., Shi H., Lercher J.A. Alkylation of lignin-derived aromatic oxygenates with cyclic alcohols on acidic zeolites. Applied Catalysis B. Environmental, 2021, Vol. 281, pp. 119424-118431.

33. Yadav G.D., Kumar P. Alkylation of phenol with cyclohexene over solid acids: Insight in selectivity of O- Versus C-alkylation. Applied Catalysis A. General, 2005, Vol. 286, N 1, pp. 61-70.

34. Zhenchao Zh., Shi H., Chuan W., Hu M. Mechanism of Phenol Alkylation in Zeolite H-BEA Using In Situ SolidState NMR Spectroscopy. Journal of the American Chemical Society, 2017, Vol. 139, pp. 9178-9185.

#### ***Информация об авторах***

***Ч.К. Расулов*** – доктор химических наук, профессор, зав. лаборатории «Химия и технология циклоалкилфенолов» Института Нефтехимических процессов Министерства науки и образования Азербайджана;

***Г.З. Гейдарли*** – докторант лаборатории «Химия и технология циклоалкилфенолов» Института Нефтехимических процессов Министерства науки и образования Азербайджана;

***Г.Дж. Гасанова*** – кандидат химических наук, вед. н.с. лаборатории «Химия и технология циклоалкилфенолов» Института Нефтехимических процессов Министерства науки и образования Азербайджана;

***М.В. Нагиева*** – кандидат химических наук, вед. н.с. лаборатории «Химия и технология циклоалкилфенолов» Института Нефтехимических процессов Министерства науки и образования Азербайджана.

#### ***Information about the author***

***Ch. Q.Rasulov*** – doctor of chemical sciences, professor, head of laboratory "Chemistry and technology of cycloalkylphenols" of the Institute of Petrochemical Processes of the Ministry of Science and Education of Azerbaijan, Baku

***G. Z. Heydarli*** – doctoral student of the laboratory "Chemistry and technology of cycloalkylphenols" of the Institute of Petrochemical Processes of the Ministry of Science and Education of Azerbaijan, Baku

**G.J. Gasanova** – candidate of chemical sciences, leading researcher of laboratory "Chemistry and technology of cycloalkylphenols" of the Institute of Petrochemical Processes of the Ministry of Science and Education of Azerbaijan;

**M.V. Naghiyeva** – candidate of chemical sciences, leading researcher of laboratory "Chemistry and technology of cycloalkylphenols" of the Institute of Petrochemical Processes of the Ministry of Science and Education of Azerbaijan.

*Статья поступила в редакцию 07.04.2025; принята к публикации 13.05.2025.*

*The article was submitted 07.04.2025; accepted for publication 13.05.2025.*

## ПРАВИЛА ДЛЯ АВТОРОВ

**Уважаемые коллеги!**

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

### ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

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

- Естественные науки
- Филологические науки
- Социально-гуманитарные науки

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

Авторский материал может быть представлен как:

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

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

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

Всем авторам необходимо предоставить в редакцию отдельным файлом:

#### **а) персональные данные по предложенной форме:**

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

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

**в) оформленная строго по требованиям научная статья;**

**г) заключение научного руководителя (студентам и аспирантам).**

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

Материалы отправляются по электронному адресу: [vestnik.bspu@yandex.ru](mailto:vestnik.bspu@yandex.ru)

## РЕКОМЕНДУЕМАЯ СТРУКТУРА ПУБЛИКАЦИЙ

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

Далее данные идут в следующей последовательности:

1. Полное название статьи (прописными буквами по центру);  
2. Фамилие, имя, отчество (полностью), наименование организации, где выполнена работа, город, страна, электронный адрес;  
3. Аннотация (содержит основные цели предмета исследования, главные результаты и выводы 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;*

Основная часть:

- *теоретико-методологические основы и методы исследования;*

- *результаты исследования;*

Заключение:

- *выводы;*

- *возможные направления дальнейших исследований;*

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

9. Транслитерация (Reference) с переводом названия источника;

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

**Основные сведения об авторе содержат:**

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

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

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

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

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

**Пример –**

**Сергей Юрьевич Глазьев**

**Финансовый университет, Москва, Россия, [serg1784@mail.ru](mailto: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<sup>1, 2</sup>**

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

**<sup>2</sup>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<sup>1</sup>.

*Пример –*

*Пётр Анатольевич Коротков<sup>1</sup>, Алексей Борисович Трубянов<sup>2</sup>,  
Екатерина Андреевна Загайнова<sup>3</sup>*

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

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

*<sup>3</sup> Марийский государственный университет, Йошкар-Ола, Россия, e.zagaunova@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<sup>1</sup>, Владимир Ильич Чупров<sup>2</sup>*

*<sup>1,2</sup> Институт социально-политических исследований, Федеральный научно-исследовательский социологический центр, Российская академия наук, Москва, Россия*

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

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

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

*Пример –*

*Sergey Yu. Glaz'ev*

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

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

– полные имена, отчества и фамилии, электронные адреса и ORCID авторов, если они не указаны на первой полосе статьи (см. 4.9.2.2);

– учёные звания;

– учёные степени;

– другие, кроме ORCID, международные идентификационные номера авторов.

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

*Пример –*

***Информация об авторах***

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

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

***Information about the authors***

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

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

*Пример –*

***Информация об авторе***

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

***Information about the author***

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

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

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

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

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

*Пример –*

***Книгоиздание России в 2019 г.***

***Галина Викторовна Перова<sup>1</sup>, Константин Михайлович Сухоруков<sup>2</sup>***

<sup>1, 2</sup>*Российская книжная палата, Москва, Россия*

<sup>1</sup>*perova\_g@tass.ru*

<sup>2</sup>*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<sup>1</sup>, Konstantin M. Sukhorukov<sup>2</sup>***

*<sup>1, 2</sup>Russian Book Chamber, Moscow, Russia*

*<sup>1</sup>perova\_g@tass.ru*

*<sup>2</sup>a-bibliograf@mail.ru*

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

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

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

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

***Пример –***

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

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

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

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

© Олесова Е.И., 2022

или

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

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

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

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

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

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

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

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

17. В пристатейный библиографический список включают записи на ресурсы по теме статьи, на которые не даны ссылки, а также записи на произведения лиц, которым посвящена статья.

Библиографическую запись для пристатейного библиографического списка составляют по ГОСТ 7.80, ГОСТ Р 7.0.100.

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

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

При наличии двух и более приложений их нумеруют.

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

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

22. Подстрочные примечания помещают внизу соответствующей страницы текста статьи.

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

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

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

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

## ТРЕБОВАНИЯ К ТЕКСТОВОЙ ЧАСТИ СТАТЬИ

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

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

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

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

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

Перед знаком пунктуации пробел не ставится.

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

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

Все сокращения должны быть расшифрованы.

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

Расстояние между строками формул должно быть не менее 1 см.

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

ζ; v, v̂ и v 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 (P, p̄; S, s̄). 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 (⏟ – для нижних индексов и ⏟ – для верхних) карандашом. Цифра 0 (нуль), а также сокращения слов в индексах подчеркиваются прямой скобкой – —.

Употребление в формулах специальных, в частности, готических и русских букв, а также символов (например, ℒ, P, A, D, M, G, f, Z, P, R, ∇, ⊕, ∃ 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.\\_\\_\\_\\_](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.\\_\\_\(дата обращения: .\\_\\_\\_\\_\\_.\)](http://www.__(дата обращения: ._____.))

Если нет какой-либо области описания – пропускаем.

Пример:

1. Новосибирск [Электронныйресурс] // Википедия: Свободная энциклопедия. URL: <http://www.ru.wikipedia.org/wiki/%CD%EE%E2%EE%F1%E8%E1%E8%F0%F1%EA> (дата обращения: 11.12.13)

### **Книга из полнотекстовой электронно-библиотечной системы (эбс)**

*Книга с 1-3 авторами:*

Карпенков С.Х. Экология [Электронный ресурс]: учебник. Электрон. Текстовые данные. М.: Логос, 2014. 400 с. URL: <http://www.iprbookshop.ru/21892>. ЭБС «IPRbooks».

*Книга с 4 и более авторами:*

Сборник задач по аналитической геометрии и линейной алгебре [Электронный ресурс]: учеб. пособие / Л.А. Беклемишева [и

др.]; под ред. Д.В. Беклемишева. Электрон. текстовые дан. Изд. 3-е, испр. СПб.: Лань, 2008. URL: <http://e.lanbook.com/view/book/76/>

**Ссылки внутри текста**

***Затекстовые библиографические ссылки:***

В конце абзаца текста в квадратных скобках [**3, с. 25**]

3 – номер источника в списке литературы с. 25 – номер страницы.

**Статьи, оформленные с нарушением перечисленных выше правил, редакцией не рассматриваются.**

Образец:

## ЛИТЕРАТУРОВЕДЕНИЕ

Научная статья

УДК 81'38

DOI:

### СТИЛИСТИЧЕСКОЕ СВОЕОБРАЗИЕ ПОВЕСТИ А.С. ПУШКИНА «КАПИТАНСКАЯ ДОЧКА»

*Иван Иванович Иванов<sup>1</sup>, Иван Иванович Сидоров<sup>2</sup>*

*<sup>1,2</sup>Башкирский государственный педагогический университет  
им. М.Акмуллы, Уфа, Россия*

*<sup>1</sup>ivanov@mail.ru*

*<sup>2</sup>nova8@mail.ru*

**Аннотация.** В статье проводится стилистический анализ повести А.С. Пушкина «Капитанская дочка», исследуются уникальные стилистические особенности произведения. Анализ текста с точки зрения языковых и стилистических приемов позволяет раскрыть особенности художественного исполнения и языкового мастерства. Исследование фокусируется на использовании лексических оборотов, фразеологизмов, художественных приемов, а также на роли стилистики в создании образов. Результаты анализа помогают более глубоко понять и оценить вклад А.С. Пушкина в развитие русской литературы, а также выдвинуть новые исследовательские гипотезы относительно структуры и смысла «Капитанской дочки»... (не менее 250 слов).

**Ключевые слова:** А.С. Пушкин, Капитанская дочка, стилистический прием, языковое мастерство, повесть

**Для цитирования:** Иванов И.И., Сидоров И.И. Стилистическое своеобразие повести А.С.Пушкина «Капитанская дочка» // Вестник Башкирского государственного педагогического университета им. М.Акмуллы. Серия: Филологические науки. 2024. №1. С.

## LITERARY STUDIES

Original article

### THE STYLISTIC UNIQUENESS OF THE NOVELLA "THE CAPTAIN'S DAUGHTER" BY A.S. PUSHKIN

*Ivan I. Ivanov<sup>1</sup>, Ivan I. Sidorov<sup>2</sup>*

*<sup>1,2</sup> Bashkir State Pedagogical University n.a. M. Akmulla, Ufa,  
Russia*

<sup>1</sup>ivanov@mail.ru

<sup>2</sup>nova8@mail.ru

**Abstract.** The article presents a stylistic analysis of Alexander Pushkin's novella "The Captain's Daughter," exploring its unique stylistic features. Analyzing the text from the perspective of language and stylistic devices helps reveal the artistic execution and linguistic mastery of the work. The study focuses on the use of lexical expressions, phraseology, artistic techniques, and the role of stylistics in character creation. The results of the analysis aid in a deeper understanding and appreciation of Alexander Pushkin's contribution to the development of Russian literature, as well as in proposing new research hypotheses regarding the structure and meaning of "The Captain's Daughter." ... (не менее 250 слов).

**Keywords:** Alexander Pushkin, The Captain's Daughter, stylistic device, linguistic mastery, novella

**For citing:** Ivanov I.I., Sidorov I.I. Stylistic uniqueness of Alexander Pushkin's novella "The Captain's Daughter" // Bulletin of Bashkir State Pedagogical University named after M. Akmully. Series: Philological Sciences. 2024. №1. pp.

### Структура текста публикации:

Введение:

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

Основная часть:

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

Заключение:

- выводы;
- возможные направления дальнейших исследований.

### СПИСОК ИСТОЧНИКОВ (не менее 15)

1. Абрамзон С. М. Киргизы и их этногенетические и историко-культурные связи. – Л., 1971.
2. Ахмеров Р. Б. Наскальные знаки и этнонимы башкир. – Уфа: Китап, 1994. – 112 с: ил. ISBN 5-295-01493-2 (Из записок историка-краеведа).
3. Башкорт халык ижады. 5-се том. Тарихи кобайырзар, хикәйттәр, иртәктәр / Төзөүсе, инеш мәкәлә, коммент., глоссарий авторы Н.Т. Зарипов. Яуаплы редактор З.Ф. Ураксин. – Өфө, 2000. – 391 б.

4. Башкорт халык ижады. XIII т. Хайуандар тураһында әкиәттәр / Төз, баш һүз авторы Г.Р. Хөсәйенова, аңл. авт.-ры Л.Г. Бараг, М.М. Мингажетдинов, Г.Р. Хөсәйенова. – Өфө: Китап, 2009. – 200 б.
5. Башкорт халык ижады. Әкиәттәр III китап / Төз. Н.Т. Зарипов, М.М. Мингажетдинов, аңл. авт.-ры Л.Г. Бараг, Н.Т. Зарипов. – Өфө: Башкитап нәшриәте, 1978, – 351-се б.
6. Башкорт халык ижады. Йола фольклоры / Төз., инеш һүз, аңл. авт.-ры Ә. Сөләймәнов, Р. Солтангәрәева. – Өфө, Китап: 1995. – 556 б.
7. Башкорт халык ижады. Мәкәлдәр һәм әйтемдәр. Беренсе китап / Төз., башһүз, аңлатм. авторы. Ф.А. Нәзершина – Өфө: Китап, 2006. – 544 б.
8. Башкорт халык ижады. Т.5. Тарихи кобайырзар, хикәйттәр, иртәктәр / Төзөүсе, инеш мәкәлә, коммент., глоссарий авторы Н.Т. Зарипов. Яуаплы редактор З.Ф. Ураксин. – Өфө, Китап, 2000. 5-се том, 391 С.
9. Берёзкин Ю. Е. Реконструкция сюжета создания человека у степных индоевропейцев // Культуры степной Евразии и их взаимодействие с древними цивилизациями. – СПб.: ИИМК РАН. «Периферия». Ред. коллегия. 2012. кн. 2. – 584 с.
10. В преддверии философии: духовные искания древнего человека Г. Франкфорт, Г.А. Франкфорт, Дж.Уилсон, Т. Якобсен. – СПб.: Амфора, 2001. – 314 с
11. Захарова А.Е. Архаическая ритуально-обрядовая символика народа Саха. – Новосибирск: Наука, 2004. – 312с.
12. Инан А. Шаманизм тарихта һәм бөгөн. – Өфө: Китап, 1998, 223 б.
13. Куканова В. В. Архаические представления о ветре в калмыцком фольклоре: междисциплинарный подход / В.В. Куканова // Новый филологический вестник. – 2021. – № 2(57). – С. 371-391. – DOI 10.24411/2072-9316-2021-00058. – EDN LZFRJY.
14. Петров А. М. Образы воздушной стихии в русском религиозном фольклоре / А.М. Петров // Религиоведение. – 2022. – № 4. – С. 93-99. – DOI 10.22250/20728662\_2022\_4\_93. – EDN DPLAQW.
15. Султангареева Р.А. Башкирский фольклор: семантика, функции и традиции. Т.2. Календарный фольклор: миф и ритуал. – Уфа: Башк. энцикл., 2019. – 296 с.

## REFERENCES

Список источников в конце статьи представляется в транслитерации (с переводом в квадратных скобках [ ] названия источника на английский язык).

1. Abramzon S.M. Kirgizy i ih etnogeneticheskie i istoriko-kul'turnye svyazi [Kyrgyz people and their ethnogenetic, historical and cultural ties]. – L., 1971.
2. Ahmerov R.B. Naskal'nye znaki i etnonimy bashkir [Rock signs and ethnonyms of Bashkirs]. – Ufa: Kitap, 1994. – 112 s: il. ISBN 5-295-01493-2 (Iz zapisok istorika-kraevedy).
3. Bashkort halyk izhady. 5-se tom. Tarihi kobajyrzar, hikajettar, irtaktar [Bashkir folk art. Volume 5. Historical kubairs, legends, tales] / Təzəyşe, inesh məkələ, komment., glossarij avtory N.T. Zaripov. YAuply redaktor Z.F. Uraksin. – Əfə, 2000. – 391 b.
4. Bashkort halyk izhady. XIII t. Hajuandar turahynda əkiəttar [Bashkir folk art. XIII vol. Animal Tales] / Təz, bash hüz avtory G.R. Həsəjenova, ahl. avt-ry L. G. Barag, M. M. Mingazhetdinov, G.R. Həsəjenova. – Əfə: Kitap, 2009. – 200 b.
5. Bashkort halyk izhady. Əkiəttar III kitap [Bashkir folk art. Fairy Tales book III] / Təz. N.T. Zaripov, M.M. Minhazhetdinov, ahl. avt-ry L.G. Barag, N.T. Zaripov. – Əfə: Bashkitap nəshriəte, 1978, – 351-se b.
6. Bashkort halyk izhady. Jola fol'klory [Bashkir folk art. Ritual folklore] / Təz., inesh hüz, ahl. avt-ry Ə. Sələjmənov, R. Soltangərəeva. – Əfə, Kitap: 1995. – 556 b.
7. Bashkort halyk izhady. Məkəldər həm əjtemdər. Berense kitap [Bashkir folk art. Proverbs and sayings. The first book] / Təz., bashhüz, ahl. avtory F.A. Nəzərshina. – Əfə: Kitap, 2006. – 544 b.
8. Bashkort halyk izhady. T.5. Tarihi kobajyrzar, hikajettar, irtaktar [Bashkir folk art. Vol. 5. Historical kubairs, tales, tales] / Təzəyşe, inesh məkələ, komment., glossarij avtory N.T. Zaripov. YAuply redaktor Z.F. Uraksin. – Əfə, Kitap, 2000. 5-se tom, 391 s.
9. Beryozkin YU. E. Rekonstrukciya syuzheta sozdaniya cheloveka u stepnyh indoevropceev [Reconstruction of the plot of human creation among the steppe Indo-Europeans] // Kul'tury stepnoj Evrazii i ih vzaimodejstvie s drevnimi civilizacijami. – SPb.: IIMK RAN. «Periferiya». Red. kollegiya. 2012. kn. 2. – 584 s.
10. V preddverii filosofii: duhovnye iskaniya drevnego cheloveka G. Frankfort, G.A. Frankfort, Dzh.Uilson, T.Yakobsen [On the threshold of philosophy: the spiritual quest of ancient man G. Frankfort, G.A. Frankfort, J.Wilson, T.Jacobsen]. – SPb.: Amfora, 2001. – 314 s
11. Zaharova A.E. Arhaicheskaya ritual'no-obryadovaya simbolika naroda Saha [Archaic ritual and ceremonial symbols of the Sakha people]. – Novosibirsk: Nauka, 2004. – 312s.
12. Inan A. SHamanizm tarihta həm bəgen [Shamanism in history and today]. – Əfə: Kitap, 1998, 223 b.
13. Kukanova V.V. Arhaicheskie predstavleniya o vetre v kalmyckom fol'klorye: 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 vozduшной 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, funkicii i tradicii. T.2. Kalendarnyj fol'klor: mif i ritual [Bashkir folklore:Semantics, functions and traditions. Vol. 2. Calendar folklore: myth and ritual]. – Ufa: Bashk. encikl., 2019. – 296 s.

#### ***Информация об авторах***

***И.И. Иванов*** – аспирант;

***И.И. Сидоров*** – кандидат филологических наук, доцент.

#### ***Information about the authors***

***I.I. Ivanov*** – graduate student;

***I.I. Sidorov*** – Candidate of Science (Philology), Associate Professor.

#### ***Вклад авторов***

***И.И. Иванов*** – сбор материала, обработка материала.

***И.И. Сидоров*** – научное редактирование текста; концепция исследования;

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

#### ***Contribution of the authors***

***I.I. Ivanov*** – scientific editing of the text; research concept;

***I.I. Sidorov*** – data collection, data processing.

The authors declare no conflict of interest.

*Статья поступила в редакцию 00.00.2024; принята к публикации 00.00.2024.*

*The article was submitted 00.09.2024; accepted for publication 00.00.2024.*

**ВЕСТНИК  
БАШКИРСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО  
ПЕДАГОГИЧЕСКОГО УНИВЕРСИТЕТА  
им. М. АКМУЛЛЫ**

**16 +**

**Серия: Естественные науки.**

**Редакция не всегда разделяет мнение авторов.  
Статьи публикуются в авторской редакции.**

Компьютерный набор.  
Гарнитура Times New Roman  
Гарнитура Times.  
Формат 60×90/16  
Тираж 1000 экз.