



АКМУЛЛИНСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ

ISSN 3034-266X

Вестник¹⁶⁺

Башкирского государственного
педагогического университета
им. М. Акмуллы



Серия:
Естественные науки

3/2025

ВЕСТНИК



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

Научно-практический журнал

Серия:

Естественные науки

№ 3/ 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

Е-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).

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

СОДЕРЖАНИЕ

БИОЛОГИЧЕСКИЕ НАУКИ

- Горепякин Н.А. Храпова С.Н.* 6
ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ СИНТЕТИЧЕСКОГО ФЕРОМОНА
«УНИРОЙ» НА ВОСПРОИЗВОДСТВО РАСПЛОДА И
БИОЛОГИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ ПЧЕЛИНЫХ СЕМЕЙ
КАРПАТСКОЙ ПОРОДЫ

НАУКИ О ЗЕМЛЕ

- Шугаипова Р.Р., Ушаридзе А.С.* 15
ПРОБЛЕМЫ ОХРАНЫ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ В
ПРОМЫШЛЕННЫХ РАЙОНАХ

ОБРАЗОВАНИЕ И ПЕДАГОГИЧЕСКИЕ НАУКИ

- Шугаипова Л.Р., Мирсаева А.М.* 23
ОРГАНИЗАЦИЯ ВНЕУРОЧНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ПО
ГЕОГРАФИИ СРЕДИ УЧАЩИХСЯ 5-Х - 8-Х КЛАССОВ:
ВОЗМОЖНОСТИ И ПРОБЛЕМЫ

ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ФИЗИКА

- Попов И.П.* 31
ДВА ВЫВОДА ФОРМУЛЫ ДЛЯ КВАНТА МАГНИТНОГО
ПОТОКА, ОБУСЛОВЛЕННОГО СПИНОМ ЭЛЕКТРОНА

ХИМИЧЕСКИЕ НАУКИ

- Абассов В.М., Асадова Р.А.* 39
ФИТОРЕГУЛЯТОРЫ РОСТА РАСТЕНИЙ НА ОСНОВЕ
НАТРИЕВЫХ И КАЛИЕВЫХ СОЛЕЙ ОРГАНИЧЕСКИХ
КИСЛОТ

- Бабаева В.Г., Мамедбейли Э.Г.* 56
АЗОТСОДЕРЖАЩИЕ ПРОИЗВОДНЫЕ КАРБОНОВЫХ
КИСЛОТ БИЦИКЛО[2.2.1]-ГЕПТАНОВОГО РЯДА

- Гаджиева Г.Ф., Расулов Ч.К., Алиева К.Ш., Гейдарли Г.З.* 78
ФАРМАКОЛОГИЧЕСКАЯ АКТИВНОСТЬ ФЛАВАНОИДОВ

- Гейдарли Г.З., Расулов Ч.К., Салманова Ч.Г., Гаджиева Г.Ф.* 86
ПРИМЕНЕНИЕ ФЛАВАНОИДОВ В ПИЩЕВОЙ
ПРОМЫШЛЕННОСТИ

<i>Мовсумова А.Х., Расулов Ч.К., Гасанова Г.Дж., Гейдарли Г.З.</i> РЕАКЦИИ АЦИЛИРОВАНИЯ СПИРТОВ: МЕХАНИЗМ И ОБЛАСТИ ПРИМЕНЕНИЯ	96
<i>Нагиева М.В., Расулов Ч.К., Алиева К.Ш., Гейдарли Г.З.</i> СИНТЕЗ И ОБЛАСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ФЛАВАНОИДОВ	111
<i>Салманова Ч.Г., Расулов Ч.К., Гасанова Г.Дж., Гейдарли Г.З.</i> ПРИМЕНЕНИЕ ФЛАВАНОИДОВ В ФАРМАКОХИМИИ	125
<i>Удалова Е.А., Гаджиева Г.Э., Мамедбейли Э.Г.</i> ДИТЕРПЕНЫ И ИХ ОСНОВНЫЕ ПРЕДСТАВИТЕЛИ	136
<i>Ширинов П.М.</i> К МЕТОДАМ ОБЕССЕРИВАНИЯ НЕФТЕЙ	146

ПРАВИЛА ДЛЯ АВТОРОВ

<i>Общие положения</i>	152
<i>Рекомендуемая структура публикаций</i>	153
<i>Требования к текстовой части статьи</i>	160
<i>Образцы оформления ссылок на литературу</i>	161

БИОЛОГИЧЕСКИЕ НАУКИ

Научная статья

УДК 638.145

DOI 10.21510/3034-266X-2025-3-6-14

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ СИНТЕТИЧЕСКОГО ФЕРОМОНА «УНИРОЙ» НА ВОСПРОИЗВОДСТВО РАСПЛОДА И БИОЛОГИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ ПЧЕЛИНЫХ СЕМЕЙ КАРПАТСКОЙ ПОРОДЫ

Никита Алексеевич Горепякин¹, Светлана Николаевна Храпова²

*^{1,2}Российский государственный аграрный университет – МСХА
имени К.А. Тимирязева, Москва, Россия*

Аннотация. В данной статье анализируется использование вошины с добавлением синтетического феромона «Унирой» в расплавленный воск. Установлено, что синергическое действие синтетического феромона «Унирой» и естественного феромона пчелиных маток старше 2,0-2,5 лет повышает активность пчелиных семей по строительству сотов, приносу нектара и пыльцы рабочими пчелами. Максимальные значения летной активности в пчелиных семьях зафиксированы с двухлетними матками с феромоном на главном медосборе – 514,8 пчёл/3 мин. (+5,5% к контролю) и наивысшую нагрузку медового зобика – 51,67 мг (+5,4% к контролю), увеличивающих медовую продуктивность пчелиных семей на 10-15%. Применение искусственного интеллекта (ИИ) подтвердило эффективность для комплексного анализа экспериментальных данных, обеспечив высокую точность статистической обработки биологических показателей (сила семьи, расплод, продуктивность). ИИ позволил выявить скрытые закономерности и оптимизировать работоспособность семей на продуктивном медосборе.

Ключевые слова: вошина, феромон «Унирой», соты, пчелиная матка, расплод, нектар, пыльца, летная активность, искусственный интеллект

Для цитирования: Горепякин Н.А. Храпова С.Н. Оценка влияния синтетического феромона «Унирой» на воспроизводство расплода и биологические показатели пчелиных семей карпатской породы // Вестник Башкирского государственного педагогического университета им. М. Акмуллы. Серия: Естественные науки. 2025. №3. С. 6-14.

BIOLOGICAL SCIENCES

Original article

ASSESSMENT OF THE INFLUENCE OF THE SYNTHETIC PHEROMONE "UNIROY" ON THE REPRODUCTION OF BROOD AND BIOLOGICAL INDICATORS OF BEE COLONIES OF THE CARPATHIAN BREED

Nikita Alekseevich Gorepyakin¹, Svetlana Nikolaevna Khrapova²

*^{1,2}Russian State Agrarian University - Moscow Timiryazev
Agricultural Academy, Moscow, Russia*

Abstract. This article analyzes the use of wax foundation with the addition of the synthetic pheromone "Uniroy" to the melted wax. It was found that the synergistic effect of the synthetic pheromone "Uniroy" and the natural pheromone of queen bees over 2.0-2.5 years old increases the activity of bee colonies in building honeycombs, bringing nectar and pollen by worker bees. The maximum values of flight activity in bee colonies were recorded with two-year-old queens with the pheromone during the main honey flow - 514.8 bees / 3 min. (+ 5.5% to the control) and the highest load of honey goiter - 51.67 mg (+ 5.4% to the control), increasing the honey productivity of bee colonies by 10-15%. The use of artificial intelligence (AI) has proven its effectiveness in the comprehensive analysis of experimental data, ensuring high accuracy of statistical processing of biological indicators (colony strength, brood, productivity). AI has made it possible to identify hidden patterns and optimize the performance of families during a productive honey flow.

Keywords: wax foundation, pheromone "Uniroy", honeycombs, queen bee, brood, nectar, pollen, flight activity, artificial intelligence.

For citation: Gorepyakin N.A., Khrapova S.N. Evaluation of the effect of the synthetic pheromone "Uniroy" on brood reproduction and biological indicators of bee families of the Carpathian breed // Bulletin of the Bashkir State Pedagogical University named after M. Akmulla. Series: Natural Sciences. 2025. No3. pp.6-14.

Пчеловодство является стратегически важной отраслью агропромышленного комплекса, обеспечивающей производство меда, воска, прополиса и других биоресурсов, а также выполняющей незаменимую экосистемную функцию – опыление сельскохозяйственных культур [1-6]. Согласно данным Продовольственной и сельскохозяйственной организации ООН (ФАО), около 75% продовольственных культур, включая фрукты, овощи и масличные растения, зависят от опыления насекомыми,

преимущественно медоносными пчелами [8]. Экономическая ценность пчел как опылителей в глобальном масштабе оценивается в 235–577 млрд. долларов ежегодно, что превышает стоимость прямой продукции пчеловодства [8,9].

Ключевым фактором, определяющим продуктивность пчелиных семей, является физиологическое состояние матки. Молодые матки (1–2 года) демонстрируют высокую яйценоскость – до 2000–2300 яиц в сутки у карпатской породы и активную секрецию феромонов, регулирующих поведение рабочих особей [7, 18]. Однако после 2,5–3 лет их репродуктивная функция снижается, а синтез феромонов, таких как 9-оксо-2-деценвая кислота (9-ODA), сокращается, что приводит к дезорганизации семьи, роению и потере до 20–50% медового урожая [3, 13]. Роение, являясь естественным механизмом обновления маток, сопровождается стрессом для семьи, прекращением медосбора и риском потери роев, что критично для промышленных пасек, ориентированных на стандартизированное производство [5-9].

Несмотря на значительный объем исследований, посвященных естественным механизмам регуляции пчелиных семей, применение синтетических аналогов феромонов для компенсации возрастных изменений маток остается малоизученным [3-7]. Большинство существующих работ сосредоточено на селекции маток и традиционных методах управления, тогда как потенциал искусственных феромонов для продления их продуктивного периода требует детального анализа [9].

Целью работы явилось комплексная оценка влияния синтетического феромона «Унирой» на воспроизводство расплода и биологические показатели пчелиных семей карпатской породы (*Apis mellifera carpatica*) в зависимости от возраста маток.

Материал и методы исследований

Исследование проводилось на базе учебно-опытной пасеки Российского государственного аграрного университета – МСХА имени К.А. Тимирязева (РГАУ-МСХА) с использованием пчелиных семей карпатской породы (*Apis mellifera carpatica*). У рабочих особей основной породопределяемый показатель – кубитальный индекс – был на уровне 38,0-39,0%, а длина хоботка - 6,7-6,9 мм.

Контрольную и опытные группы пчелиных семей формировались по принципу пар-аналогов. Контрольные группы содержались на стандартной вошине, изготовленной из чистого воска, а опытные – на вошине, обработанной синтетическим феромоном «Унирой». Концентрация препарата составляла 2,5 г на 100 л расплавленного и очищенного воска с температурой каплепадения составляющего 67°C, что соответствовало рекомендациям производителя (АО «Агробιοпром»). Вошина производилась на

автоматизированной линии «Маргарита-1», что обеспечило идентичность толщины, размера ячеек и равномерность распределения феромона. Перед началом эксперимента все семьи были приведены к единым стартовым условиям: на 20 апреля каждая имела 10 улочек пчел, 11 кг кормового меда и 160 квадратов (5×5 см) печатного расплода. Ульи располагались на территории пасеки в одинаковых микроклиматических условиях, с доступом к идентичным медоносным ресурсам. «Унирой» – синтетический феромонный препарат, разработанный для имитации маточного вещества, регулирующего поведение рабочих пчел. Основными компонентами являются гераниол (45%), цитраль (30%) и гераниевая кислота (25%), которые воспроизводят ключевые компоненты естественного феромона матки. Препарат выпускается в форме геля белого цвета, устойчивого к окислению и температурным колебаниям (допустимый диапазон: от +5°C до +40°C). Механизм действия «Унироя» основан на стимуляции рабочих особей к усиленной отстройке сотов, уходу за расплодом и подавлению роевого инстинкта.

Отстройка сотов из вошины проводилась, формируя группы пчел с матками сеголетками, 1-го года, 2-х лет и 3 года с использованием двух вариантов вошины 1-я – без феромона – контрольная, 2-я – с феромоном – в каждом варианте было по 12 пчелиных семей, в разрезе групп - по три семьи.

Влияние сотов, отстроенных из вошины с феромоном на выращивание расплода, среднесуточную яйценоскость и хозяйственно полезные признаки пчелиных семей (летная активность, нагрузка медового зобика) на различных типах медосбора и продуктивность изучалось на 5-ти группах пчелиных семей. В качестве контрольной группы использовались пчелиные семьи с матками в возрасте 2 года, но также с двумя вариантами отстроенных сотов – без феромона и с феромоном.

Учет количества печатного расплода проводился в квадратах, рамкой-сеткой со сторонами квадрата 5*5 см, которую использовали для расчета среднесуточной яйценоскости по общепринятой формуле. Летняя активность устанавливалась подсчетом прилетающих пчел в семьи в течение трех минут в 10, 13 и 15 часов. Наполненность нектаром медового зобика устанавливалась взвешиванием препарированных медовых зобиков на торсионных весах с точностью до 0,00 знаков. Количество отстроенных сотов фиксировалось по фактической отстройке листов вошины наващенные в деревянные пчеловодные рамки.

Результаты и их обсуждение

Результаты исследования подтвердили, что применение синтетического феромона «Унирой» оказывает значимое влияние на

продуктивность и стабильность пчелиных семей. Однако, стоит отметить что его эффективность напрямую зависит от возраста маток. Выявлено синергическое действие синтетического феромона «Унирой» и естественного феромона пчелиных маток старше 2,0-2,5 лет, повышающих физиологические показатели и продуктивность пчелиных семей на 10-15%. Так, по этологическим показателям установлено, что феромон «Унирой» влияет на строительную активность пчел (табл.1).

Таблица 2

Влияние синтетического феромона «Унирой» на отстройку сотов из вошины рабочими пчелами в гнездах с матками разного возраста, шт.

Группы и возраст маток, гг.	Отстроено сотов из вошины (дано 18 шт. листов вошины)						
	Контроль – без феромона			Вошина с феромоном			В % к контролю
	M±m	Cv, %	p	M±m	Cv, %	p	
1 –я, сеголет ки	12,0±0,57	8,33	*	15,0 ±0,58	6,67	*	125,00
2-я, 1 год	15,0±1,16	13,3 2	-	18,0±0,0 0	0,00	-	120,00
3-я, 2 года	16,0±1,52	4,10	-	18,0±0,0 0	0,00	-	112,50
4-я, 3 года	12,0±0,57	8,30	-	15,0±1,2 0	10,2 0	-	125,00

* – различия статистически значимы ($p < 0,05$)

Максимальный эффект его действия наблюдался у семей сеголетних и двухлетних маток, где его действие являлось стимулятором для них. Объясняется это взаимодействием естественных феромонных веществ и синтетическим. Для семей с возрастными трехлетними матками, действие феромона можно выразить как – компенсации при условии снижения секрета естественных феромонов. Использование феромона «Унирой» увеличило отстройку сотов: у сеголетних маток – с $12,0 \pm 0,57$ до $15,0 \pm 0,58$ сотов (+3,0 шт., +25%). У двухлетних маток – с $16,0 \pm 1,52$ до $18,0 \pm 0,00$ сотов (+2,0 шт., +12,5%).

При оценке репродуктивных показателей установлено, что использование феромона увеличивает продуктивность и снижает вариабельность, что наглядно наблюдалось у семей с двухлетними

матками, но возраст матки, остался критическим фактором, так у семей с трехлетними матками даже при добавлении синтетического феромона наблюдалось снижение выращивания расплода. Площадь расплода у двухлетних маток с феромоном достигла $223,67 \pm 4,18$ кв. (против $198,0 \pm 6,94$ кв. в контроле), прирост $25,67$ кв. (+18%). У трёхлетних маток показатель понизился до $165,6 \pm 5,69$ кв. (против $197,1 \pm 9,18$ кв.), снижение на $31,5$ кв. (-16%).

Сила пчелиных семей показывает стабильность роста массы и численности особей как в контрольной, так и опытных группах. Применение синтетического феромона дало максимальный результат у семей с однолетними матками, в то время как семьи с трехлетними матками вновь продемонстрировали самый низкий уровень силы семьи. Семьи с однолетними матками и феромоном достигли $34,32 \pm 1,20$ улочек (контроль – $24,0 \pm 1,16$ улочек), прирост $10,32$ улочки (+43%); у трёхлетних маток сила сократилась до $19,33 \pm 1,86$ улочек ($C_v=16,63\%$), что на $4,67$ улочки (-19%) ниже контроля.

Оценка продуктивности выявила следующие результаты: максимальная эффективность достигнута у однолетних ($48,33 \pm 0,85$ кг меда, $1,16 \pm 0,07$ кг воска) и двухлетних ($47,67 \pm 1,25$ кг меда, $1,17 \pm 0,06$ кг воска) маток с феромоном. Медопродуктивность в опытных группах выросла на 10–15% (до $48,33$ кг/семью), выход воска – на 19% ($1,17$ кг), прополиса – на 22% ($0,11$ кг).

Максимальные значения летной активности в пчелиных семьях зафиксированы с двухлетними матками с феромоном на главном медосборе – $514,8$ пчёл/3 мин. (+5,5% к контролю). В семьях с трёхлетними матками активность понижается до $420,7$ пчёл/3 мин. (-13,8%). Семьи с двухлетними матками с феромоном демонстрируют наивысшую нагрузку медового зобика – $51,67$ мг (+5,4% к контролю). В семьях с трёхлетними матками нагрузка нектарного зобика хотя остается повышенной, но понижается до $42,67$ мг (-13%).

Заключение

Синтетический феромон «Унирой» является эффективным инструментом повышения продуктивности пчелиных семей карпатской породы. Однако его применение требует дифференцированного, избирательного и точного подхода, учитывающего возраст маток, сезонные условия и специфику хозяйства. Для сеголетних маток феромон «Унирой» следует применять с ранней весны для ускорения развития семьи. Двухлетние матки требуют периодического использования препарата в периоды интенсивного медосбора или стрессовых условий (перевозка, обработка от паразитов). Трёхлетние матки должны заменяться в плановом порядке, а феромон может использоваться лишь как временная мера для сглаживания переходного периода. Для

промышленных пасек критически важно внедрение стандартизированных протоколов обработки воицины, что позволит добиться стабильности показателей и снизить зависимость от человеческого фактора.

Результаты исследования имеют широкие перспективы применения. В промышленном пчеловодстве «Унирой» может стать основой для технологий точного земледелия, где управление феромонными сигналами позволит оптимизировать опыление сельскохозяйственных культур. В органическом сельском хозяйстве синтетический феромон, в отличие от химических стимуляторов, соответствует принципам экологической безопасности, не накапливаясь в продукции и не нарушая естественные процессы в улье. Кроме того, полученные данные могут быть использованы в селекционных программах для создания линий пчёл с повышенной чувствительностью к феромонам, что усилит их эффективность.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Еськов Е.К. Экология медоносной пчелы / Е.К. Еськов. – Рязань: Русское слово, 1995. – 390 с.
2. Комлацкий Г.В. Органические кислоты в пчеловодстве / Г.В. Комлацкий, О.В. Стрельбицкая // Фундаментальные и прикладные решения приоритетных задач пчеловодства. – 2023. – С. 3–4.
3. Литвинова А.Р. Достоинства и недостатки пчел карпатской породы / А.Р. Литвинова, И.В. Сердюченко, В.И. Терехов, А.А. Шевченко // Животноводство и ветеринария. – 2014. – № 3. – С. 238.
4. Маннапов А.Г. Биологические и технологические факторы, влияющие на качество неплодных пчелиных маток / А.Г. Маннапов, М.В. Брановец // Разведение и содержание среднерусских пчел – перспективное направление в производстве целебного липового меда. – Чебоксары: ЧГАУ, 2021. – С. 75-80.
5. Маннапов А.Г. Влияние препарата апиной в составе воицины на жизнедеятельность семьи / А.Г. Маннапов, Л.А. Редькова // Пчеловодство. – 2015. – № 2. – С. 21-23.
6. Маннапов А.Г. Влияние препарата апиной на хозяйственно полезные признаки пчелиных семей / А.Г. Маннапов, Л.А. Редькова // Пчеловодство. – 2015. – № 1. – С. 23-25.
7. Маннапов У.А. Влияние феромона пчелиной матки и структуры воицины на продуктивные показатели семей пчел / У.А. Маннапов, А.Г. Маннапов // Агрономический вестник. – 2009. – № 3. – С. 1–4.
8. Etxegarai-Legarreta O. The role of beekeeping in the generation of goods and services: The interrelation between environmental, socioeconomic, and sociocultural utilities / O. Etxegarai-Legarreta,

V. Sanchez-Famoso // Agriculture. – 2022. – Vol. 12. – № 4. – p. 551.

9. Traynor K.S. Queen and young larval pheromones impact nursing and reproductive physiology of honey bee (*Apis mellifera*) workers / K.S. Traynor, Y. Le Conte, R.E. Page // Behavioral Ecology and Sociobiology. – 2014. – Vol. 68. – № 12. – pp.2059-2073.

REFERENCES

1. Eskov E.K. Ecology of the honey bee / E.K. Eskov. - Ryazan: Russkoe slovo, 1995. – 390 p.

2. Komlatsky G.V. Organic acids in beekeeping / G.V. Komlatsky, O.V. Strelbitskaya // Fundamental and applied solutions to priority problems of beekeeping. – 2023. – pp.3-4.

3. Litvinova A.R. Advantages and disadvantages of Carpathian bees / A.R. Litvinova, I.V. Serdyuchenko, V.I. Terekhov, A.A. Shevchenko // Animal husbandry and veterinary science. – 2014. – No. 3. – P. 238.

4. Mannapov A.G. Biological and technological factors affecting the quality of infertile queen bees / A.G. Mannapov, M.V. Branovets // Breeding and keeping Central Russian bees - a promising direction in the production of medicinal linden honey. – Cheboksary: Chuvash State Agrarian University, 2021. – pp.75-80.

5. Mannapov A.G. The effect of the drug apiroy in the composition of wax on the vital activity of the family / A.G. Mannapov, L.A. Redkova // Beekeeping. – 2015. – No. 2. – pp.21-23.

6. Mannapov A.G. The effect of the drug apiroy on economically useful traits of bee colonies / A.G. Mannapov, L.A. Redkova // Beekeeping. – 2015. - No. 1. – pp.23-25.

7. Mannapov U.A. The influence of the queen bee pheromone and the structure of the foundation on the productive indicators of bee families / U.A. Mannapov, A.G. Mannapov // Agronomic Bulletin. – 2009. – No. 3. – pp.1–4.

8. Etxegarai-Legarreta O. The role of beekeeping in the generation of goods and services: The interrelation between environmental, socioeconomic, and sociocultural utilities / O. Etxegarai-Legarreta, V. Sanchez-Famoso // Agriculture. – 2022. – Vol. 12. – № 4. – P. 551.

9. Traynor K.S. Queen and young larval pheromones impact nursing and reproductive physiology of honey bee (*Apis mellifera*) workers / K.S. Traynor, Y. Le Conte, R.E. Page // Behavioral Ecology and Sociobiology. – 2014. – Vol. 68. – № 12. – pp.2059-2073.

Информация об авторе

Н.А. Горепякин – студент;

С.Н. Храпова – кандидат биологических наук, доцент (научный руководитель).

Information about the authors

N.A. Gorepyakin – student;

S.N. Khrapova – candidate of biological sciences, associate professor (scientific director).

Статья поступила в редакцию 29.08.2025; принята к публикации 16.09.2025.

The article was submitted 29.08.2025; accepted for publication 16.09.2025.

НАУКИ О ЗЕМЛЕ

Научная статья

УДК 614.833.51

DOI 10.21510/3034-266X-2025-3-15-22

ХАРАКТЕРИСТИКА И ПОСЛЕДСТВИЯ ВОЗДЕЙСТВИЯ АЭРОЗОЛЬНЫХ ЧАСТИЦ PM_{2.5} НА ЗДОРОВЬЕ ЧЕЛОВЕКА И ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ

Линара Равильевна Шугаипова¹, Арина Сергеевна Ушаридзе²

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

¹ <https://orcid.org/0000-0002-2077-7699>

lika4.husainova@yandex.ru

² Asedleckaya@yandex.ru

Аннотация. Аэрозольные частицы размером менее 2,5 мкм (частицы PM_{2.5}) представляют собой одну из ключевых угроз для общественного здравоохранения и экологии планеты. Данные частицы образуются в результате антропогенной деятельности и природных явлений, оказывая негативное воздействие на органы дыхания, сердечно-сосудистую систему и общее состояние здоровья человека. Цель данной научной статьи заключается в анализе источников происхождения, физико-химических свойств и биологического эффекта PM_{2.5}, а также оценке мер профилактики и борьбы с данным видом загрязнений.

Ключевые слова: Мелкодисперсная пыль, аэрозольные частицы, промышленные частицы PM_{2.5}, окружающая среда

Для цитирования: Шугаипова Р.Р., Ушаридзе А.С. Проблемы охраны окружающей среды в промышленных районах // Вестник Башкирского государственного педагогического университета им. М.Акмуллы. Серия: Естественные науки. №3. 2025. С. 15-22.

EARTH SCIENCES

Original article

CHARACTERISTICS AND EFFECTS OF PM_{2.5} AEROSOL PARTICLES ON HUMAN HEALTH AND THE ENVIRONMENT

Linara R. Shugaipova¹, Arina S. Usharidze², Nurlygayanova

*^{1,2} Bashkir State Pedagogical University named after M. Akmulla,
Ufa, Russia*

¹lika4.husainova@yandex.ru

² *Asedleckaya@yandex.ru*

Abstract. Aerosol particles smaller than 2.5 microns (PM_{2.5} particles) represent one of the key threats to the public health and ecology of the planet. These particles are formed as a result of anthropogenic activities and natural phenomena, having a negative impact on the respiratory system, the cardiovascular system and the general state of human health. The purpose of this scientific article is to analyze the sources of origin, physico-chemical properties and biological effect of PM_{2.5}, as well as to evaluate measures to prevent and control this type of pollution.

Key words: Fine dust, aerosol particles, industrial particles PM 2.5, environment

For citation: Shugaipova R.R., Usharidze A.S. Environmental protection issues in industrial areas leaves // Bulletin of the Bashkir State Pedagogical University named after. M. Akmulla. Series: Natural Sciences. 2025. No3. pp.15-22.

Мелкодисперсные аэрозоли являются важной составляющей атмосферы Земли, способствуя формированию облаков, влиянию на климатические процессы и распространению инфекционных агентов. Однако значительная доля такого типа частиц имеет искусственное происхождение и оказывает выраженное отрицательное воздействие на экологию и человеческое здоровье. Среди всех видов атмосферных аэрозолей особое внимание уделяется именно мелким твёрдым частицам диаметром $\leq 2,5$ мкм (PM_{2.5}), поскольку именно эта фракция способна глубже всего проникнуть в дыхательные пути и кровь человека, провоцируя серьезные патологии и ухудшая качество жизни.

Аэрозоль представляет собой смесь мельчайших жидких капель или твердых веществ, взвешенных в атмосфере. Аэрозольные частицы подразделяются по размеру на три основных класса:

- Крупнодисперсные частицы (> 10 мкм)
- Среднедисперсные частицы (от 2,5 до 10 мкм)
- Мелкодисперсные частицы ($< 2,5$ мкм).

Мелкодисперсные частицы PM_{2.5} характеризуются высокой степенью дисперсности, малой массой и значительной поверхностью контакта с воздухом. Их высокая способность адсорбировать химические соединения и тяжелые металлы обуславливает высокую степень токсичности и канцерогенности.

По происхождению частицы делятся на первичные и вторичные. Первичные возникают непосредственно от сгорания топлива, промышленных выбросов и транспортных средств. Вторичные формируются химическими реакциями в атмосфере между

газообразными соединениями (например, диоксид серы SO_2 и аммиак NH_3).

Химический состав $\text{PM}_{2.5}$ разнообразен и включает органические компоненты, сульфаты, нитраты, аммоний, соли металлов и другие элементы. Например, бензпирены, полициклические ароматические углеводороды (ПАУ) и свинец, содержащиеся в частицах $\text{PM}_{2.5}$, признаны канцерогенами первой группы согласно классификации Международного агентства по изучению рака (IARC).

При попадании в организм человека частицы $\text{PM}_{2.5}$ преодолевают физиологические барьеры и достигают альвеолярных структур лёгких, откуда поступают в кровяное русло. Вследствие малых размеров данные частицы способны вызывать воспалительные процессы в бронхах и альвеолах, стимулируют выработку цитокинов и активируют окислительный стресс, приводящий к повреждению клеток и тканей.

Научные исследования подтверждают связь повышенного уровня $\text{PM}_{2.5}$ с развитием острых и хронических болезней:

- Острые воспаления верхних дыхательных путей, такие как ринит, фарингит, трахеобронхит.
- Хронические легочные заболевания: бронхиальная астма, хроническая обструктивная болезнь легких (ХОБЛ), рак лёгкого.
- Сердечно-сосудистые нарушения: артериальная гипертензия, инфаркт миокарда, инсульт.
- Усиление аллергических реакций и снижение иммунитета.
- Повреждение центральной нервной системы, включая развитие деменции и депрессии.

Особую опасность $\text{PM}_{2.5}$ представляет для детей и подростков, беременных женщин, пожилых лиц и пациентов с сопутствующими заболеваниями сердечно-лёгочной системы.

Основными источниками поступления $\text{PM}_{2.5}$ в атмосферу являются следующие факторы:

- Автотранспорт (выхлопные газы дизельных двигателей).
- Промышленные предприятия (особенно металлургия, энергетика, нефтепереработка).
- Использование твердого топлива для обогрева помещений (уголь, дрова).
- Лесные пожары и сельскохозяйственные мероприятия (сжигание растительных остатков).
- Вулканическая деятельность и песчаные бури.

Распространение $\text{PM}_{2.5}$ зависит от климатических условий, географического расположения региона и особенностей городской застройки. Так, города с плотной застройкой и узкими улицами имеют

значительно большую концентрацию PM2.5 по сравнению с пригородами и сельскими территориями.

Измерение концентрации PM2.5 осуществляется различными методами:

- Гравиметрическое измерение (определение веса осадившихся частиц).
- Фотометрические методы (оценка светорассеяния и поглощения света частицами).
- Химический анализ состава аэрозоля.

Международные организации (ВОЗ, Европейская комиссия) устанавливают нормативы допустимых уровней PM2.5 для различных регионов мира. В частности, Всемирная организация здравоохранения рекомендует среднесуточную концентрацию PM2.5 ниже 25 мкг/м³ и годовую среднюю концентрацию менее 10 мкг/м³.

Мониторинг состояния атмосферного воздуха проводится регулярно в крупных городах и промышленных центрах с использованием стационарных станций наблюдения и передвижных лабораторий.

Борьба с повышенным уровнем PM2.5 требует комплексного подхода на уровне государства, бизнеса и общества. Основные направления профилактики включают:

- Переход на возобновляемые источники энергии (солнечная энергия, ветровая энергетика).
- Развитие электротранспорта и повышение эффективности автомобильного парка.
- Улучшение стандартов очистки выбросов предприятий промышленности.
- Озеленение городов и создание зелёных зон.
- Образование и информирование населения о мерах индивидуальной защиты (использование респираторов, регулярные проветривания помещений).

Также важно внедрение современных технологий фильтрации и очистки воздуха внутри жилых зданий и офисных помещений.

Заключение

Проблема мелкодисперсных аэрозольных частиц PM2.5 остаётся актуальной для современного общества. Несмотря на достижения науки и техники, концентрация этих опасных компонентов в атмосфере продолжает оставаться высокой в большинстве мегаполисов и промышленно развитых районов. Необходимость принятия решительных мер по снижению эмиссии PM2.5 обусловлена ростом заболеваемости среди населения, повышением смертности и снижением качества жизни людей. Для эффективного решения этой

глобальной экологической проблемы требуются совместные усилия международных организаций, правительств стран, бизнес-сообщества и каждого гражданина нашей планеты.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Азаров В.Н., Бессараб О.И., Кабаев О.В. Теоретические исследования скорости оседания мелкодисперсной пыли в воздушной среде рабочих помещений предприятий машиностроения и стройиндустрии. Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2010. № 17 (36). С. 102-105.
2. Калюжина Е.А., Несветаев Г.В., Азаров В.Н. Исследования значений PM_{10} и $PM_{2,5}$ в выбросах в атмосферу и рабочую зону при ремонтно-строительных работах. Интернет-вестник ВолгГАСУ. 2012. № 1 (20). С. 24.
3. Чистяков Я.В., Качурин Н.М., Махнин А.А., Володин Н.И. Разработка пылеуловителей нового поколения Экология и промышленность России. 2013. № 5. С. 16-19.
4. Азаров В.Н., Сидякин П.А., Лопатина Т.Н., Николенко Д.А. Техногенное загрязнение атмосферного воздуха и его влияние на социально-экологическое благополучие городов-курортов кавказских минеральных вод. Социология города. 2014. № 1. С. 28-37.
5. Азаров В.Н., Барикаева Н.С. Учет пылевого загрязнения атмосферного воздуха при размещении и организации объектов городской среды. Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2012. № 29 (48). С. 213-217.
6. Леванчук А.В. Загрязнение окружающей среды продуктами эксплуатационного износа автомобильных дорог. Интернет-журнал Науковедение. 2014. № 1 (20). С. 68.
7. Чистяков Я.В., Епархин О.М., Володин Н.И. Мелкодисперсная пыль – техногенная угроза биосфере. История и перспективы развития транспорта на севере России. 2014. № 1. С. 155-158.
8. Затонский А.П., Подгорный А.Е., Тесленко И.С. Повышение эффективности очистки воздуха от мелкодисперсной пыли для кабин МЭС. В сборнике: Современные тенденции развития технологий и технических средств для АПК. Материалы научной конференции профессорско-преподавательского состава, научных сотрудников и аспирантов по актуальным проблемам АПК в области механизации, электрификации сельского хозяйства и переработки сельскохозяйственной продукции. 2014. С. 84-88.

9. Муратова К.М. Защита биосферы и человека от мелкодисперсной пыли. Вестник РГАТА имени П.А. Соловьева. 2016. № 1 (36). С. 130-136.
10. Кирсанов В.В. Воздействие атмосферных осадков на качество воздуха приземного слоя. Безопасность жизнедеятельности. 2016. № 8 (188). С. 21-23.
11. Калаева С.З.К., Чистяков Я.В., Муратова К.М., Чеботарев П.В. Влияние мелкодисперсной пыли на биосферу и человека. Известия Тульского государственного университета. Науки о Земле. 2016. № 3. С. 40-63.
12. Копытенкова О.И., Шилова Е.А., Сазонова А.М., Слюсарева О.В. Комплексный подход к проблеме оценки биологического фактора. Гигиена и санитария. 2017. Т. 96. № 7. С. 610-614.
13. Барикаева Н.С., Николенко Д.А. Мониторинг пылевого загрязнения атмосферного воздуха городской среды на примере г. Волгограда. Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2017. № 50 (69). С. 182-189.
14. Дрозд В.А., Кикун П.Ф., Ананьев В.Ю., Жигаев Д.С., Лисицкая И.Г., Олесик С.М., Чайка В.В., Голохваст К.С. Пыльные бури и микроразмерное загрязнение атмосферы. В сборнике: Эколого-биологическое благополучие растительного и животного мира. Материалы международной научно-практической конференции. 2017. С. 104-106.
15. Хильченко Н.В., Стефаненко В.Т. Диагностика загрязненности атмосферного воздуха для формирования экологической политики. Экология промышленного производства. 2018. № 1 (101). С. 75-79.
16. Гасайниева А.Г., Гасайниева М.Г. О загрязнении атмосферы мелкодисперсной пылью и, о ее влиянии на здоровье человека. Инженерный вестник Дона. 2017. № 4 (47). С. 173.

REFERENCE

1. Azarov V.N., Bessarab O.I., Kabaev O.V. Theoretical studies of the fine dust settling rate in the air of working premises of mechanical engineering and construction industry enterprises. Bulletin of the Volgograd State University of Architecture and Civil Engineering. Series: Construction and Architecture. 2010. № 17 (36). P. 102-105.
2. Kalyuzhina E.A., Nesvetaev G.V., Azarov V.N. Research of PM 10 and PM 2.5 values in emissions into the atmosphere and working area during repair and construction works. Internet Bulletin of VolgGASU. 2012. № 1 (20). P. 24.
3. Chistyakov Ya.V., Kachurin N.M., Makhnin A.A., Volodin N.I.

Development of new generation dust collectors Ecology and industry of Russia. 2013. No. 5. P. 16-19.

4. Azarov V.N., Sidyakin P.A., Lopatina T.N., Nikolenko D.A. Man-made air pollution and its impact on the socio-ecological well-being of the resort towns of the Caucasian mineral waters. Sociology of the city. 2014. No1. P. 28-37.

5. Azarov V.N., Barikaeva N.S. Accounting for dust pollution of the atmospheric air when placing and organizing urban environment objects. Bulletin of the Volgograd State University of Architecture and Civil Engineering. Series: Construction and Architecture. 2012. No. 29 (48). P. 213-217.

6. Levanchuk A.V. Environmental pollution by products of operational wear of highways. Internet journal Naukovedenie. 2014. № 1 (20). P. 68.

7. Chistyakov Ya.V., Eparkhin O.M., Volodin N.I. Fine dust - a man-made threat to the biosphere. History and prospects for the development of transport in the north of Russia. 2014. № 1. P. 155-158.

8. Zatonskiy A.P., Podgorny A.E., Teslenko I.S. Increasing the efficiency of air purification from fine dust for MES cabins. In the collection: Modern trends in the development of technologies and technical means for the agro-industrial complex. Proceedings of the scientific conference of the faculty, researchers and postgraduate students on current problems of the agro-industrial complex in the field of mechanization, electrification of agriculture and processing of agricultural products. 2014. P. 84-88.

9. Muratova K.M. Protection of the biosphere and humans from fine dust. Bulletin of the Russian State Agrarian University named after P.A. Soloviev. 2016. No1 (36). P. 130-136.

10. Kirsanov V.V. Impact of atmospheric precipitation on the quality of ground-level air. Life Safety. 2016. No. 8 (188). P. 21-23.

11. Kalayeva S.Z.K., Chistyakov Ya.V., Muratova K.M., Chebotarev P.V. Impact of fine dust on the biosphere and humans. Bulletin of the Tula State University. Earth Sciences. 2016. No. 3. P. 40-63.

12. Kopytenkova O.I., Shilova E.A., Sazonova A.M., Slyusareva O.V. An integrated approach to the problem of assessing the biological factor. Hygiene and Sanitation. 2017. Vol. 96. No. 7. pp.610-614.

13. Barikaeva N.S., Nikolenko D.A. Monitoring dust pollution of atmospheric air in the urban environment on the example of Volgograd. Bulletin of the Volgograd State University of Architecture and Civil Engineering. Series: Construction and Architecture. 2017. No. 50 (69). pp.182-189.

14. Drozd V.A., Kiku P.F., Ananyev V.Yu., Zhigaev D.S., Lisitskaya I.G., Olesik S.M., Chaika V.V., Golokhvast K.S. Dust storms and microscopic air pollution. In: Ecological and biological well-being of flora

and fauna. Proceedings of the international scientific and practical conference. 2017. pp.104-106.

15. Khilchenko N.V., Stefanenko V.T. Diagnostics of atmospheric air pollution for the formation of environmental policy. Ecology of industrial production. 2018. No. 1 (101). pp.75-79.

16. Gasaynieva A.G., Gasaynieva M.G. On air pollution with fine dust and its impact on human health. Engineering Bulletin of the Don. 2017. No. 4 (47). P. 173.

Информация об авторах

Л.Р. Шугаипова – зам.декана, преподаватель;

А.С. Ушаридзе – студент.

Information about the authors

L.R. Shugaipova – Deputy Dean, Teacher;

A.S. Usharidze – Student.

Статья поступила в редакцию 25.05.2025; принята к публикации 28.08.2025.

The article was submitted 25.05.2025; accepted for publication 28.08.2025.

ОБРАЗОВАНИЕ И ПЕДАГОГИЧЕСКИЕ НАУКИ

Научная статья

УДК 372.891

DOI 10.21510/3034-266X-2025-3-23-30

ОРГАНИЗАЦИЯ ВНЕУРОЧНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ПО ГЕОГРАФИИ СРЕДИ УЧАЩИХСЯ 5-Х - 8-Х КЛАССОВ: ВОЗМОЖНОСТИ И ПРОБЛЕМЫ

Линара Равильевна Шугаипова¹, Алина Маратовна Мирсаева²

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

¹lika4.husainova@yandex.ru

² dzinbober@gmail.com

Аннотация. Сегодня особое внимание уделяется вопросам интеграции дополнительного образования в основную программу, что предполагает активное вовлечение учащихся в разнообразные виды образовательной деятельности помимо классных уроков. Согласно отчету Минпросвещения России, около 80% российских средних школ активно внедряют элементы внеурочной деятельности, обеспечивая дополнительную возможность углубленного изучения предмета и самореализации ученика.

Ключевые слова: дополнительное образование, внеурочная деятельность, географическое образование, проектная деятельность

Для цитирования: Шугаипова Л.Р., Мирсаева А.М. Организация внеурочной деятельности по географии среди учащихся 5-х – 8-х классов: возможности и проблемы // Вестник Башкирского государственного педагогического университета им. М.Акмуллы. Серия: Естественные науки. 2025. С. 23-30.

EDUCATION AND PEDAGOGICAL SCIENCES

Original article

ORGANIZATION OF EXTRACURRICULAR ACTIVITIES IN GEOGRAPHY AMONG 5TH- 8TH GRADE STUDENTS: OPPORTUNITIES AND CHALLENGES

Linara R. Shugaipova¹, Alina M. Mirsaeva²

*^{1,2} Bashkir State Pedagogical University named after M. Akmulla,
Ufa, Russia*

¹lika4.husainova@yandex.ru

²dzinbober@gmail.com

Abstract. Today, special attention is being paid to the integration of additional education into the core curriculum, which implies the active involvement of students in various types of educational activities in addition to classroom lessons. According to a report by the Ministry of Education and Science of Russia, about 80% of Russian secondary schools actively introduce elements of extracurricular activities, providing additional opportunities for in-depth study of the subject and student self-realization.

Keywords: Additional education, extracurricular activities, geographical education, project activities

For citation: Shugaipova L.R., Mirsaeva A.M. Organization of extracurricular Activities in Geography among 5th-8th Grade Students: Opportunities and Challenges // Bulletin of the Bashkir State Pedagogical University named after M.Akmulla. Series: Natural Sciences. 2025. No3. pp.23-30.

География играет ключевую роль в развитии личности ребенка, формируя основы мировоззрения, экологическое сознание и представление о многообразии природы и общества. Важно отметить, что изучение географии в раннем школьном возрасте помогает развивать познавательные интересы и творческие способности учащихся.

Среди наиболее популярных форм внеурочных занятий по географии выделяют:

- Проектную деятельность;
- Туристско-краеведческие экспедиции;
- Игровые занятия («Географический квест», викторины);
- Исследовательские экскурсии;
- Тематические кружки.

Исследование основывалось на анализе государственных документов, научных публикаций и опросах педагогических коллективов и самих учащихся. Использовались материалы Всероссийского конкурса проектов, проведенного среди образовательных учреждений страны, а также аналитические отчеты региональных департаментов образования [1, 2, 5].

Анализируя показатели участия школьников в проектах, посвящённых географии, выявлено следующее распределение форм внеурочной деятельности среди учащихся 5–8 классов:

- Участие в экспедициях и полевых практиках – 45%;
- Проведение тематических мероприятий (викторины, игры, конкурсы) – 30%;

- Самостоятельные исследования (проектная деятельность, презентации, доклады) – 20%;

- Онлайн-квесты и цифровые путешествия – 5%.

Интерес вызывает тот факт, что почти половина респондентов отметила важность участия в выездных мероприятиях, позволяющих непосредственно познакомиться с природой родного края и изучить её особенности. Особенно востребованы краеведческие экспедиции и эколого-туристические практики.

Значительное место занимают игровые формы внеурочной деятельности, привлекающие более трети учащихся. Подобные мероприятия способствуют развитию коммуникативных навыков, формируют лидерство и инициативу, помогают укрепить коллектив [4,8].

Около одной пятой учащихся предпочитают заниматься проектной деятельностью, поскольку она позволяет проявить креативность и независимость мышления. Учащиеся отмечают ценность собственных исследований, презентаций и докладов, которые позволяют глубже погрузиться в изучение вопросов и продемонстрировать личные успехи.

Наконец, небольшая доля учащихся выбирает цифровые ресурсы для погружения в мир географии. Несмотря на низкий процент (около 5%), этот вид деятельности набирает популярность благодаря удобству дистанционного формата и доступности информационных ресурсов [6,9,11].

Несмотря на положительные тенденции, существует ряд проблем, препятствующих активизации внеурочной деятельности по географии:

- Недостаточная материально-техническая база школ;
- Отсутствие квалифицированных кадров;
- Ограниченность финансирования [5,12].

Выводы и рекомендации. Проведённое исследование выявило высокие показатели вовлеченности учащихся в процессы внеурочной деятельности по географии. Современные школьники проявляют большой интерес к активным видам внеурочной деятельности, таким как экспедиции и полевые исследования, что подчеркивает необходимость улучшения материальной базы образовательных учреждений и расширения возможностей посещения интересных мест.

Вместе с тем большое внимание заслуживает внедрение игровых методик и цифровой платформы, обеспечивающих дополнительный стимул для саморазвития учащихся. Такие формы деятельности стимулируют интерес к науке и повышают качество подготовки молодежи [3].

Необходимо продолжать разработку инновационных подходов к обучению географии и поддерживать стремление школьников к

самостоятельному исследованию, творчеству и участию в научной и общественной жизни. Только комплексное сочетание урочной и внеурочной деятельности способно обеспечить эффективную реализацию идей устойчивого развития и воспитать поколение экологически грамотных и социально активных граждан.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Макиенко Ю.А. Проектирование программы внеурочной деятельности по географии "Я познаю мир географии" для обучающихся 5-6 классов. Моя профессиональная карьера. 2020. Т. 1. № 13. С. 88-97.

2. Алексеева М.Ю. Проектная деятельность на уроке и во внеурочной деятельности по географии. В сборнике: Современное географическое образование: проблемы и перспективы развития. Материалы Всероссийской научно-практической конференции. Научный редактор Е.А.Таможняя. 2019. С. 106-109.

3. Алексеева М.Ю. Проектная деятельность на уроке и во внеурочной деятельности по географии. В сборнике: Современное географическое образование: проблемы и перспективы развития. Материалы Всероссийской научно-практической конференции. Научный редактор Е.А.Таможняя. 2019. С. 106-109.

4. Кырнац О.А. Организация работы туристско-краеведческого кружка во внеурочной деятельности по географии. В сборнике: Воспитательный потенциал урочной и внеурочной деятельности в системе естественно-научного и географического образования (Серия "Федеральные государственные образовательные стандарты"). 50-я областная научно-практическая конференция учителей географии, биологии и химии. Сборник материалов. Киров, 2023. С. 171-172.

5. Григорович М.А. Применение педагогики Монтессори во внеурочной деятельности по географии. Вестник Тверского государственного университета. Серия: География и геоэкология. 2019. № 4 (28). С. 100-107.

6. Лещева О.П. Особенности организации внеурочной деятельности по географии. В сборнике: Географические науки и образование. Материалы X Всероссийской научно-практической конференции. 2017. С. 51-52.

7. Картакаева Г.А. Внеурочная деятельность по географии. В сборнике: Современное географическое образование: проблемы и перспективы развития. материалы IV Всероссийской научно-практической конференции. Москва, 2020. С. 173-176.

8. Проскурина Н.В., Чертова Ю.В. Школьная экскурсия "Путешествие в исторический город Павловск" как форма внеурочной деятельности по географии. В сборнике: Методические вопросы и инновационные технологии в преподавании географии, туризма и

естественно-научных дисциплин в вузе и школе. Материалы V Всероссийской научно-практической конф. Воронеж, 2024. С. 211-216.

9. Рузанова Ю.В., Беляева Т.К., Пухова А.Г. Воспитательный потенциал внеурочной деятельности по географии для формирования экологической культуры школьников. Проблемы современного педагогического образования. 2019. № 65-3. С. 135-138.

10. Строчкова О.Н. Организация внеурочной деятельности по географии и экологии на базе пришкольного участка. В сборнике: Педагогическая тетрадь. Сборник статей и методических разработок учителей географии Московской области. Составители Ю.М. Гришаева, Н.С. Евстафьева. Москва, 2018. С. 94-98.

11. Рябов В.А., Егорова Н.Т., Митрохина О.В. Сотрудничество как средство взаимодействия университета и школы во внеурочной деятельности по географии. Международный научно-исследовательский журнал. 2024. № 3 (141).

12. Шевченко И.А., Лощилова А.А., Бикмаева А.В. Образовательная практика формирования экологической ответственности у обучающихся во внеурочной деятельности по географии России. Современные проблемы науки и образования. 2019. № 1. С. 110.

13. Трикула Л.Н., Нечаева А.И. Формирование когнитивного компонента гражданско-патриотической компетентности обучающихся во внеурочной деятельности по географии. Перспективы науки. 2019. № 11 (122). С. 149-151.

14. Булгакова А.О. Внеурочная деятельность по географии как способ формирования духовно-нравственных ценностей у обучающихся. В сборнике: Современное географическое образование: проблемы и перспективы развития. Материалы VIII всероссийской научно-практической конференции. Москва, 2024. С. 257-261.

15. Есипова Т.В., Чернядьева С.В. Внеурочная деятельность по географии как средство развития познавательной активности в условиях дистанционного обучения. В сборнике: Педагогическое призвание. сборник статей Международного научно-методического конкурса: в 2 частях. МЦНП «Новая наука». 2019. С. 587-582.

16. Морозова О.А. Реализация воспитательного потенциала в процессе интеграции урочной и внеурочной деятельности по географии. В сборнике: Воспитательный потенциал урочной и внеурочной деятельности в системе естественно-научного и географического образования (Серия "Федеральные государственные образовательные стандарты"). 50-я областная научно-практическая конференция учителей географии, биологии и химии. Сборник материалов. Киров, 2023. С. 178-180.

17. Глазкова А.В. Разработка и апробация экспериментальной программы с новыми формами внеурочной деятельности по географии.

В сборнике: Современные тенденции в науке, технике, образовании. Сборник научных трудов по материалам X Международной научно-практической конференции. Смоленск, 2020. С. 25-29.

18. Кашникова П.С., Степанова Е.С. Особенности применения проектного метода во внеурочной деятельности по географии. Профессиональная ориентация. 2023. № 3-1. С. 119-122.

REFERENCE

1. Makienko Yu.A. Designing a program of extracurricular activities in geography "I am learning about the world of geography" for students in grades 5-6. My professional career. 2020. Vol. 1. No. 13. Pp.88-97.

2. Alekseeva M.Yu. Project activities in the lesson and in extracurricular activities in geography. In the collection: Modern geographical education: problems and development prospects. Proceedings of the All-Russian scientific and practical conference. Scientific editor E.A.Tamozhnyaya. 2019. pp. 106-109.

3. Alekseeva M.Yu. Project activities in the lesson and in extracurricular activities in geography. In the collection: Modern geographical education: problems and development prospects. Proceedings of the All-Russian scientific and practical conference. Scientific editor E.A.Tamozhnyaya. 2019. pp.106-109.

4. Kyrnats O. A. Organization of work of tourist and local history circle in extracurricular activities in geography. In the collection: Educational potential of class and extracurricular activities in the system of natural science and geographical education (Series "Federal state educational standards"). 50th regional scientific and practical conference of teachers of geography, biology and chemistry. Collection of materials. Kirov, 2023. pp.171-172.

5. Grigorovich M.A. Application of Montessori pedagogy in extracurricular activities in geography. Bulletin of Tver State University. Series: Geography and geoecology. 2019. No. 4 (28). P. 100-107.

6. Leshcheva O.P. Features of the organization of extracurricular activities in geography. In the collection: Geographical sciences and education. Proceedings of the X All-Russian scientific and practical conference. 2017. pp.51-52.

7. Kartakaeva G.A. Extracurricular activities in geography. In the collection: Modern geographical education: problems and development prospects. Proceedings of the IV All-Russian scientific and practical conference. Moscow, 2020. pp. 173-176.

8. Proskurina N.V., Chertova Yu.V. School excursion "Journey to the historical city of Pavlovsk" as a form of extracurricular activities in geography. In the collection: Methodological issues and innovative technologies in teaching geography, tourism and natural sciences in

universities and schools. Proceedings of the V All-Russian scientific and practical conference. Voronezh, 2024. pp.211-216.

9. Ruzanova Yu.V., Belyaeva T.K., Pukhova A.G. Educational potential of extracurricular activities in geography for the formation of environmental culture of schoolchildren. Problems of modern pedagogical education. 2019. No. 65-3. pp.135-138.

10. Strochkova O. N. Organization of extracurricular activities in geography and ecology on the basis of a school site. In the collection: Pedagogical notebook. Collection of articles and methodological developments of geography teachers of the Moscow region. Compiled by Yu. M. Grishaeva, N. S. Evstafieva. Moscow, 2018. pp.94-98.

11. Ryabov V. A., Egorova N. T., Mitrokhina O. V. Cooperation as a means of interaction between the university and the school in extracurricular activities in geography. International research journal. 2024. No. 3 (141).

12. Shevchenko I.A., Loshilova A.A., Bikmaeva A.V. Educational practice of forming environmental responsibility in students in extracurricular activities on the geography of Russia. Modern problems of science and education. 2019. No. 1. pp.110.

13. Trikola L.N., Nechaeva A.I. Formation of the cognitive component of civic-patriotic competence of students in extracurricular activities on geography. Prospects of science. 2019. No. 11 (122). pp.149-151.

14. Bulgakova A.O. Extracurricular activities on geography as a way of forming spiritual and moral values in students. In the collection: Modern geographical education: problems and development prospects. Proceedings of the VIII All-Russian scientific and practical conference. Moscow, 2024. pp.257-261.

15. Esipova T.V., Chernyadyeva S.V. Extracurricular activities in geography as a means of developing cognitive activity in the context of distance learning. In the collection: Pedagogical vocation. Collection of articles of the International scientific and methodological competition: in 2 parts. MCNP "New Science". 2019. pp. 587-582.

16. Morozova O.A. Realization of educational potential in the process of integrating classroom and extracurricular activities in geography. In the collection: Educational potential of classroom and extracurricular activities in the system of natural science and geographical education (Series "Federal state educational standards"). 50th regional scientific and practical conference of teachers of geography, biology and chemistry. Collection of materials. Kirov, 2023. pp. 178-180.

17. Glazkova A.V. Development and testing of an experimental program with new forms of extracurricular activities in geography. In the collection: Modern trends in science, technology, education. collection of scientific papers based on the materials of the X International scientific and practical conference. Smolensk, 2020. pp. 25-29.

18. Kashnikova P.S., Stepanova E.S. Features of the application of the project method in extracurricular activities in geography. Career guidance. 2023. No 3-1. pp. 119-122.

Информация об авторах

Л.Р. Шугаипова – зам. декана, преподаватель;

А.М. Мирсаева – студент.

Information about the authors

L.R. Shugaipova – Deputy Dean, Teacher;

A.M. Mirsaeva – Student.

Статья поступила в редакцию 30.05.2025; принята к публикации 28.08.2025.

The article was submitted 30.05.2025; accepted for publication 28.08.2025.

ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ФИЗИКА

Научная статья

УДК 537.611.2

DOI 10.21510/3034-266X-2025-3-31-38

Игорь Павлович Попов

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

ДВА ВЫВОДА ФОРМУЛЫ ДЛЯ КВАНТА МАГНИТНОГО ПОТОКА, ОБУСЛОВЛЕННОГО СПИНОМ ЭЛЕКТРОНА

Аннотация. Отмечено, что спиновый магнитный поток электрона, являясь основой собственного магнитного поля ферромагнетиков, до сих пор не установлен. Считается, что квант магнитного потока создается исключительно куперовскими парами, что он вдвое меньше кванта Φ . Лондона и со спинами электронов не связан. Цель исследования: установление спинового магнитного потока электрона. При этом, проблема заключается в том, что общепринятая концепция спина электрона не позволяет его вычислить, что связано с неопределенностью структуры электрона. Задача работы состоит в принятии дополнительных временных (рабочих) допущений.

Ключевые слова: электрон, куперовская пара, квант кинетического момента, квант магнитного потока, квант Φ . Лондона, спин, суперпозиция, квазиквант

Для цитирования: Попов И.П. Два вывода формулы для кванта магнитного потока, обусловленного спином электрона // Вестник Башкирского государственного педагогического университета им. М. Акмуллы. Серия: Естественные науки. 2025. №3. С. 31-38.

Original article

THEORETICAL PHYSICS

TWO DERIVATIVES OF THE FORMULA FOR THE QUANTUM OF MAGNETIC FLUX CAUSED BY THE SPIN OF AN ELECTRON

Igor P. Popov

*Kurgan State University, Kurgan, Russia
uralakademia@kurganstalmost.ru*

Abstract. It is noted that the spin magnetic flux of an electron, being the basis of the proper magnetic field of ferromagnets, has not yet been established. It is believed that the quantum of magnetic flux is created exclusively by Cooper pairs, that it is half the quantum of F. London and is not associated with the spins of electrons. The purpose of the study is to establish the spin magnetic flux of an electron. The problem here is that the generally accepted concept of electron spin does not allow it to be calculated, which is due to the uncertainty of the electron structure. The task of the work, therefore, is to accept additional temporary (working) assumptions.

Keywords: electron, Cooper pair, quantum of kinetic momentum, quantum of magnetic flux, quantum of F. London, spin, superposition, quasi-quantum

For citing: Popov I.P Two derivatives of the formula for the quantum of magnetic flux caused by the spin of an electron // Bulletin of the Bashkir State Pedagogical University named after M. Akmulla. Series: Natural Sciences. 2025. No. 3. pp.31-38.

Введение

В 1948 году Ф. Лондон вычислил квант магнитного потока от электрического тока, созданного одним электроном. Ключевым условием вычисления явилось приписывание электрону кванта кинетического момента $\hbar$. В 1956 году Л. Купер описал двухчастичные системы коррелированных электронов (куперовские пары), возникающие в проводниках вследствие электрон-фононного взаимодействия [1]. Приписывание двухчастичной системе кванта кинетического момента $\hbar$ [2] приводит к уменьшению вычисляемого значения кванта магнитного потока вдвое. Ни Ф. Лондон, ни Л. Купер в своих расчетах не учитывали магнитные потоки, обусловленные спинами электронов. В 1961 году Б.С. Дивер и У.М. Фэрбэнк и независимо Р. Долл и М. Небауэр измерили квант магнитного потока. Результат оказался вдвое меньше кванта Ф. Лондона. С тех пор считается, что квант магнитного потока создается исключительно куперовскими парами и что он вдвое меньше кванта Ф. Лондона.

Цель исследования заключается в установлении спинового магнитного потока электрона.

Актуальность работы определяется тем, что спиновый магнитный поток электрона, являясь основой собственного магнитного поля ферромагнетиков, до сих пор не установлен. Проблема при этом заключается в том, что общепринятая концепция спина электрона не позволяет его вычислить. Поэтому возникает необходимость принятия дополнительных временных (рабочих) допущений.

Первый вывод формулы для кванта магнитного потока, обусловленного спином электрона

Геометрическая форма электрона неизвестна. Однако считается, что это не шар и не сфера. Это следует из формулы его классического радиуса

$$r_e = \frac{\mu_0 e^2}{4\pi m_e}.$$

Здесь μ_0 – постоянная магнитная, e – заряд электрона, m_e – масса электрона.

В случае шара формула имела бы вид:

$$r_e = \frac{3}{5} \frac{\mu_0 e^2}{4\pi m_e}.$$

В случае сферы формула имела бы вид:

$$r_e = \frac{1}{2} \frac{\mu_0 e^2}{4\pi m_e}.$$

Полная неопределенность формы электрона позволяет непротиворечиво представить его спин в виде момента импульса, образованного материальной точкой с массой электрона, обращающейся по окружности неопределенного радиуса (сколь угодно малого, причем, его величина значения не имеет; предложенное допущение не рассматривается в качестве конкурирующего по отношению к известным описаниям спина электрона, например, в работах Белинфанте или [3]). Этот подход может иметь недостатки, но он имеет и существенное достоинство в виде возможности использовать готовую формулу для магнитного потока, созданного «током» одного электрона, полученную в [4] по схеме:

$$\begin{aligned} E &= \frac{I\Phi}{2}, \\ I &= \frac{e}{T}, \\ T &= \frac{2\pi R}{v}, \\ E &= \frac{m_e v^2}{2}, \\ \Phi &= \frac{2\pi R m_e v}{e}. \end{aligned}$$

Окончательно

$$\Phi = \frac{2\pi R p}{e}. \quad (1)$$

Здесь E – энергия, I – ток электрона, T – период обращения электрона, R – радиус лабораторной трубки (в опытах Б.С. Дивера,

У.М. Фэрбэнк, Р. Долла и М. Небауэра), v – линейная скорость единичного электрона, p – импульс единичного электрона [5].

Спин электрона равен

$$L_{es} = \frac{\sqrt{3}}{2} \hbar. \quad (2)$$

С учетом (1) квант магнитного потока, обусловленного спином электрона, равен

$$\Phi_{es} = \frac{2\pi R p}{e} = \frac{2\pi L_{es}}{e} = \frac{2\pi}{e} \frac{\sqrt{3}}{2} \hbar.$$

Окончательно

$$\Phi_{es} = \frac{\sqrt{3}}{2} \frac{h}{e}. \quad (3)$$

Замечание 1. Классический радиус (r_e) в выкладках статьи не используется и поэтому на результаты не влияет. Упомянут исключительно для иллюстрации неопределенности формы электрона.

Замечание 2. Выбирать R для формулы (1) не приходится. В полученную формулу (3) для спинового кванта магнитного потока радиус не входит («растворился» в спине). Поэтому его величина значения не имеет. По крайней мере, вполне можно считать, что он достаточно большой, чтобы не развивалась чрезмерная энергия.

Экспериментальная верификация спинового кванта магнитного потока

Круговой ток в лабораторной трубке, образованный одним электроном, создает магнитный поток

$$\Phi_L = \frac{2\pi\hbar}{e} = \frac{h}{e}. \quad (4)$$

Это формула Ф.Лондона [6, 7].

Спин электрона может иметь лишь две проекции на направление магнитного поля потока (4), а именно:

$$L_{esB} = \pm \frac{\hbar}{2}.$$

В силу закона сохранения момента импульса спин противоположен орбитальному моменту. Поэтому

$$L_{esB} = -\frac{\hbar}{2}.$$

Следовательно, магнитный поток, обусловленный спином электрона, вычитается из потока (4) (его проекция).

Таким образом, в 1961 г. Б.С. Дивер, У.М. Фэрбэнк, Р. Долл и М. Небауэр измерили орбитальный квант магнитного потока ОДНОГО электрона за вычетом проекции спинового кванта магнитного потока (через торцевые поверхности их лабораторных трубок)

$$\frac{h}{e} - \frac{h}{2e} = \frac{h}{2e}. \quad (5)$$

Это квазиквант, а не квант от куперовской пары

$$\Phi_0 = \frac{h}{2e}. \quad (6)$$

Совпадение измеренного значения (5) с (6) является совершенно случайным.

Однако это совпадение является надежной экспериментальной верификацией формул (1), (3)–(5) и принятого допущения о спине электрона.

Второй вывод формулы для кванта магнитного потока, обусловленного спином электрона

И квант магнитного потока Ф.Лондона (4), и квант от куперовской пары (6) представимы в виде

$$\Phi_q = \frac{h}{q} = \frac{2\pi\hbar}{q},$$

Окончательно

$$\Phi_q = \frac{2\pi}{q} L_q,$$

где q – заряд, L_q – квант кинетического момента.

Подстановка в эту формулу заряда электрона и его кинетического момента (спина) (2) непосредственно дает

$$\Phi_{es} = \frac{2\pi}{q} L_q = \frac{2\pi}{e} \frac{\sqrt{3}}{2} \hbar.$$

Окончательно

$$\Phi_{es} = \frac{\sqrt{3}}{2} \frac{h}{e}.$$

Совпадает с (3), что также является надежной верификацией формул (1), (3)–(5) и принятого допущения о спине электрона.

Заключение

В [8-11] подробно показано, что приписывание куперовской паре электронов кванта $\hbar$ кинетического момента является неприемлемым. Поэтому в такой же степени неприемлемой является связанная с этим формула для кванта магнитного потока от куперовской пары (6) [12-15].

В действительности существуют квант Ф.Лондона (4), квант магнитного потока (3), обусловленный спином электрона, и их суперпозиция (5) (квазиквант).

Его (квазиквант) и измерили в 1961 г.

Спиновый магнитный поток электрона равен

$$\Phi_{es} = \frac{\sqrt{3} h}{2 e}.$$

Именно он является основой собственного магнитного поля ферромагнетиков. При этом принятые в работе допущения о спине электрона не отразились на окончательном результате и поэтому могут считаться временными (рабочими) и не противопоставляться общепринятой концепции спина.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Павлов В.Д. О моменте импульса куперовской пары электронов и кванте магнитного потока // Прикладная физика и математика. – 2024. – № 4. – С. 12-16. DOI: 10.25791/pfi m.04.2024.1301
2. Попов И.П. Сведение постоянной Планка к классическим фундаментальным константам // Вестник Удмуртского университета. Физика и химия. – 2014. – Вып. 3. – С. 51–54.
3. Попов И.П. Размер электрона с учетом спина // Инженерная физика. – 2016. – № 9. – С. 45–46.
4. Попов И.П. Магнитные особенности проводников с различной проводимостью // Вестник Сибирского государственного индустриального университета. – 2025. – № 1(51). – С. 9–14. [http://doi.org/10.57070/2304-4497-2025-1\(51\)-9-14](http://doi.org/10.57070/2304-4497-2025-1(51)-9-14)
5. Попов И.П. Применение методов классической механики к электрическим зарядам // Труды МАИ. – 2021. – № 119. <http://mai.ru/DOI: 10.34759/trd-2021-119-01>
6. Павлов В.Д. Магнитный поток и его квантование // Известия Уфимского научного центра РАН. – 2020. – № 4. – С. 25–28. DOI: 10.31040/2222-8349-2020-0-4-25-28
7. Pavlov V.D. On the electronic quantum structures of conductors // Physics of Complex Systems. 2– 025. – V. 6 . – № 1. – P. 49–53. <https://www.doi.org/10.33910/2687-153X-2025-6-1-49-53>
8. Попов И.П. Двойные стандарты при описании атомов гелия и позитрония // Вестник Томского государственного университета. Химия. – 2024. – № 35. – С. 143-151. doi: 10.17223/24135542/35/11
9. Попов И.П. О размере атома позитрония в контексте задачи двух тел // Прикладная физика и математика. – 2024. – № 2. – С. 14–16. DOI: 10.25791/pfi m.02.2024.1291
10. Попов И.П. Вычисление размера позитрония // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Физико-математические науки. – 2024. – № 3. – С. 75–85. doi: 10.21685/2072-3040-2024-3-7

11. Павлов В.Д. О корректности размера позитрония // Вестник Томского государственного университета. Химия. – 2024. – № 33. – С. 24-32. doi: 10.17223/24135542/33/2
12. Павлов В.Д. Расчетный минимальный радиус позитрония // Инженерная физика. – 2024. – № 2. – С. 24-29. DOI: 10.25791/infizik.2.2024.1385.
13. Павлов В.Д. Противоречия математических моделей атомов гелия и позитрония // Инженерная физика. – 2024. – № 9. – С. 45-48. DOI: 10.25791/infizik.9.2024.1426
14. Попов И.П. Определение уточненного размера позитрония // Известия Уфимского научного центра РАН. 2– 025. – № 1. – С. 12–16. DOI: 10.31040/2222-8349-2025-0-1-12-16
15. Popov I.P. Seven Singular Points in Quantum Mechanics // Technical Physics. – 2024. – V. 69. – № 8. – P. 2406-2408. DOI: 10.1134/s1063784224700427

REFERENCES

1. Pavlov V.D. О моменте импульса куперовской пары электронов и кванте магнитного потока [On the angular momentum of a Cooper pair of electrons and the quantum of magnetic flux] / V.D. Pavlov // Prikladnaya fizika i matematika. 2024. № 4. S. 12-16. DOI: 10.25791/pfizm.04.2024.1301
2. Popov I.P. Svedeniye postoyannoy Planka k klassicheskim fundamental'nym konstantam [Reduction of Planck's constant to classical fundamental constants] / I.P. Popov // Vestnik Udmurtskogo universiteta. Fizika i khimiya. 2014. Вып. 3. S. 51–54.
3. Popov I.P. Razmer elektrona s uchetom spina [The size of an electron taking into account the spin] / I.P. Popov // Inzhenernaya fizika. 2016. № 9. S. 45–46.
4. Popov I.P. Magnitnyye osobennosti provodnikov s razlichnoy provodimost'yu [Magnetic properties of conductors with different conductivity] / I.P. Popov // Vestnik Sibirskogo gosudarstvennogo industrial'nogo universiteta. 2025. № 1(51). S. 9–14. [http://doi.org/10.57070/2304-4497-2025-1\(51\)-9-14](http://doi.org/10.57070/2304-4497-2025-1(51)-9-14)
5. Popov I. P. Primeneniye metodov klassicheskoy mekhaniki k elektricheskim zaryadam [Application of classical mechanics methods to electric charges] / I.P. Popov // Trudy MAI. 2021. №119. <http://mai.ru/> DOI: 10.34759/trd-2021-119-01
6. Pavlov V.D. Magnitnyy potok i yego kvantovaniye [Magnetic flux and its quantization] / V.D. Pavlov // Izvestiya Ufimskogo nauchnogo tsentra RAN. 2020. № 4. S. 25–28. DOI: 10.31040/2222-8349-2020-0-4-25-28

7. Pavlov V.D. On the electronic quantum structures of conductors / V.D. Pavlov // Physics of Complex Systems. 2025. V. 6 . № 1. P. 49–53. <https://www.doi.org/10.33910/2687-153X-2025-6-1-49-53>
8. Popov I.P. Dvoynnye standarty pri opisani atomov geliya i pozitroniya [Double standards in the description of helium and positronium atoms] / I.P. Popov // Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo universiteta. Khimiya. 2024. № 35. S. 143-151. doi: 10.17223/24135542/35/11
9. Popov I.P. O razmere atoma pozitroniya v kontekste zadachi dvukh tel [On the size of the positronium atom in the context of the two-body problem] / I.P. Popov // Prikladnaya fizika i matematika. 2024. № 2. S. 14–16. DOI: 10.25791/pfi m.02.2024.1291
10. Popov I. P. Vychisleniye razmera pozitroniya [Calculation of the size of positronium] / I.P. Popov // Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Povolzhskiy region. Fiziko-matematicheskiye nauki. 2024. № 3. S. 75–85. doi: 10.21685/2072-3040-2024-3-7
11. Pavlov V.D. O korrektnosti razmera pozitroniya [On the correctness of the size of positronium] / V.D. Pavlov // Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo universiteta. Khimiya. 2024. № 33. S. 24-32. doi: 10.17223/24135542/33/2
12. Pavlov V.D. Raschetnyy minimal'nyy radius pozitroniya [Calculated minimum radius of positronium] / V.D. Pavlov // Inzhenernaya fizika. 2024. № 2. S. 24-29. DOI: 10.25791/infi zik.2.2024.1385
13. Pavlov V.D. Protivorechiya matematicheskikh modeley atomov geliya i pozitroniya [Contradictions of mathematical models of helium and positronium atoms] / V.D. Pavlov // Inzhenernaya fizika. 2024. № 9. S. 45-48. DOI: 10.25791/infi zik.9.2024.1426
14. Popov I.P. Opredeleniye utochnennogo razmera pozitroniya [Determination of the refined size of positronium] / I.P. Popov // Izvestiya Ufimskogo nauchnogo tsentra RAN. 2025. № 1. S. 12–16. DOI: 10.31040/2222-8349-2025-0-1-12-16
15. Popov I.P. Seven Singular Points in Quantum Mechanics / I.P. Popov // Technical Physics. 2024. V. 69. № 8. P. 2406-2408. DOI: 10.1134/s1063784224700427

Информация об авторе

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

Information about the author

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

Статья поступила в редакцию 03.06.2025; принята к публикации 16.09.2025.

The article was submitted 03.06.2025; accepted for publication 16.09.2025.

ХИМИЧЕСКИЕ НАУКИ

Научная статья

УДК 547.541.3

DOI 10.21510/3034-266X-2025-3-39-55

Вагиф Магеррам оглы Аббасов¹, Рена Ахад гызы Асадова²

^{1,2}*Институт нефтехимических процессов Министерства науки
и образования Азербайджана, Баку, Азербайджан,
r.asadova88@mail.ru*

ФИТОРЕГУЛЯТОРЫ РОСТА РАСТЕНИЙ НА ОСНОВЕ НАТРИЕВЫХ И КАЛИЕВЫХ СОЛЕЙ ОРГАНИЧЕСКИХ КИСЛОТ

Аннотация. Натриевые и калиевые соли органических и неорганических кислот уже в течение многих лет используются в качестве регуляторов роста растений в сельскохозяйственной практике. В последние годы особенный практический интерес вызывают щелочные соли органических кислот. Уже стало доказанным фактом, что калий не только является компонентом структуры растения, но и выполняет регуляторную функцию в нескольких биохимических процессах, связанных с синтезом белка, метаболизмом углеводов и активацией ферментов. Несколько физиологических процессов зависят от калия, в частности, регуляция устьиц и фотосинтез. В последние десятилетия было обнаружено, что калий обеспечивает устойчивость к абиотическому стрессу. В условиях солевого стресса ионы калия помогают поддерживать ионный гомеостаз и регулировать осмотический баланс. В условиях засухи К регулирует открытие устьиц и помогает растениям адаптироваться к дефициту воды. Аналогичную функцию в организме растений выполняет и натрий. В этой связи калийные и натриевые соли органических кислот становятся потенциальными кандидатами на их применение в качестве фитостимуляторов. В представленной работе нами рассмотрены наиболее основные результаты исследований в области применения указанных щелочных солей в сельскохозяйственной практике, а также показаны результаты собственных исследований авторов статьи.

Ключевые слова: регуляторы роста растений, натриевые соли, органические кислоты, калиевые соли, фитогормоны, стимуляторы

Для цитирования: Аббасов В.М., Асадова Р.А. Фиторегуляторы роста растений на основе натриевых и калиевых солей органических кислот // Вестник Башкирского государственного

педагогического университета им. М.Акмиллы. Серия: Естественные науки. 2025. № 3. С. 39-55.

CHEMICAL SCIENCES

Original article

Vaqif Maharram Abbasov¹, Rena Ahad Asadova²

^{1,2,3,4}*Institute of Petrochemical Processes of the Ministry of Science and Education of Azerbaijan, Baku, Azerbaijan, r.asadova88@mail.ru*

PHYTOREGULATORS FOR PLANT GROWTH BASED ON SODIUM AND POTASSIUM SALTS OF ORGANIC ACIDS

Abstract. Sodium and potassium salts of organic and inorganic acids have been used as plant growth regulators in agriculture for many years. In recent years, alkaline salts of organic acids have attracted particular practical interest. It has long been established that potassium is not only a component of plant structure but also plays a regulatory role in several biochemical processes related to protein synthesis, carbohydrate metabolism, and enzyme activation. Several physiological processes depend on potassium, particularly stomatal regulation and photosynthesis. In recent decades, it has been discovered that potassium ensures resistance to abiotic stress. Under salt stress, potassium ions help maintain ionic homeostasis and regulate osmotic balance. Under drought conditions, potassium regulates stomatal opening and helps plants adapt to water deficit. Sodium also performs a similar function in plants. Therefore, potassium and sodium salts of organic acids are emerging as potential candidates for use as phytostimulants. In the presented work, we have examined the most basic results of research in the field of application of the specified alkaline salts in agricultural practice, and also shown the results of the authors' own research.

Keywords: plant growth regulators, sodium salts, organic acids, potassium salts, phytohormones, stimulants

For citing: Abbasov V.M., Asadova R.A. Phytoregulators for plant growth based on sodium and potassium salts of organic acids // Bulletin of Bashkir State Pedagogical University named after M. Akmulla. Series: Natural Sciences. 2025. №3. pp. 39-55.

Введение

Щелочные соли органических кислот (в большей степени, соли калия и натрия) часто используются в качестве фиторегуляторов в агрохимии [1-13]. Калий не только является компонентом структуры растения, но и выполняет регуляторную функцию в нескольких

биохимических процессах, связанных с синтезом белка, метаболизмом углеводов и активацией ферментов. Несколько физиологических процессов зависят от К, например, регуляция устьиц и фотосинтез. В последние десятилетия было обнаружено, что К обеспечивает устойчивость к абиотическому стрессу. В условиях солевого стресса К помогает поддерживать ионный гомеостаз и регулировать осмотический баланс. В условиях засухи К регулирует открытие устьиц и помогает растениям адаптироваться к дефициту воды. Многие отчеты подтверждают идею о том, что К усиливает антиоксидантную защиту растений и, следовательно, защищает их от окислительного стресса при различных неблагоприятных воздействиях окружающей среды. Кроме того, этот элемент обеспечивает некоторую клеточную сигнализацию отдельно или в сочетании с другими сигнальными молекулами и фитогормонами. Хотя был достигнут значительный прогресс в понимании устойчивости растений к абиотическому стрессу, вызванному К, точные молекулярные механизмы этой защиты все еще изучаются.

Хотя натрий (Na^+) не является необходимым для большинства растений, он может быть полезен для растений во многих условиях, особенно при дефиците калия (K^+). Как таковой его можно считать «несущественным» или «функциональным» питательным веществом. Напротив, многочисленные засоленные районы по всему миру заставляют растения бороться с токсичностью от высоких уровней Na^+ в окружающей среде и внутри тканей. Был достигнут прогресс в идентификации соответствующих мембранных переносчиков, участвующих в поглощении и распределении Na^+ . Последнее важно в контексте смягчения стресса от засоления, а также для оптимизации Na^+ как обильно доступного функционального питательного вещества. В обоих случаях растениям, вероятно, потребуются механизмы для контроля концентрации Na^+ , возможно, в нескольких отсеках, для регулирования экспрессии генов и транспортной активности.

Анализ результатов научных исследований

В последние годы в качестве регуляторов роста растений широкий интерес вызывают органические кислоты, и в частности, их натриевые и калиевые соли [14-26].

В этом направлении широкие исследования проводятся в Институте Нефтехимических процессов [27-38], а также работы иностранных специалистов [39-41].

Засоление почвы существенно затрудняет рост и развитие пшеницы, что в тяжелых случаях может привести к гибели растений, тем самым снижая урожайность и качество зерна [41]. Это явление представляет значительную угрозу продовольственной безопасности в Китае. Авторы работы исследовали влияние двух экзогенных регуляторов роста растений, салицилата натрия и фолцистеина, на

физиологию пшеницы и ключевые характеристики в условиях солевого стресса с использованием метода гидропоники. Результаты показали, что оба регулятора эффективно смягчали угнетение роста пшеницы в условиях солевого стресса. Авторы оценили морфологические и физиологические индексы, включая активность антиоксидантных ферментов (супероксиддисмутаза [СОД], каталаза [КАТ], пероксидаза [ПОД]) и концентрацию малонового диальдегида (МДА) в пшенице после внекорневой обработки салицилатом натрия и фолцистеином в условиях солевого стресса. Результаты показали, что салицилат натрия был более эффективен, чем фолцистеин. Однако фолцистеин показал превосходную эффективность в снижении содержания перекиси водорода (H_2O_2) и уровня супероксид-аниона (O_2^-) по сравнению с салицилатом натрия. Одновременное применение обоих регуляторов синергетически усиливало их эффективность, давая наиболее благоприятные результаты. Кроме того, в этом исследовании отмечено, что хотя начальные эффекты этих регуляторов не были выражены, их постоянное применение значительно улучшило рост пшеницы в стрессовых условиях и смягчило пагубные последствия солевого стресса.

Натриевая соль 3-индолилуксусной кислоты с молекулярной массой 197,2 г/моль, является важным регулятором роста растений, который вызывает деление и удлинение клеток, способствуя росту растений.

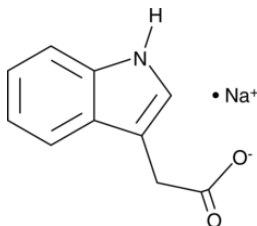


Рис. 1 Строение натриевой соли 3-индолилуксусной кислоты

Натриевая соль 1-нафталинацетата также является важным регулятором роста растений. Основная функция ацетата нафталина натрия заключается в содействии развитию основных корней растений, что широко используется в промывочном удобрении и внекорневой подкормке. Ацетат натрия а-нафталина является регулятором роста растений широкого спектра действия, играет роль эндогенных ауксиновых характеристик и физиологических функций, может способствовать образованию придаточных корней и корневых форм, ускорять укоренение черенков и семенных корней, может способствовать делению и расширению клеток, способствовать дифференциации почек и цветочных почек, ускорять синтез хлорофилла, способствовать расширению плодов для предотвращения опадения цветов и плодов, изменять соотношение мужских и женских

цветов и способствовать росту корней и листьев растений, повышать урожайность, улучшать качество, повышать устойчивость к засухе, холоду, устойчивость к болезням и другим факторам.

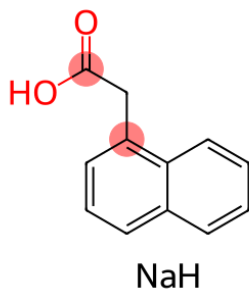


Рис. 2 Структура натриевой соли 1-нафталуксусной кислоты

5-нитрогваяколат натрия является стимулятором роста растений для использования на широком спектре пищевых и декоративных культур.

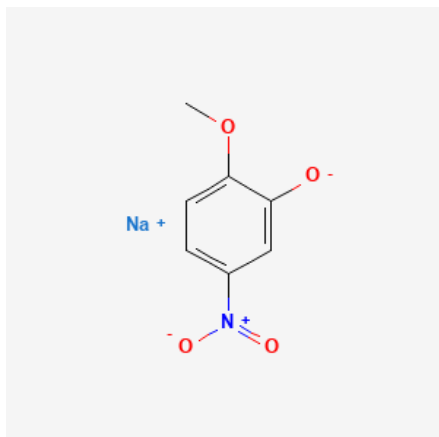


Рис. 3 Структура 5-нитрогваяколята натрия

Кедр сибирский является источником широкого спектра биологически активных веществ для использования в качестве биопестицидов и стимуляторов роста в органическом земледелии [42]. Методом газовой хроматографии/масс-спектрометрии определены десять компонентов, среди которых доля абиединовой кислоты достигла 54,8%. В ходе работы из живицы кедр сибирского получены водорастворимые калиевые соли терпеновых кислот. Калийные соли терпеновых кислот живицы кедр сибирского обладают бактериостатическими, фунгистатическими, бактерицидными и фунгицидными свойствами в отношении фитопатогенов. Выявлены сравнительно высокие показатели антиоксидантной активности водных растворов калийных солей живицы в концентрации 1 мг/мл. Предпосадочная обработка клубней водным раствором калийных солей терпеновых кислот живицы кедр сибирского в концентрации 10

г/л способствовала повышению урожайности картофеля. Также отмечено увеличение массовой доли сухого вещества и крахмала.

Засоление почвы растет во всем мире, серьезно влияя на рост растений и урожайность. Существующие отчеты о том, как калиевая соль индол-3-масляной кислоты (IBAK) регулирует адаптацию риса к солевому стрессу, влияя на метаболизм углерода риса, экспрессию генов фактора транскрипции (TF) и биосинтез вторичных метаболитов, все еще имеют ограничения [43]. В этом исследовании раствор IBAK в концентрации 40 мг/л распылялся на листья риса на стадии проростков. Результаты показали, что применение IBAK может способствовать росту побегов и корней, снижать содержание сахарозы и фруктозы, увеличивать содержание крахмала и усиливать активность кислой инвертазы (AI) и нейтральной инвертазы (NI) в условиях солевого стресса, что указывает на измененное распределение углерода. Кроме того, экспрессия генов TF, принадлежащих к семействам фактора, реагирующего на этилен (ERF), WRKY и основной спираль-петля-спираль (bHLH), находилась под влиянием IBAK. Многие ключевые гены (OsSSIc, OsSHM1 и OsPPDKB) и метаболиты (2-оксоглутаровая кислота, фумаровая кислота и янтарная кислота) были повышены в пути метаболизма углерода. Кроме того, это исследование подчеркнуло роль IBAK в регуляции пути биосинтеза вторичных метаболитов, потенциально способствуя адаптации риса к стрессу. Результаты этого исследования могут предоставить новые решения устойчивого развития для сельскохозяйственного производства.

Во многих ландшафтах, как природных, так и антропогенных, преобладают деградированные почвы с низкой доступностью фосфора из-за низкой общей концентрации фосфора или из-за связывания фосфора богатыми железом минералами [44]. Улучшает ли применение низкомолекулярных органических кислот доступность фосфора и рост растений в бедных фосфором почвах, и модулируется ли этот эффект эктомикоризными грибами? Авторы провели эксперименты с *Pinus pseudostrobus* и его эктомикоризой *Pisolithus arhizus* в дополнение к шести натриевым солям органических кислот. Натриевые соли цитрата, оксалата, ацетата, тартрата, сукцината и малата добавляли в почву в концентрациях 0, 4, 8, 16, 32 и 64 микромолярных. Соли органических кислот, в частности тартрат и малат, растворяли фосфор и улучшали рост растений через 12 месяцев в отсутствие *P. arhizus*. Когда растения были инокулированы *P. arhizus*, влияние большинства органических кислот было либо пагубным, либо незначительным. Однако цитрат, тартрат и сукцинат улучшили биомассу и морфологические параметры. Эти результаты показывают, что добавление соответствующих натриевых солей органических кислот в сильно деградированные почвы может помочь укоренению *P.*

pseudostrobis, и его преимущества выше, чем у ассоциации с микоризой для молодых растений на начальных стадиях колонизации грибов.

Описан метод «прямого роста» (общее увеличение длины обезглавленных coleoptiles Avena) для измерения эффективности веществ, стимулирующих рост некоторых злаковых растений [45]. Coleoptile является первым после семядоли листом злаков. В этой работе следующие синтетические вещества были протестированы в широком диапазоне концентраций этим методом, а также методом кривизны coleoptiles Avena: 3-индолуксусная кислота, 3-индолацетат калия, α -нафталинуксусная кислота и α -нафтилацетат калия. Из исследованных веществ наиболее эффективными были соединения индола. Ацетат 3-индола калия, наиболее активный из четырех, представленных в работе, в концентрации 1 часть на 20 000 увеличил общую длину тестируемых coleoptiles на 100 процентов в течение 24 часов. Оптимальные концентрации протестированных соединений оказались намного выше при тестировании прямым ростом, чем при тестировании односторонним ростом (метод кривизны Avena). Диапазон концентраций, в котором стимулировался рост (вплоть до оптимума), был намного шире при тестировании методом прямого роста. Уменьшение стимулирования роста при последовательно более высоких концентрациях, чем для оптимального роста, интерпретируется как указание на увеличение токсичности тестируемых веществ. Это не может быть продемонстрировано методом кривизны Avena по причинам, перечисленным в тексте. Разница в общей длине тестовых coleoptiles по сравнению с контрольными образцами является результатом удлинения клеток, а не их деления. Рост, вызванный этими химическими стимуляторами роста, интерпретируется как свидетельство их продольного движения. Учитывая распределение роста в зонах на разных уровнях в coleoptile (через 4 часа при оптимальной концентрации), ацетат калия α -нафтил равномерно распределился по всему coleoptile, в то время как α -нафтилуксусная кислота стимулировала рост в основном в верхних зонах и, предположительно, распространилась только через эти зоны. Соединения индола вызвали наибольшее увеличение роста в средней области coleoptile. Распределение веществ в coleoptile можно было определить с помощью тестов «восстановления» в пределах используемого метода. Тот факт, что стимулирующие рост вещества не могли быть обнаружены в нижних областях coleoptile, несмотря на то, что рост в этих областях стимулировался, предполагает, что метод «восстановления» не является хорошим показателем распределения этих соединений. Их продольное перемещение можно было бы легче показать с помощью вызванных ими усилений роста.

В патентных работах [46-48] описаны композиции, содержащие калиевые соли (S)-(+)-абсцизовой кислоты, поверхностно-активное вещество Atlox™ 4913 и стабилизаторы цвета цитрат натрия и ацетат натрия, способам их получения и способам их использования в качестве регулятора роста растений в сельском хозяйстве.

Дипрогуловая кислота (также известная как дикегулак) является предшественником, используемым в коммерческом производстве аскорбиновой кислоты [49]. В сельском хозяйстве ее натриевая соль, дикегулак натрия, используется в качестве регулятора роста растений, в основном как агент ветвления. Когда он поглощается растением, дикегулак натрия перемещается в его апикальные меристемы, где он ингибирует синтез ДНК. Это подавляет апикальное доминирование в растении и может стимулировать боковое ветвление, что приводит к более кустистому росту. Дикегулак натрия иногда используется для ингибирования плодоношения и цветения.

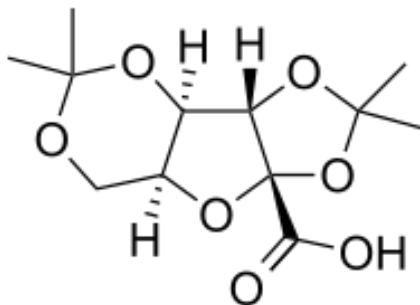


Рис. 4 Химическое строение дипрогуловой кислоты

Заключение

Таким образом, на основании полученных результатов можно сделать вывод о том, что композиции, приготовленные на основе ПНК и щелочных 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.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Chen J-H., Lin Y-H. Sodium chloride causes variation in organic acids and proteins in tomato root // African Journal of biotechnology / 2010. Vol. 9. N 48. P. 172-179.
2. Maathuis F.M. Sodium in plants: perception, signalling, and regulation of sodium fluxes // J. Exp. Botany. 2014. Vol. 65. N 3. P. 849-858
3. Zhang P., Yanyan D. Effects of Salinity Stress at Different Growth Stages on Tomato Growth, Yield and Water Use Efficiency. //

Communications in Soil Science and Plant Analysis. 2017. Vol. 48. N 6. pp.803-814

4. Hongqiao L., Suyama A., Mitani-Ueno N. A Low Level of NaCl Stimulates Plant Growth by Improving Carbon and Sulfur Assimilation in *Arabidopsis thaliana*. // *Plants*. 2021. Vol. 10. N 10. pp.2138-2142

5. Jekabsone A., Karlsons A., Osyalde A., Levinsh G. Effect of Na, K and Ca Salts on Growth, Physiological Performance, Ion Accumulation and Mineral Nutrition of *Mesembryanthemum crystallinum* // *Plants*. 2024. Vol. 13. N 2. pp.190-197

6. Matoh T., Watanabe J., Takahashi E. Effects of Sodium and Potassium Salts on the Growth of a Halophyte. // *Soil Science and Plant Nutrition*. 1986. Vol. 32. N 3. pp 451-459

7. Lianes A., Bertazza G., Palacio G., Luna V. Different sodium salts cause different solute accumulation in the halophyte *Prosopis strombulifera*. // *Plant Biol. (Stuttg.)*. 2013. N 1. pp.118-125

8. Hasanuzzaman M., Bhuyan M.B., Nahar K., Hossain Sh. Potassium: A Vital Regulator of Plant Responses and Tolerance to Abiotic Stresses. // *Agronomy*. 2018. Vol. 8. N 3. pp.31-37

9. Yang F., Mingwei D., Tian X., Eneji E. Plant growth regulation enhanced potassium uptake and use efficiency in cotton // *Field Crops Research*. 2014. Vol. 163. pp.109-118

10. Chen Y., Zhang Sh., Shanfeng D., Wang G. Effects of Exogenous (K⁺) Potassium Application on Plant Hormones in the Roots of *Tamarix ramosissima* under NaCl Stress. // *Genes (Basel)*. 2022. Vol. 13. N 10. pp.1803-1810

11. Ganchev D. Effect of inorganic chloride salts on wheat seeds germination. // *Knowledge – International Journal*. 2024. Vol. 65. N 3. pp.317-322

12. Traore M., Diarra S., Sissoko S., Oumar M. Determinism of some phytohormones and potassium nitrate on the vegetative growth of Tangelo (*Citrus x tangelo*) in the Sudano-Sahelian area of Mali. // *GSC Biological and Pharmaceutical Sciences*. 2023. Vol. 23. N 1. P. 160-167

13. Alehibi A., Abdel-Sattar M., Mostafa L., Hamad A. Synergistic Effects of Applying Potassium Nitrate Spray with Putrescine on Productivity and Fruit Quality of Mango Trees cv. Ewais. // *Agronomy*. 2023. Vol. 13. N 11. pp.2717-2722

14. Xuefei H., Wang D., Ren Sh., Feng Sh. Inhibition of root growth by alkaline salts due to disturbed ion transport and accumulation in *Leymus chinensis*. // *Environmental and Experimental Botany*. 2022. Vol. 200. P. 104907-104911

15. Sumalan R., Croitor L., Petric M., Radulov I. p-Aminobenzoate Organic Salts as Potential Plant Growth Regulators for Tomatoes. // *Molecules*. 2020. Vol. 25. N 7. pp.1635-1642

16. Sotoudeh E., Sangari M., Bagheri D., Morammazi S. Dietary organic acid salts mitigate plant protein induced inflammatory response and improve humoral immunity, antioxidative status and digestive enzyme activities in yellowfin seabream, *Acanthopagrus latus*. // *Aquaculture Nutrition*. 2020. Vol. 26. N 5. pp.1669-1680
17. Xiaoyu L., Chunsheng M., Jixiang L., Wang Y. Effect of alkaline potassium and sodium salts on growth, photosynthesis, ions absorption and stomatal synthesis of wheat seedlings. // *Experimental Agriculture*. 2013. Vol. 50. N 1. pp.12-17
18. Famiani F., Battistelli A., Moscatello S., Walker R. The organic acids that are accumulated in the flesh of fruits: occurrence, metabolism and factors affecting their contents – a review. // *Revista Chapingo Serie Horticultura*. 2015. Vol. 21. N 2. pp.97-128
19. El-Sayed Y.S., Hagab R. Effect of Organic Acids and Plant Growth Promoting Rhizobacteria (PGPR) on Biochemical Content and Productivity of Wheat under Saline Soil Conditions. // *Middle East Journal of Agricultural Research*. 2020. Vol. 9. N 2. P. 227-242
20. Yang Z., Zhou Sh., Ying Ch., Zhang W. Activation of potassium released from soil by root-secreted organic acids in different varieties of tobacco (*Nicotiana tabacum*). // *Funct. Plant Biol.* 2020. Vol. 47. N 4. pp.318-326
21. Cuvín-Aralar M.L., Luckstaedt C., Schroeder K., Kühlmann K.-J. Effect of dietary organic acid salts, potassium diformate and sodium diformate on the growth performance of male Nile tilapia *Oreochromis niloticus*. // *Bulletin of Fish Biology*. 2011. Vol. 13. N 1-2. pp.33-40.
22. Chen J., Shilong H., Zhang Z., Li J. Application of Organic Acid Salts as Feed Additives in Some Aquatic Organisms: Potassium Diformate. // *Fishes*. 2024. Vol. 9. N 3. P. 85-89
23. Karakan F., Kaymak H., Akan S., Ercisli S. Revealing the effects of amino acid, organic acid, and phytohormones on the germination of tomato seeds under salinity stress. // *Open Life Sci.* 2024. Vol. 19. N 1. pp.892-897
24. El-Karamany M., Sadak M., Bakry A. Synergistic Effect of Indole Acetic Acid and Gibberellic Acid on Mung Bean Grown under Sandy Soil Conditions. // *Journal of Applied Sciences*. 2019. Vol. 19. N 7. pp.718-724
25. Llanes A., Masciarelli O., Luna M.V. Differential growth responses to sodium salts involve different abscisic acid metabolism and transport in *Prosopis strombulifera*. // *Biologia Plantarum*. 2013. Vol. 58. N 1. pp.65-68
26. Behl R., Raschke K. Effects of abscisic acid on sequestration and exchange of Na(+) by barley roots. // *Planta*. 1986. Vol. 167. N 4. pp.563-568

27. Abbasov V.M., Ismayilov I.T., Asadova R.A., Allahverdiyev E.I., Nabiyeu R.J. Study of the effect of organic acids salts on the germination of tomato seeds and the formation of green biomass in seedlings. // PPOR. 2021. Vol. 22. N 1. pp.117-125

28. Abbasov V.M., Asadova R.A., Ismayilov T.A., Ismayilov I.T. Checking the physical-chemical properties of the solutions of complex compounds and salts of natural petroleum acids and the effect on the seeds of tobacco plant. // PPOR. 2019. Vol. 20. N 3. pp.212-222

29. Asadova R. A., Plant growth stimulants based on organic acids. // Proceedings of Azerbaijan high technical educational Institutions 2022. Vol. 24. N 4. pp.138-145

30. Асадова Р.А., Исмаилов И.Т., Алиева А.А. Получение стимуляторов роста растений на основе нефтяных кислот. // Известия ТулГУ. Серия Естественные науки. 2022. № 3. С. 3-17

31. Asadova R.A., Abbasov V.M., Allahverdiyev E.I., Gurbanova G.G. Study of the effect of synthesized compounds on the bases of organic acids on plant seeds. // PPOR. 2020. Vol. 21. N 1. pp.155-167

32. Abbasov V.M., Nabiyeu F.A., Mammadov J. Sh., Abdullayeva N.R., Aliyeva G.A., Qanbarova F.D., Akhmadbekova S.F., Sultanova J.F. The Role Of Plant Growth Substances In The Field Of Agriculture And Ecology, Lecture Notes in Networks and Systems. // Proceedings of the International Conference on Smart Environment and Green Technologies ICSEGT 24. 2024. Vol. 2. pp.477-484

33. Abbasov V.M., Nabiyeu F.A., Mammadov J.Sh., Qanbarova F.D., Aliyeva G.A., Sultanova J.F., Abdullayeva N.R., Ahmedbekova S.F., Ahmadov F.I. Investigation of the effect of succinic acid derivatives as a growth agent in the field of agriculture and greening. // Processes of Petrochemistry and oil refining. 2024. N 4. pp.1166-1176

34. Мамедов Д.Ш., Набиев Ф.А., Гамбаров Ф.Д., Алиева Г.А., Шахтактинская З.И., Ахмедбекова С.Ф. Синтез глутарата трис(2-гидроксиэтил)аммония и исследование их стимулирующего действия на развитие хлопчатника. // Вестник Башкирского Государственного Педагогического Университета. 2024. № 2. С. 87-98

35. Sultanova J.F., Aliyeva L.I., Mammadov J.Sh. Use of N-derivatives of carboxylic acids as plant growth regulators. // PPOR. 2024. N 2. pp.586-601

36. Abbasov V.M., Mursalov N.I., Rasulov Ch.Q., Mammadov J.Sh., Afandiyeva L.M., Mukhtarova G.A., Asadova .R.A. Obtaining plant growth regulators on the basis of corn oil acids. // PPOR. 2023. Vol. 24. N 4. pp.631-638

37. Abbasov V.M., Ismayilov I.T., Asadova R.A., Allahverdiyev E.I., Nabiyeu R.J. Study of the effect of organic acids salts on the germination of tomato seeds and the formation of green biomass in seedlings. // PPOR. 2021. Vol. 22. N 1. pp.117-125

38. 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.127-144
39. Maofei R., Zheng H., Guiling M., Tang Q. Growth changes of tomato seedlings responding to sodium salt of α -naphthalene acetic acid and potassium salt of fulvic acid. // Scientific Reports. 2023. Vol. 13. N 1. pp.142-149
40. Han A., Wang G., Jingchong L., Xu L. Physiological mechanism of sodium salicylate and folcistine on alleviating salt stress in wheat seedlings. // Scientific Reports. 2023. Vol. 13. P. 22869-22875
41. Terenzhev D., Sharonova N., Ermakova A. Potassium Salts of Terpene Acids of Siberian Pine Resin as Effective Drug in the Cultivation of Potatoes in Organic Farming. // Asian Journal of Chemistry. 2020. Vol. 32. N 9. pp.2329-2334
42. Zhou H., Meng F., Jiang W., Xutong L. Potassium indole-3-butyric acid affects rice's adaptability to salt stress by regulating carbon metabolism, transcription factor genes expression, and biosynthesis of secondary metabolites. // Front. Plant Sci. 2024. Vol. 15. N 3. pp.1415836-1416942
43. Gomez-Romero M., Lindiq-Cisneros R., Cruzado-Vargas A., Ek del-Val Effects of organic acid application and ectomycorrhizal symbiosis on growth and morphological parameters of *Pinus pseudostrobus*. // Botanical Sciences. 2024. Vol. 103. N 2. pp.3488-3492
44. Scheer R.A. Straight growth of the *Avena* coleoptiles in relation to different concentrations of certain organic acids and their potassium salts. // American Journal of Botany. 1997. Vol. 34. N 9. P. 559-565
45. Pat. 104270951A. CN. 2013
46. Pat. 2013158531A1. WO. 2013
47. Pat. 8722928B2. US. 2012
48. Arzee T., Langenauer T., Gressel H. Effects of Dikegulac, a New Growth Regulator, on Apical Growth and Development of Three Compositae. // Botanical Gazette. 1977. Vol. 138. N `1. pp.18–28.

REFERENCES

1. Chen J-H., Lin Y-H. Sodium chloride causes variation in organic acids and proteins in tomato root. // African Journal of biotechnology/ 2010. Vol. 9. N 48. P. 172-179.
2. Maathuis F.M. Sodium in plants: perception, signalling, and regulation of sodium fluxes. // J. Exp. Botany. 2014. Vol. 65. N 3. P. 849-858
3. Zhang P., Yanyan D. Effects of Salinity Stress at Different Growth Stages on Tomato Growth, Yield and Water Use Efficiency. //

Communications in Soil Science and Plant Analysis. 2017. Vol. 48. N 6. P. 803-814

4. Hongqiao L., Suyama A., Mitani-Ueno N. A Low Level of NaCl Stimulates Plant Growth by Improving Carbon and Sulfur Assimilation in *Arabidopsis thaliana*. // *Plants*. 2021. Vol. 10. N 10. P. 2138-2142

5. Jekabsone A., Karlsons A., Osyalde A., Levinsh G. Effect of Na, K and Ca Salts on Growth, Physiological Performance, Ion Accumulation and Mineral Nutrition of *Mesembryanthemum crystallinum* // *Plants*. 2024. Vol. 13. N 2. P. 190-197

6. Matoh T., Watanabe J., Takahashi E. Effects of Sodium and Potassium Salts on the Growth of a Halophyte. // *Soil Science and Plant Nutrition*. 1986. Vol. 32. N 3. P. 451-459

7. Lianes A., Bertazza G., Palacio G., Luna V. Different sodium salts cause different solute accumulation in the halophyte *Prosopis strombulifera*. // *Plant Biol. (Stuttg.)*. 2013. N 1. P. 118-125

8. Hasanuzzaman M., Bhuyan M.B., Nahar K., Hossain Sh. Potassium: A Vital Regulator of Plant Responses and Tolerance to Abiotic Stresses. // *Agronomy*. 2018. Vol. 8. N 3. P. 31-37

9. Yang F., Mingwei D., Tian X., Eneji E. Plant growth regulation enhanced potassium uptake and use efficiency in cotton // *Field Crops Research*. 2014. Vol. 163. P. 109-118

10. Chen Y., Zhang Sh., Shanfeng D., Wang G. Effects of Exogenous (K⁺) Potassium Application on Plant Hormones in the Roots of *Tamarix ramosissima* under NaCl Stress. // *Genes (Basel)*. 2022. Vol. 13. N 10. P. 1803-1810

11. Ganchev D. Effect of inorganic chloride salts on wheat seeds germination. // *Knowledge – International Journal*. 2024. Vol. 65. N 3. P. 317-322

12. Traore M., Diarra S., Sissoko S., Oumar M. Determinism of some phytohormones and potassium nitrate on the vegetative growth of Tangelo (*Citrus x tangelo*) in the Sudano-Sahelian area of Mali. // *GSC Biological and Pharmaceutical Sciences*. 2023. Vol. 23. N 1. P. 160-167

13. Alehibi A., Abdel-Sattar M., Mostafa L., Hamad A. Synergistic Effects of Applying Potassium Nitrate Spray with Putrescine on Productivity and Fruit Quality of Mango Trees cv. Ewais. // *Agronomy*. 2023. Vol. 13. N 11. P. 2717-2722

14. Xuefei H., Wang D., Ren Sh., Feng Sh. Inhibition of root growth by alkaline salts due to disturbed ion transport and accumulation in *Leymus chinensis*. // *Environmental and Experimental Botany*. 2022. Vol. 200. P. 104907-104911

15. Sumalan R., Croitor L., Petric M., Radulov I. p-Aminobenzoate Organic Salts as Potential Plant Growth Regulators for Tomatoes. // *Molecules*. 2020. Vol. 25. N 7. P. 1635-1642

16. Sotoudeh E., Sangari M., Bagheri D., Morammazi S. Dietary organic acid salts mitigate plant protein induced inflammatory response and improve humoral immunity, antioxidative status and digestive enzyme activities in yellowfin seabream, *Acanthopagrus latus*. // *Aquaculture Nutrition*. 2020. Vol. 26. N 5. P. 1669-1680
17. Xiaoyu L., Chunsheng M., Jixiang L., Wang Y. Effect of alkaline potassium and sodium salts on growth, photosynthesis, ions absorption and stomatal synthesis of wheat seedlings. // *Experimental Agriculture*. 2013. Vol. 50. N 1. P. 12-17
18. Famiani F., Battistelli A., Moscatello S., Walker R. The organic acids that are accumulated in the flesh of fruits: occurrence, metabolism and factors affecting their contents – a review. // *Revista Chapingo Serie Horticultura*. 2015. Vol. 21. N 2. P. 97-128
19. El-Sayed Y.S., Hagab R. Effect of Organic Acids and Plant Growth Promoting Rhizobacteria (PGPR) on Biochemical Content and Productivity of Wheat under Saline Soil Conditions. // *Middle East Journal of Agricultural Research*. 2020. Vol. 9. N 2. P. 227-242
20. Yang Z., Zhou Sh., Ying Ch., Zhang W. Activation of potassium released from soil by root-secreted organic acids in different varieties of tobacco (*Nicotiana tabacum*). // *Funct. Plant Biol*. 2020. Vol. 47. N 4. P. 318-326
21. Cuvin-Aralar M.L., Luckstaedt C., Schroeder K., Kühlmann K.-J. Effect of dietary organic acid salts, potassium diformate and sodium diformate on the growth performance of male Nile tilapia *Oreochromis niloticus*. // *Bulletin of Fish Biology*. 2011. Vol. 13. N 1-2. P. 33-40.
22. Chen J., Shilong H., Zhang Z., Li J. Application of Organic Acid Salts as Feed Additives in Some Aquatic Organisms: Potassium Diformate. // *Fishes*. 2024. Vol. 9. N 3. P. 85-89
23. Karakan F., Kaymak H., Akan S., Ercisli S. Revealing the effects of amino acid, organic acid, and phytohormones on the germination of tomato seeds under salinity stress. // *Open Life Sci*. 2024. Vol. 19. N 1. P. 892-897
24. El-Karamany M., Sadak M., Bakry A. Synergistic Effect of Indole Acetic Acid and Gibberellic Acid on Mung Bean Grown under Sandy Soil Conditions. // *Journal of Applied Sciences*. 2019. Vol. 19. N 7. P. 718-724
25. Llanes A., Masciarelli O., Luna M.V. Differential growth responses to sodium salts involve different abscisic acid metabolism and transport in *Prosopis strombulifera*. // *Biologia Plantarum*. 2013. Vol. 58. N 1. P. 65-68
26. Behl R., Raschke K. Effects of abscisic acid on sequestration and exchange of Na(+) by barley roots. // *Planta*. 1986. Vol. 167. N 4. P. 563-568

27. Abbasov V.M., Ismayilov I.T., Asadova R.A., Allahverdiyev E.I., Nabiyevev R.J. Study of the effect of organic acids salts on the germination of tomato seeds and the formation of green biomass in seedlings. // PPOR. 2021. Vol. 22. N 1. P. 117-125

28. Abbasov V.M., Asadova R.A., Ismayilov T.A., Ismayilov I.T. Checking the physical-chemical properties of the solutions of complex compounds and salts of natural petroleum acids and the effect on the seeds of tobacco plant. // PPOR. 2019. Vol. 20. N 3. P. 212-222

29. Asadova R. A., Plant growth stimulants based on organic acids. // Proceedings of Azerbaijan high technical educational Institutions 2022. Vol. 24. N 4. P. 138-145

30. Асадова Р.А., Исмаилов И.Т., Алиева А.А. Получение стимуляторов роста растений на основе нефтяных кислот. // Известия ТулГУ. Серия Естественные науки. 2022. № 3. С. 3-17

31. Asadova R.A., Abbasov V.M., Allahverdiyev E.I., Gurbanova G.G. Study of the effect of synthesized compounds on the bases of organic acids on plant seeds. // PPOR. 2020. Vol. 21. N 1. P. 155-167

32. Abbasov V.M., Nabiyevev F.A., Mammadov J. Sh., Abdullayeva N.R., Aliyeva G.A., Qanbarova F.D., Akhmedbekova S.F., Sultanova J.F. The Role Of Plant Growth Substances In The Field Of Agriculture And Ecology, Lecture Notes in Networks and Systems. // Proceedings of the International Conference on Smart Environment and Green Technologies ICSEGT 24. 2024. Vol. 2. P. 477-484

33. Abbasov V.M., Nabiyevev F.A., Mammadov J.Sh., Qanbarova F.D., Aliyeva G.A., Sultanova J.F., Abdullayeva N.R., Ahmedbekova S.F., Ahmadov F.I. Investigation of the effect of succinic acid derivatives as a growth agent in the field of agriculture and greening. // Processes of Petrochemistry and oil refining. 2024. N 4. P. 1166-1176

34. Мамедов Д.Ш., Набиев Ф.А., Гамбаров Ф.Д., Алиева Г.А., Шахтактинская З.И., Ахмедбекова С.Ф. Синтез глутарата трис(2-гидроксиэтил)аммония и исследование их стимулирующего действия на развитие хлопчатника. // Вестник Башкирского Государственного Педагогического Университета. 2024. № 2. С. 87-98

35. Sultanova J.F., Aliyeva L.I., Mammadov J.Sh. Use of N-derivatives of carboxylic acids as plant growth regulators. // PPOR. 2024. N 2. P. 586-601

36. Abbasov V.M., Mursalov N.I., Rasulov Ch.Q., Mammadov J.Sh., Afandiyeva L.M., Mukhtarova G.A., Asadova R.A. Obtaining plant growth regulators on the basis of corn oil acids. // PPOR. 2023. Vol. 24. N 4. P. 631-638

37. Abbasov V.M., Ismayilov I.T., Asadova R.A., Allahverdiyev E.I., Nabiyevev R.J. Study of the effect of organic acids salts on the germination of tomato seeds and the formation of green biomass in seedlings. // PPOR. 2021. Vol. 22. N 1. P. 117-125

38. 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. P. 127-144
39. Maofei R., Zheng H., Guiling M., Tang Q. Growth changes of tomato seedlings responding to sodium salt of α -naphthalene acetic acid and potassium salt of fulvic acid. // Scientific Reports. 2023. Vol. 13. N 1. P. 142-149
40. Han A., Wang G., Jingchong L., Xu L. Physiological mechanism of sodium salicylate and folcisteine on alleviating salt stress in wheat seedlings. // Scientific Reports. 2023. Vol. 13. P. 22869-22875
41. Terenzhev D., Sharonova N., Ermakova A. Potassium Salts of Terpene Acids of Siberian Pine Resin as Effective Drug in the Cultivation of Potatoes in Organic Farming. // Asian Journal of Chemistry. 2020. Vol. 32. N 9. P. 2329-2334
42. Zhou H., Meng F., Jiang W., Xutong L. Potassium indole-3-butyric acid affects rice's adaptability to salt stress by regulating carbon metabolism, transcription factor genes expression, and biosynthesis of secondary metabolites. // Front. Plant Sci. 2024. Vol. 15. N 3. P. 1415836-1416942
43. Gomez-Romero M., Lindiq-Cisneros R., Cruzado-Vargas A., Ek del-Val Effects of organic acid application and ectomycorrhizal symbiosis on growth and morphological parameters of *Pinus pseudostrobus*. // Botanical Sciences. 2024. Vol. 103. N 2. P. 3488-3492
44. Scheer R.A. Straight growth of the *Avena* coleoptiles in relation to different concentrations of certain organic acids and their potassium salts. // American Journal of Botany. 1997. Vol. 34. N 9. P. 559-565
45. Pat. 104270951A. CN. 2013
46. Pat. 2013158531A1. WO. 2013
47. Pat. 8722928B2. US. 2012
48. Arzee T., Langenauer T., Gressel H. Effects of Dikegulac, a New Growth Regulator, on Apical Growth and Development of Three Compositae. // Botanical Gazette. 1977. Vol. 138. N `1. P. 18–28.

Информация об авторах

В.М. Аббасов – академик НАНА, д.х.н., директор Института Нефтехимических процессов (ИНХП) МНО Азербайджана, Баку, nkpi@nkpi.az

Р.А. Асадова – докторант лаборатории «Биологически активные природные соединения» ИНХП МНО Азербайджана, Баку, r.asadova88@mail.ru

Information about the author

V.M. Abbasov – academician of NASA of Azerbaijan Republic, doctor of chemical sciences, director of IPCP MES of Azerbaijan, nkpi@nkpi.az

R.A. Asadova – doctoral student of laboratory «Biologically active nature compounds" IPCP MES of Azerbaijan, r.asadova88@mail.ru

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-2025-3-56-77

Вафа Гидаят гызы Бабаева¹, Эльдар Гусейнгулу оглу Мамедбейли²

^{1,2}*Институт Нефтехимических процессов Министерства Науки и Образования Азербайджана, Баку, Азербайджан, nuraybabayeva2008@gmail.com*

АЗОТСОДЕРЖАЩИЕ ПРОИЗВОДНЫЕ КАРБОНОВЫХ КИСЛОТ БИЦИКЛО[2.2.1]-ГЕПТАНОВОГО РЯДА

Аннотация. Карбоновые кислоты бицикло[2.2.1]-гептанового ряда являются широко используемыми соединениями в органическом синтезе и нефтехимической промышленности. Это обусловлено их более высокой доступностью и простотой получения, а также наличием ряда ценных свойств. Среди таких соединений особое место занимают азотсодержащие производные бицикло[2.2.1]-гептановых карбоновых кислот. Целью работы было рассмотрение наиболее важных применений вышеуказанных соединений.

Ключевые слова: бицикло[2.2.1]-гептановые карбоновые кислоты, биологически активные свойства, норборненовые соединения, медицинские препараты.

Для цитирования: Бабаева В.Г., Мамедбейли Э.Г. Азотсодержащие производные карбоновых кислот бицикло[2.2.1]-гептанового ряда // Вестник Башкирского государственного педагогического университета им. М.Акмиллы. Серия: Естественные науки. 2025. № 3. С. 56-77.

CHEMICAL SCIENCES

Original article

Vafa Hidayat Babayeva¹, Eldar Huseynqulu Mammadbayli²

^{1,2}*Institute of Petrochemical Processes of the Ministry of Science and Education of Azerbaijan, Baku, nuraybabayeva2008@gmail.com*

NITROGEN CONTAIN DERIVATIVES OF CARBOXYLIC ACIDS OF BICYCLO[2.2.1]-HEPTANE SERIES

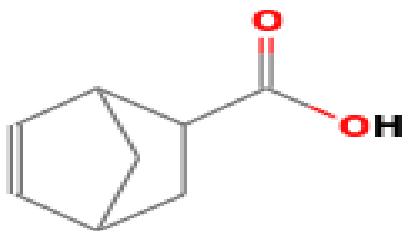
Abstract. Carboxylic acids of the bicyclo[2.2.1]-heptane series are widely used compounds in organic synthesis and petrochemical industry.

This is due to their higher availability and ease of production, as well as the presence of a number of valuable properties. Among such compounds, nitrogen-containing derivatives of bicyclo[2.2.1]-heptane carboxylic acids occupy a special place. In this work, we consider the most important areas of application of these compounds.

Keywords: bicyclo[2.2.1]-heptane carboxylic acids, biologically active properties, norbornene compounds, medical preparations

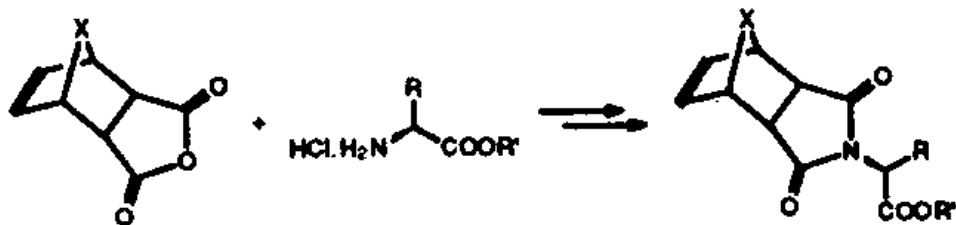
For citing: Babayeva V.H., Mammadbayli E.H. Nitrogen contain derivatives of carboxylic acids of bicycle[2.2.1]-heptane series // Bulletin of Bashkir State Pedagogical University named after M. Akmully. Series: Natural Sciences. 2025. №3. pp. 56-77.

Большой интерес для органической химии также представляют карбоновые кислоты бицикло[2.2.1]-гептенового ряда. Производные бицикло[2.2.1]-гептенового (норборненового) ряда являются классическими модельными соединениями для изучения геометрической изомерии, связанной с образованием эндо-экзо-изомерии, в зависимости от расположения заместителей над или под плоскостью норборненового кольца.

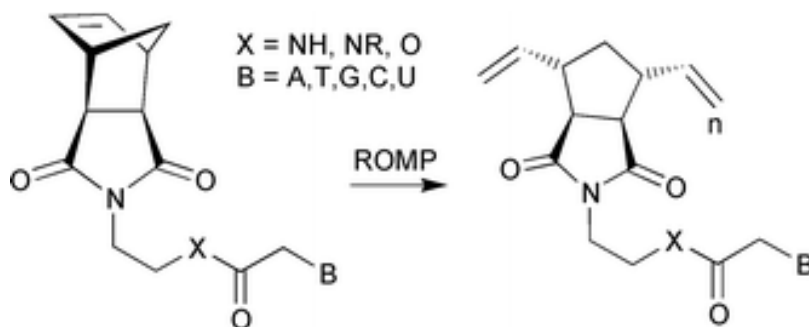


При этом бицикло[2.2.1]-гепт-2-ен-дикарбоновая кислота представляет собой твердое вещество с температурой плавления 185-1890С (эндо-изомер). Азотсодержащие производные этих кислот также имеют широкое практическое значение, поскольку большинство из этих соединений обладает высокой биологической активностью.

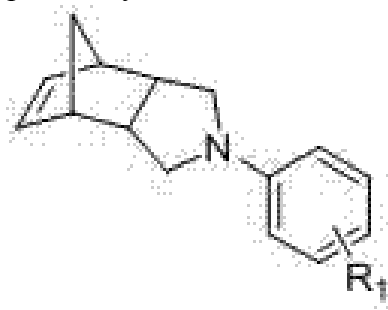
В работе [43] описаны два пути синтеза различных производных аминокислот, содержащих норборнен. Методология также позволяет получать аналоги 7-оксонорборнена, а также приводится кинетическое исследование рацемизации одного из мономеров.



Ряд производных норборнена, содержащих основания нуклеиновых кислот (тимин, аденин, цитозин, гуанин или урацил), были получены в качестве мономеров для полимеризации с раскрытием кольца-метатезиса (ROMP) [1, 23]. Многие из первоначально приготовленных мономеров имели плохую растворимость, но это можно было преодолеть путем соответствующего выбора линкера между норборненом и базовыми единицами. Некоторые из мономеров были успешно полимеризованы с образованием гомополимеров, полученных из оснований нуклеиновых кислот.



Изобретение [18] относится к мономеру норборнена типа электронного донора/рецептора, а также к полимеру и способу его получения. Будучи полученным из мономера норборнена типа электронного донора/рецептора посредством метатезисной полимеризации с раскрытием кольца в присутствии катализатора Граббса рутения, полимер норборнена, раскрытый изобретением, имеет хорошую стереорегулярность и высокое π - π -взаимодействие между молекулярными цепями и способствует переносу заряда. Способ получения, предусмотренный изобретением, прост и легок в реализации и может осуществлять регулирование и контроль характеристик путем гибкого преобразования замещающей группой боковой цепи, поэтому способ получения имеет широкие перспективы применения в областях фотоэлементов, электрических элементов, биомакромолекул и т. д.



где R1 = OH, OR, NH2, NHR

Свойства ограниченной тетразамещенной аминокислоты 3-сульфанилнорборнена (NRB) при вставке в модельные пептиды Ala-Aib были тщательно изучены [8,10,11]. Конформационное поведение этих моделей оценивалось с помощью теоретических расчетов, спектроскопического анализа и рентгеновской кристаллографии. В совокупности наши данные подтверждают, что оба энантиомера (R,R,R,S)- и (S,S,S,R)-NRB обладают сильным геликогенным эффектом при вставке в короткие последовательности Ala-Aib, что позволяет предположить, что жесткое ядро норборнена оказывает положительное влияние на способность стабилизировать спиральные вторичные структуры. Эта информация будет иметь важное значение для будущих приложений в рациональном дизайне конформационно стабильных пептидов, нацеленных на поверхности взаимодействия белок-белок (PPI).

Хорошо определенные гомополимеры и блок-сополимеры на основе норборнена, содержащие тетрафенилэтиновые или фторированные тетрафенилэтиновые фрагменты, были синтезированы в работах [28,9]. Молекулярная масса полимеров близка к теоретической молекулярной массе, а индекс полидисперсности составляет всего 1,01–1,07. Все полимеры проявляют характеристики эмиссии, вызванной агрегацией, и обнаруживают высокую эмиссию в твердом состоянии и агрегатном состоянии. В целом, квантовый выход полимеров в агрегатном состоянии более чем в 100 раз выше, чем у раствора. Чувствительная способность полимеров к анилину в агрегированном состоянии демонстрирует предел обнаружения концентрации 5×10^{-6} М. Кроме того, минимальная концентрация анилина, определяемая флуоресцентными тестовыми бумагами, составляет всего 10–3–10–4 М.

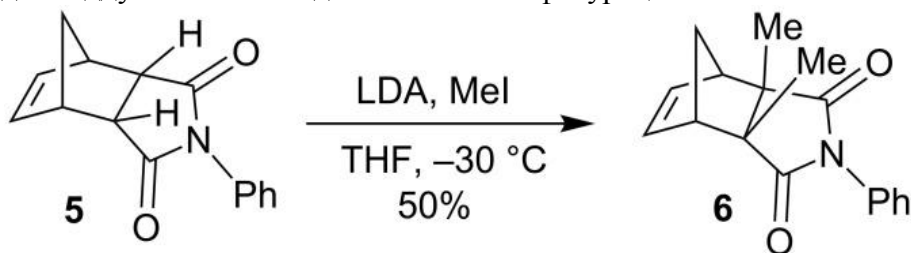
Рацемические дикарбоновые кислоты были синтезированы из реакций циклоприсоединения Дильса-Альдера, которые образовали скелеты дибензобаррелена и норборнена [31].

Исследования в этой области также рассматривались в работах [12, 14]. В этих работах также был осуществлен синтез азотсодержащих производных карбоновых кислот бицикло[2.2.1-гептанового ряда

Человеческий адренокортикотропный гормон (α h-ACTH), H-Ser-Tyr-Ser-Met-Glu-His-Phe-Arg-Trp-Gly-Lys-Pro-Val-Gly-Lys-Lys-Arg-Arg-Pro-Val-Lys-Val-Tyr-Pro-Asn-Gly-Ala-Glu-Asp-Glu-Ser-Ala-Glu-Ala-Phe-Pro-Leu-Glu-Phe-OH, был синтезирован с использованием N-гидрокси-5-норборнен-2,3-дикарбоксимида (HONB) с N,N'-дициелогексилкарбодиимидом (DCC) для ступенчатого удлинения и конденсации фрагментов [3,27]. Синтетический α h-ACTH, очищенный на колонке с карбоксиметилцеллюлозой, смолой Amberlite XAD-2 и Bio-Gel P-6, оказался однородным по различным критериям и проявил

полную биологическую активность (около 145 единиц/мг) в стероидогенном анализе *in vitro*.

В работе [6] авторы сообщили, что функционализация мостика производных норборнена, таких как эндо-5-норборнен-2,3-дикарбоксимид 5, дала мостиковое алкилированное соединение 6 с сохранением конфигурации. На основании этого отчета авторы ожидали, что аллильные группы, введенные через последовательность алкилирования, займут экзо-положение поскольку мостиковые водороды в аддукте D-A находятся в экзо-конфигурации.



Авторы работы [49] изучили метатезисную полимеризацию с раскрытием кольца N-циклогексил-экзо-норборнен-5,6-дикарбоксимида с использованием следующих 4 инициаторов: Grubbs 1, Grubbs 2, Hoveyda–Grubbs 1 (HG1) и Hoveyda–Grubbs 2 (HG2). Только инициатор Grubbs 1 был способен точно контролировать молекулярную массу полимера. Полимеризации, инициированные инициаторами HG1, Grubbs 2 и HG2, не могли хорошо контролироваться. Как Grubbs 1, так и HG1 давали полимеры с высоким транс % (85–98%), тогда как Grubbs 2 и HG2 давали полимеры с более низким транс % (50–52%). Уровень контроля молекулярной массы для четырех инициаторов уменьшался в порядке Граббс 1>HG1>HG2>Граббс 2. Авторы также продемонстрировали, что в случае полимеров, полученных с использованием Граббса 1, показатели преломления (ПП) полимеров уменьшались линейно и контролируемым образом с 1,539 до 1,534 при 633 нм по мере увеличения молекулярной массы с 6700 до 26400. Это изменение представляло собой уменьшение ПП на 0,005.

В работе [50] сообщается о синтезе экзо-N-фенил-7-оксанорборнен-5,6-дикарбоксимида и его метатезисной сополимеризации с раскрытием цикла с норборненом с получением поли(экзо-N-фенил-7-оксанорборнен-5,6-дикарбоксимид-со-норборнена) с молярным соотношением 50/50. Температура стеклования сополимера составляет 125 °C. Процессы проницаемости и сорбции различных газов (водорода, азота, кислорода, оксида углерода, диоксида углерода, метана, этилена и этана) были измерены в мембранах, полученных методом литья из растворов сополимера в хлороформе. Ленгмюровская емкость газов относительно мала из-за близости температуры стеклования полимера к рабочей температуре.

Раствор наиболее конденсируемых газов в непрерывной фазе мембраны, по-видимому, описывается теорией Флори-Хаггинса для смесей полимер-разбавитель. В целом мембраны демонстрируют достаточно высокий коэффициент разделения водорода по отношению к этану, этилену, азоту и метану. Значение $\alpha(\text{O}_2/\text{N}_2)$ при комнатной температуре лежит в районе 5.

Набор функционализированных полинорборненов с различными замещенными боковыми имидными группами (N-замещающая имидная группа = адамантил, циклогексил, толил и фенил) был получен через винильный путь с использованием катализатора ди- μ -хлор-бис-(6-метоксибицикло[2.2.1]-гепт-2-ен-эндо-5 σ ,2 π)-палладия(II) в качестве средства разработки материалов с низкой диэлектрической проницаемостью [33]. Было исследовано влияние молярного соотношения мономера к катализатору, полярности растворителя, времени реакции и температуры на полимеризацию замещенного норборнен-5,6-дикарбоксимида. Среди использованных мономеров экзо-N-циклогексил-норборнен-5,6-дикарбоксимид показал самую высокую активность, обеспечив 90% конверсию за 30 мин. Все полученные функционализированные полинорборнены характеризуются хорошими термическими свойствами (потеря веса около 5% при 440°C) и низкими диэлектрическими постоянными (2,26–2,53), что желательно для следующего поколения микропроцессоров и памяти компьютеров, поскольку обеспечивает изоляцию в условиях все более уменьшающихся размеров элементов более быстрых микропроцессоров.

Поли(N-адамантил-экзо-норборнен-5,6-дикарбоксимид) был получен метатезисной полимеризацией с раскрытием кольца. Это было достигнуто в хлороформе с использованием инициатора Grubbs 1-го поколения и погашено этилвиниловым эфиром [5]. Полимер имел средневесовую молекулярную массу 27 000 г/моль с индексом полидисперсности 2,19, высокую температуру стеклования 281 °C и высокую температуру термического разложения 385 °C (потери 10%). Соотношение транс:цис винилена составляло 1,00:0,19, что делало полимер аморфным. Полимер использовался в качестве хозяина для 5 гостевых нелинейных оптических хромофоров. Была исследована связь между структурой хромофора и электрооптическим коэффициентом. Был оценен диапазон концентраций хромофора, и было обнаружено, что идеальная структура хромофора включала объемную боковую группу трет-бутилдифенилсилана. Максимальное значение ϵ_{33} 80 пм/В было получено при концентрации хромофора 45 мас.% и температуре поляризации 160 °C. Система хозяин-гость, содержащая 35 мас.% трет-бутилдифенилсиланового замещенного хромофора, имела стабильность 85% при температуре 85 °C в течение 500 ч. Стабильность при 105 °C составила 72%. Для сравнения,

аморфный поликарбонат при тех же условиях достиг стабильности всего 58% при 85 °С, в то время как поли(метилметакрилат) имел стабильность 0% при 85 °С.

Благодаря точному сочетанию как циклогексил-, так и октилзамещенных мономеров норборнен-дикарбоксимида, была получена серия сополимеров путем метатезисной полимеризации с раскрытием кольца с использованием инициатора первого поколения Граббса [15]. Это позволило превосходно контролировать температуру стеклования в диапазоне от 215 до 126 °С в зависимости от процентного содержания октильного фрагмента в сополимере. Первоначально были получены два гомополимера, поли(N-циклогексил-экзо-норборнен-5,6-дикарбоксимид) и поли(N-октил-экзо-норборнен-5,6-дикарбоксимид), для определения желаемых условий получения сополимера. Кинетика двух гомополимеров контролировалась с помощью спектроскопии протонного ядерного магнитного резонанса и эксклюзионной хроматографии, при этом конверсия мономера достигалась через 120 мин в обоих случаях.

Описан синтез экзо-N-3,5-бис(трифторметил)фенил-7-оксанорборнен-5,6-дикарбоксимида (TFMPhONDI), экзо-N-4-фторфенил-7-оксанорборнен-5,6-дикарбоксимида (FPhONDI) и экзо-N-пентафторфенил-7-оксанорборнен-5,6-дикарбоксимида (PFPhONDI) [28,32]. Поли(норборнен дикарбоксимиды) были получены с помощью ROMP с использованием бис(трициклогексилфосфин)бензилидин рутения(IV) дихлорида (I) и трициклогексилфосфин [1,3-бис(2,4,6-триметилфенил)-4,5-дигидроимидазолилиден][бензилиден] рутения дихлорида (II). Поли-TFMPhONDI, несущий трифторметиларильный фрагмент, показал более высокую Tg и улучшенные механические свойства по сравнению с поли-FPhONDI и поли-PFPhONDI. Диеновая конденсация имидов N-замещенных 2,3-дихлорбицикло[2.2.1]гепт-5-ен-2,3-дикарбоновых кислот с гексахлорциклопентадиеном протекает региоселективно через двойную связь диенофила, приводя к соответствующим полихлорированным циклическим аддуктам с эндо-конфигурацией [38, 44, 46].

Представлены синтез и цитотоксическая активность новых производных олеаноловой кислоты (8a-c и 9a-c) [37,2]. Полученные соединения представляют собой гибриды оксимов олеаноловой кислоты и карбоновых кислот, содержащих короткие алкильные цепи, связанные с атомом азота фрагментов норборнен-2,3-дикарбоксимида через атом азота. Структуры полученных новых соединений (8a-c и 9a-c) подтверждены спектральными данными. Производные 8a-c и 9a-c были подвергнуты МТТ-тесту с целью оценки их цитотоксической активности в отношении линий клеток HeLa, KB, MCF-7, HepG2 и HDF в сравнении с материнским соединением (олеаноловая кислота, 1). Среди протестированных оксимов, ацилированных карбоновыми

63

бутиловым эфиром полимеры-предшественники (Poly 3a и Poly 3b) были деблокированы в кислых условиях для получения соответствующих поликарбоксибетаинов с очень узкими индексами полидисперсности, в диапазоне от 1,03 до 1,15. Этот метод позволил контролировать распределение молекулярной массы по сравнению с подходом прямой полимеризации. При построении графика молекулярной массы против теоретической степени полимеризации (DP) получены линейные соотношения для данных ^1H NMR и GPC-MALLS. Поликарбоксибетайн на основе оксанорборнена (d-Poly 3a) изучен в водном растворе NaBr 0,1 М методом динамического рассеяния света (DLS), и не обнаружено значительной агрегации. Попытка определить константу кислотной ионизации (K_a) карбоксилатной группы привело к открытию того, что циклический имид этих конкретных мономеров легко раскрывается в основных условиях.

Описаны синтез и противосудорожные свойства новых ацетамидов пиперазина или морфолина, полученных из 2-(1,3-диоксоизоиндолин-2-ил)-, 2-(1,3-диоксо-3a,4,5,6,7,7a-гексагидроизоиндол-2-ил-) и (3,5-диоксо-4-азатрицикло[5.2.1.0^{2,6}]дец-8-ен-4-ил)-уксусной кислоты [39]. Первоначальный скрининг противосудорожных средств проводился с тестами максимального электрошока (MES) и подкожного пентилентетразола (scPTZ). Нейротоксичность определялась тестами вращающегося стержня с минимальными двигательными нарушениями. Результаты *in vivo* показали, что многочисленные соединения были эффективны в скрининге MES. Наиболее активным оказался 2-{2-[4-(4-фторфенил)пиперазин-1-ил]-2-оксоэтил}изоиндолин-1,3-дион (12), который показал защиту при электроиндуцированных судорогах в дозе 30 мг/кг и 100 мг/кг через 0,5 ч и 4 ч после внутрибрюшинного введения мышам. Эта молекула, введенная перорально крысам в дозе 30 мг/кг, была более мощной, чем референтный антиконвульсант - фенитоин.

Реакции стереохимически чистых бицикло[2.2.1]гепт-5-ен-экзо- и эндо-2-илметиламинов с бицикло[2.2.1]гепт-2-ен-5-карбонилхлоридами дали соответствующие карбоксамиды, имеющие два норборненовых фрагмента [40,47]. Их конформации и стерические напряжения изучены методом молекулярной механики MM2, а распределение электронной плотности в их молекулах определено квантово-химическими расчетами PM3. Результаты расчета энергии активации эпексидирования диенов в газовой фазе и в растворе (COSMO) показали, что хемоселективное окисление только одной двойной связи в них невозможно. Соответствующие дизпоксидные производные были синтезированы окислением диенов пероксиуксусной кислотой; окисление амидов с эндо-ориентацией

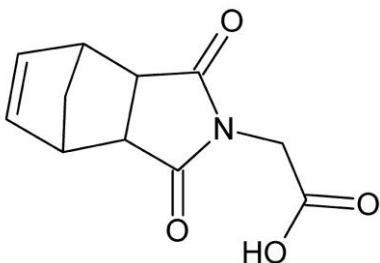
карбонильной группы сопровождалось гетероциклизацией с образованием экзо-2-гидрокси-4-оксатрицикло[4.2.1.0^{3,7}]нонан-5-она. Восстановление амидов и их эпоксидных производных тетрагидридоалюминатом лития дало соответствующие вторичные амины, имеющие два фрагмента каркасного типа; продукты восстановления функционализировали по атому азота обработкой п-нитробензолсульфонилхлоридом и п-толуолсульфонилизотиоцианатом. Структура полученных соединений подтверждена ИК- и ЯМР-спектрами ¹H и ¹³C.

В патентах [4, 30] отмечается, что амиды норборнан- и норборненкарбоновой кислоты, а также их физиологически приемлемые соли, действуют как антагонисты тромбосана. Для синтеза нового поверхностно-активного вещества на начальном этапе синтезирован амид на основе норборненкарбоновой кислоты и триэтилететраамина, а затем на основе реакции N-алкилирования полученного амида пентилбромидом синтезирован неорганический анионный комплекс (NTA+C₅H₁₁Br) [35]. Затем определена поверхностная активность полученного комплекса, установлено, что комплекс проявляет поверхностную активность, снижая величину поверхностного натяжения с 72,1±0,2 мН/м до 40,0 мН/м в диапазоне концентраций 0,025-0,6%. Синтезированный комплекс испытан в качестве нефтесобирателя и нефтесодержащего реагента. Максимальное значение коэффициента нефтенакопления 3%-ной водной дисперсии реагента в дистиллированной воде при t~23,0-80,0 °C составляет K_{макс.}=71,39, максимальное значение коэффициента нефтесбора 5%-ной водной дисперсии составляет K_{макс.}=77,44, в виде 100% продукта составило K_{макс.}=79,30. Комплекс проявляет сильную диспергирующую способность в питьевой и морской воде. Так, 3% водная дисперсия имеет КД=95,0% в питьевой воде в течение t~23,0-62,0 ч, КД=93,5% в течение t~80,0-152,0 ч и КД=90,1% в течение t~23-62,0 ч, в морской воде, t~80,0-152,0 ч КД=94,5% диспергирующий эффект, 5% водная дисперсия в питьевой воде t~23,0-62,0 ч КД=97,0%, t~80,0-152,0 ч КД=95,5%, а в морской воде t~23-62,0 ч КД=94,1% в течение t~80,0-152,0 ч КД=95,5% обладает диспергирующим эффектом. В виде 100% неразбавленного реагента, КД=95,8% для t~3,0 ч в питьевой воде, КД=98,0% для t~23,0-62,0 ч, КД=96,7% для t~80,0-152,0 ч, а в морской воде для t~3,0 ч КД=96,4%, t~23-62,0 ч КД=93,0%, t~80,0-152,0 ч КД=97,5% обладает диспергирующим действием.

Установление структуры продукта гидразиолиза, полученного из бицикло[2.2.1]гепт-2-ен-эндо-5, эндо-6-дикарбоновой (эндиковой) кислоты, осуществлялось путем получения соединения в альтернативных условиях с последующим сравнением характеристик и спектральных параметров полученных веществ, а также квантово-химическими расчетами методом функционала плотности химических

сдвигов в спектрах ЯМР ^1H и ^{13}C различных продуктов реакции [36]. Также был проведен рентгеноструктурный анализ гидразида. Полученному соединению приписана структура N-аминобицикло[2.2.1]гепт-2-ен-эндо-5, эндо-6-дикарбосимида. Продукты получены его реакциями с арилсульфонилхлоридами, бензоилхлоридами, м-толил и п-толуолсульфонилизотиоцианатами, фенилизотиоцианатом, с о-нитробензальдегидом и оксиранами (1,2-эпоксидциклогексаном и 2,3-эпоксипропилкарбазолом). Ароматические сульфонамиды, карбоксамиды и мочевины эпоксируются надмуравьиной кислотой, полученной *in situ* из муравьиной кислоты и пероксида водорода. Также исследования в этой области стали объектом исследований работ [7, 16, 19, 20, 41].

В работе [21] показано, что асимметричная единица указанного соединения, $\text{C}_{11}\text{H}_{11}\text{NO}_4$, содержит две молекулы, А и В, с различными конформациями: в молекуле А группы норборнена и карбоновой кислоты лежат по одну сторону гетероцикла, тогда как в молекуле В они лежат по разные стороны. В кристалле молекулы А образуют инверсионные димеры карбоновой кислоты $\text{R}_2\text{C}_2(8)$, связанные парами водородных связей $\text{O}-\text{HO}$. Молекулы В связываются с одним из атомов О кетона молекулы А взаимодействием $\text{O}-\text{HO}$, в результате чего образуются тетрамеры (две молекулы А и две молекулы В). Тетрамеры связаны слабыми взаимодействиями $\text{C}-\text{HO}$, образуя трехмерную сеть.

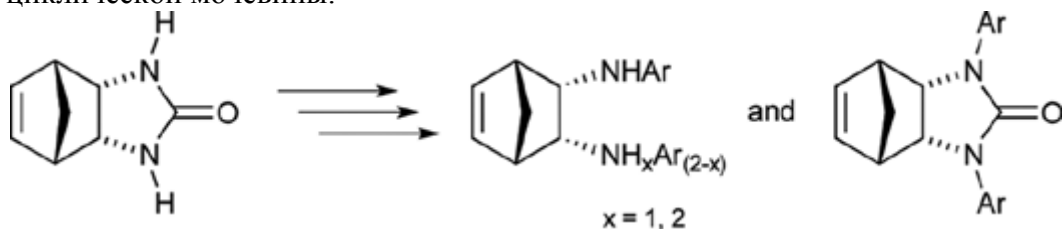


Ряд стереоизомерных мочевин (N-[арил(бензил, или циклоалкил)карбамоил]-экзо(эндо)-5-аминометилбицикло[2.2.1]гепт-2-ены) синтезированы из бицикло[2.2.1]гепт-2-ен-экзо(эндо)-5-карбонитрила путем восстановления с помощью литийалюминийгидрида и последующей реакции полученных аминов с арил(бензил, или циклоалкил)изоцианатами [34]. Региоселективное алкилирование стереоизомерных мочевин выполнено с помощью бензилхлорида в условиях жидко-твердофазного катализа. Результат реакций мочевин с пероксикислотами зависит от ориентации заместителей в бициклическом фрагменте. Экзоизомерные мочевины трансформируются в соответствующие эпоксипроизводные, а реакции эндоизомеров сопровождаются внутримолекулярной циклизацией, приводящей к образованию производных азатрициклонона.

Квантово-химические расчеты установили решающую роль дополнительных водородных связей в стабилизации переходных состояний в реакциях гетероциклизации мочевины. Структуры и стереохимическая однородность продуктов подтверждены анализом спектров ЯМР ^1H и ^{13}C и корреляционной спектроскопией. Механизм реакции внутримолекулярной гетероциклизации мочевины и карбоксамида ряда эндо-5-аминометил-экзо-2,3-эпоксибицикло[2.2.1]гептана изучен на уровне теории BHandHLYP/6-31G(d). Синтезированы экзо-5-аминометил-эндо-5-метилбицикло[2.2.1]гепт-2-ен и его 2,3-эпоксипроизводное, а их геометрические параметры и конформационные свойства, в частности барьеры вращения аминометильного фрагмента вокруг экзоциклической связи C5C, изучены методом молекулярной механики (ММХ) и сравнены с найденными для структурно родственного экзо-5-аминометилбицикло[2.2.1]гепт-2-ена [17]. Названные соединения введены в реакции с электрофильными реагентами: аренсульфонилхлоридами, изоцианатами и изотиоцианатами.

Были синтезированы соединения Манниха из бицикло[2.2.1]гепт--5-ен-2,3-дикарбоксимида и 2-алкилтио-6-аминобензтиазолов [42]. Вещества испытаны на противовирусное и антимикобактериальное действие по отношению к туберкулезным микобактериям. Последнее явно слабее, чем у исходных 2-алкилтио-6-аминобензтиазолов и также у 2-алкилтио-6-(бицикло[2.2.1]гепт-5-ен-2,3-дикарбоксимидо)бензтиазолов.

Описан синтез производных 2,3-дизамещенного-эндо,цис-норборн-5-ена [45,22]. Получены циклические мочевины и цис-вицинальные диамины, замещенные п-толильными и перфторфенильными кольцами. Продемонстрировано использование карбоната калия в качестве безвредного источника CO для образования циклической мочевины.



Таким образом, можно сделать вывод о том, что азотсодержащие производные карбоновых кислот бицикло(2.2.1)-гептенового ряда находят широкое применение в различных отраслях промышленности и являются перспективными синтонами для получения целого ряда органических соединений различных функциональностей.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Akkurt M., Jarrahpour A., Shirvani P., Nawaz M. 2-(3,5-Dioxo-4-azatricyclo[5.2.1.0^{2,6}]dec-8-en-4-yl)acetic acid // *Acta Crystallogr. Sect. E. Struct. Rep. Online.* – 2013. – Vol. 69. – Pp.1404-1410.
2. Bednarczyk-Cwynar B., Ruszkowskp P., Atamanyuk D., Lesyk R. Hybrids of oleanolic acid with norbornene-2,3-dicarboximide-n-carboxylic acids as potential anticancer agents // *Acta Pol. Pharma.* – 2017. – Vol. 74. – N 3. – Pp.827-835.
3. Biagini S., Bush S., Gibson V., Mazzanol L. The synthesis of N-norbornenyl-amino acids and esters: Monomers for the preparation of well defined polymers // *Tetrahedron.* – 1995. – Vol. 51. – N 26. – Pp.7247-7262.
4. Binyuan L., Yang L., Mathews A., Wang Y. Synthesis of vinyl-type functionalized polynorbornenes with cyclic pendant imide side groups by using palladium-based catalyst for low dielectric constant materials // *Reactive and Functional Polymers.* – 2008. – Vol. 68. – N 12. – Pp.1619-1624.
5. Bozhenkova G.S., Samochernova A.P., Ashirov R.V., Lyapkov A.A. Polymers Based on Norbornene Derivatives // *Procedia Chemistry.* – 2015. – Vol. 15. – Pp.8-13.
6. Capan I., Servi S. Synthesis of New C₂-Symmetric Chiral Benzimidazole Derivatives Having Norbornene/Dibenzobarrelene Skeletons // *Letters in Organic Chemistry.* – 2019. – Vol. 16. – N 10. – Pp.80-1805.
7. Capan I., Servi S., Dalkilic S., Kadioglu L. Synthesis and Anticancer Evaluation of Benzimidazole Derivatives Having Norbornene/Dibenzobarrelene Skeletons and Different Functional Groups // *ChemistrySelect.* – 2020. – Vol. 5. – N 45. – Pp.132-150.
8. Chia-Jung L., Lin Y-H., Chiang T-Ch., Yang Ch. Synthesis of the polymers containing norbornene and tetraphenylethene by ring-opening metathesis polymerization and their structural characterization, aggregation-induced emission and aniline detection // *Polymer.* – 2022. – Vol. 260. – N 11. – Pp.25374-125382.
9. Cherepanova M., Kiss L., Sillanpaa R., Fulop F. Synthesis of novel functionalized cispentacins through C–C oxidative cleavage of diendo-norbornene β -amino acid // *RSC Advances.* – 2013. – Vol. 3. – N 25. – Pp.9757-9763.
10. Colak S., Tew G. Synthesis and Solution Properties of Norbornene Based Polybetaines // *Macromolecules.* – 2008. – Vol. 41. – N 22. – Pp.8436-8440.
11. Fodor E., Maftai C-V., Freytag M., Neda I. Clarification of stereochemistry aspects for N-hydroxy-5-norbornene-2,3-dicarboximide derivatives and elucidation of them by experimental and theoretical investigations, including the synthesis of N, N'-bis-(5-exo-norbornene-2,3-

dicarboxyimidyl) carbonate // *Revue Roumaine de Chimie*. – 2018, - Vol, 63. – N 3. – Pp.235-255.

12. Fujino M., Kobayashi S., Obayashi M., Fukuda T. The use of N-hydroxy-5-morbornene-2,3-dicarboximide active esters in peptide synthesis // *Chem. Pharm. Bull. (Tokyo)*. – 1974. – Vol. 22. – N 8. – Pp.1857-1863.

13. Gareth-Davies R., Gibson V., Hursthouse M.B., Light M.E. Synthesis of nucleic-acid base containing norbornene derivatives as monomers for ring-opening-metathesis-polymerization // *Journal of the Chemical Society. Perkin Transactions 1*. – 2001. – Vol. 1. – N 24. – Pp.3365-3381.

14. Gupta N. A Review on recent developments in the anticancer potential of oleanolic acid and its analogs (2017-2020). // *Mini-Reviews in Medicinal Chemistry*. – 2022. – N 4. – Pp.600-616.

15. Hibbs D., Hursthouse M.B., Jones I.G., Jones W. Synthesis of Peptides and Pseudopeptides Incorporating an endo-(2S,3R)-Norborn-5-ene Residue as a Turn Inducer // *Journal of Organic Chemistry*. – 1998. – Vol. 63. – N 5. – Pp.1496-1504.

16. Hossain D., Lavoie G. Synthesis of Vicinal Diamino-endo, cis-Norbornene Derivatives // *Synthetic Communications*. – 2012. – Vol. 42. – N 8. – Pp.1200-1210.

17. Hossain D., Lavoie G. Synthesis of Vicinal Diamino-endo, cis-Norbornene Derivatives // *ChemInform*. – 2012. – Vol. 43. – N 35. – Pp.216-222.

18. Isayev A.K., Kasyan L.I., Golodayeva E.A., Karpenko D.V. Amides containing two norbornene fragments. Synthesis and chemical transformations // *Russian Journal of Organic Chemistry*. – 2004. – Vol. 40. – Pp.1415-1426.

19. Jones I.G., North M. The use of norbornene derivatives in the synthesis of conformationally constrained peptides and pseudo-peptides // *Letters in Peptide Science*. – 1998. – Vol. 5. Pp.171-173.

20. Kotha S., Gunta R. Bridgehead vicinal diallylation of norbornene derivatives and extension to propellane derivatives via ring-closing metathesis // *Beilstein J. Org. Chem*. – 2016. – Vol. 22. – N 12. – Pp.1877-1883.

21. Kiss L., Cherepanova M., Forro E., Fulop F. A new access route to functionalized cispentacins from norbornene β -amino acids // *Chemistry*. – 2013. – Vol. 19. – N 6. – Pp.219202197.

22. Kaminski K., Obniska J., Wiklik B., Atamanyuk D. Synthesis and anticonvulsant properties of new acetamide derivatives of phthalimide, and its saturated cyclohexane and norbornene analogs // *European Journal of Medicinal Chemistry*. – 2011. – Vol. 46. – N 9. – Pp.4624-4641.

23. Kasyan L.I., Tarabara I.N., Bondarenko Y.S., Shishkina S.V. Structure and Reactivity of Bicyclo[2.2.1]hept-2-ene- endo-5, endo-6-

dicarboxylic (endic) Acid Hydrazide // Russian Journal of Organic Chemistry. – 2003. – Vol. 39. – Pp.1676-1678.

24. Kasyan L., Tarabara I., Podolyin Y. Azabrendanes V. Synthesis and reactions of stereoisomeric exo- and endo-5-aminomethylbicyclo[2.2.1]hept-2-ene-based ureas // Open Chemistry. – 2008. – Vol. 6. – N 2. – Pp.161-174.

25. Kasyan A.O., Zlenko E.T., Okovityi S.I., Kasyan L.I. Derivatives of exo-5-Aminomethyl-endo-5-methylbicyclo[2.2.1]hept-2-ene and exo-5-Aminomethyl-endo-5-methyl-exo-2,3-epoxybicyclo[2.2.1]heptanes // Russian Journal of Organic Chemistry. – 2001. – Vol. 37. – N 11. – Pp.1564-1569.

26. Mammadbayli E.H., Babayeva V.H., Salamova N.V. Synthesis of pentyl bromide complex of amide based on bicycle[2.2.1]-hrpt-5-ene-2-carboxylic acid and triethylenetetraamine and its applications as an oil collecting and il\oil dispersing reagent // Processes of Petrochemistry and Oil Refining. – 2024. – Vol. 23. – N 1. – Pp.30-42.

27. Maynard H., Okada Sh., Grubbs R. Synthesis of Norbornenyl Polymers with Bioactive Oligopeptides by Ring-Opening Metathesis Polymerization // Macromolecules. – 2000. – Vol. 33. – N 17. – Pp.6239-6248.

28. Nishimura O., Hatanaka Ch., Fujino M. Synthesis of Peptides related to Corticotropin (ACTH). IX. Application of N-Hydroxy-5-norbornene-2, 3-dicarboximide Active Ester Procedure to the Synthesis of Human Adrenocorticotrophic Hormone (α h-ACTH) // Chemical and Pharmaceutical Bulletin. – 1975. – Vol. 23.- N 6. – Pp.1212-1220.

29. Nagiyev Y.M. Synthesis of New Halogen-Containing Norbornene Adducts Based on N-Substituted Imides of 2,3-Dichlorobicyclo [2.2.1] Hept-5-ene-2,3- Dicarboxylic Acids and Hexachlorocyclopentadiene // Organic Chemistry Current Research. – 2018. – Vol. 7. – N 2. – Pp.1-3.

30. Nagiyev Y.M. Synthesis of N-Substituted 2,3-Dichlorobicyclo[2.2.2]oct-5-ene-2,3-dicarboxylic Acid Imides // Russian Journal of Organic Chemistry. – 2012. – Vol. 48. – N 3. – Pp.15-23.

31. Nagiyev Y.M. Synthesis and application of halogen-substituted N-maleimides. – 2022. – Vol. 23. – N 2. – Pp.269-291.

32. Оковитая Т.С., Тарабара И.Н. Синтез и некоторые реакции 2-(3,5-диоксо-4-азатрицикло(5.2.2.0^{2,6})-ундец-8-ен-4-ил)пропановой кислоты на основе доступного 4-оксатрицикло(5.2.2.0^{2,6})-ундец-8-ен-3,5-диона // Вестник Днепропетровского Университета. Серия Химия. - 2013. - № 19. – С. 49-54.

33. Okovityi S.N., Kasyan L.I., Tarabara I.N., Kasyan A.O. New tricyclic amides. Synthesis, structure and oxidation with peroxyphthalic acid // Russian Journal of Organic Chemistry. – 2005. – Vol. 41. – N 6. – Pp.816-824.

34. Ohno M., Costanzi S., Kim H., Kempeneers V. Nucleotide analogues containing 2-oxa-bicyclo[2.2.1]heptane and 1- α -threofuranosyl ring systems: interactions with P2Y receptors // *Bioorg. Med. Chem.* – 2004. – Vol. 12. – N 21. – Pp.5619-5630.
35. Pat. 103288712A. CN. 2012. Norbornene monomer, as well as polymer and preparation method thereof
36. Pineda-Contreras A., Hernandez-Madriral J., Varquez-Vuelvas O., Fomine S. Synthesis and ROMP of new sulfobetaine and carboxybetaine norbornene // *e-Polymers.* – 2016. – Vol. 16. – N 3. – Pp.266-273.
37. Pat. S60174753A. JP. 1984. Norbornane- and norbornene-carboxylic acid amide, manufacture and use
38. Pat. 0150015. EP. 1984. Norbornane and norbornene carboxylic acid amides, process for their preparation and their use as medicines
39. Ruffoni A., Contini A., Soave R., Presti L. Model peptides containing the 3-sulfanyl-norbornene amino acid, a conformationally constrained cysteine analogue effective inducer of 310-helix secondary structures // *RSC Advances*, - 2015. – Vol. 5. – N 41. – Pp.32643-32656.
40. Spring A., Feng Y., Qiu F., Yamamoto K. The preparation of well-controlled poly(N-cyclohexyl-exo-norbornene-5,6-dicarboximide) polymers // *Polymer Journal.* – 2014. – Vol. 46. – Pp.576-583.
41. Spring A., Feng Q., Yokoyama Sh. High stability poly(N-adamantyl-exo-norbornene-5,6-dicarboximide) and phenyl vinylene thiophene electro-optic host-guest system // *European Polymer Journal* . – 2016. – Vol. 84. – N 11. – Pp.89-99.
42. Spring A., MAEDA d., Ozawa M., Odoi K. Glass transition temperature control by poly(norbornene-dicarboximide) copolymers. // *Polymer Bulletin.* – 2015. – Vol. 72. – Pp.503-521.
43. Santiago A., Vargas J., Gavino R., Mikhail T. Synthesis and Ring-Opening Metathesis Polymerization of New Oxanorbornene Dicarboximides with Fluorine Pendant Groups // *Macromolecules Chemistry and Physics.* – 2007. – Vol. 208. – N 10. – Pp.1085-1092.
44. Shen Z-A., Guo J., Yixin L. Facile enantioselective synthesis of multi-substituted norbornanes/norbornenes using a latent synthon strategy // *Nature Communications.* – 2024. – Vol. 15. – Pp.8351-8357.
45. Sidorova A.E., Odlerova B.Z., Blockinger C.G. Synthesis and antimicrobial activity of 2-alkylthio-6--(bicyclo[2.2.1]hept-5-en-2,3-dicarboximidoniethylaniino)-benzothiazoles // *Chemical news.* – 1979. – Vol. 33. – N 4. – Pp.542-546.
46. Tienkopatchev M.A., Vargas J., Lopez-Gonzalez M., Riande E. Gas Transport in Polymers Prepared via Metathesis Copolymerization of exo-N-Phenyl-7-oxanorbornene-5,6-dicarboximide and Norbornene // *Macromolecules.* – 2003. – Vol. 36. – N 22. – Pp.8483-9499.
47. Tarabara I.N., Bondarenko Y.C., Kasyan L.I. New derivatives of 2-(3,5-dioxo-4-azatricyclo(5.2.1.0^{2,6})-rindo)dec-8-en-4-yl)acetic acid.

Synthesis and reactivity // Russian Journal of Organic Chemistry. – 2007. – Vol 43. – N 9. – Pp.1297-1304.

48. Tarabara I.N., Yarovoi M.Yu., Kasyan L.I. Synthesis and some reactions of bicycle[2.2.1]-hept-2-ene-endo-5,6-dicarboximidoacetic acid azide // Russian Journal of Organic Chemistry. – 2003 – Vol 39. – N 9. – Pp.1676-1678.

49. Tarabara I., Kasyan L., Savelyeva O., Kasyan A. Azabrendanes. III. Synthesis of Stereoisomeric Exo- and Endo-5- Acylaminomethyl-exo-2,3- epoxybicyclo[2.2.1]heptanes and their Reduction by Lithium Aluminum Hydride // Heteroatom Chemistry. – 2001. – Vol. 12.- N 3. – Pp.119-128.

50. Vargas J. Synthesis and ring-opening metathesis polymerization (ROMP) of new N-fluoro-phenylnorbornene dicarboximides by 2nd generation ruthenium alkylidene catalysts // Express Polymer Letters. – 2007. – Vol. 1. – N 5. – Pp.274-282.

REFERENCES

1. Akkurt M., Jarrahpour A., Shirvani P., Nawaz M. 2-(3,5-Dioxo-4-azatricyclo[5.2.1.0^{2,6}]dec-8-en-4-yl)acetic acid // Acta Crystallogr. Sect. E. Struct. Rep. Online. – 2013. – Vol. 69. – Pp.1404-1410.

2. Bednarczyk-Cwynar B., Ruszkowskp P., Atamanyuk D., Lesyk R. Hybrids of oleanolic acid with norbornene-2,3-dicarboximide-n-carboxylic acids as potential anticancer agents // Acta Pol. Pharma. – 2017. – Vol. 74. – N 3. – Pp.827-835.

3. Biagini S., Bush S., Gibson V., Mazzanol L. The synthesis of N-norbornenyl-amino acids and esters: Monomers for the preparation of well defined polymers // Tetrahedron. – 1995. – Vol. 51. – N 26. – Pp.7247-7262.

4. Binyuan L., Yang L., Mathews A., Wang Y. Synthesis of vinyl-type functionalized polynorbornenes with cyclic pendant imide side groups by using palladium-based catalyst for low dielectric constant materials // Reactive and Functional Polymers. – 2008. – Vol. 68. – N 12. – Pp.1619-1624.

5. Bozhenkova G.S., Samochernova A.P., Ashirov R.V., Lyapkov A.A. Polymers Based on Norbornene Derivatives // Procedia Chemistry. – 2015. – Vol. 15. – Pp.8-13.

6. Capan I., Servi S. Synthesis of New C₂-Symmetric Chiral Benzimidazole Derivatives Having Norbornene/Dibenzobarrelene Skeletons // Letters in Organic Chemistry. – 2019. – Vol. 16. – N 10. – Pp.80-1805.

7. Capan I., Servi S., Dalkilic S., Kadioglu L. Synthesis and Anticancer Evaluation of Benzimidazole Derivatives Having Norbornene/Dibenzobarrelene Skeletons and Different Functional Groups // ChemistrySelect. – 2020. – Vol. 5. – N 45. – pp.132-150.

8. Chia-Jung L., Lin Y-H., Chiang T-Ch., Yang Ch. Synthesis of the polymers containing norbornene and tetraphenylethene by ring-opening metathesis polymerization and their structural characterization, aggregation-induced emission and aniline detection // *Polymer*. – 2022. – Vol. 260. – N 11. – Pp.25374-125382.

9. Cherepanova M., Kiss L., Sillanpaa R., Fulop F. Synthesis of novel functionalized cispentacins through C–C oxidative cleavage of diendo-norbornene β -amino acid // *RSC Advances*. – 2013. – Vol. 3. – N 25. – Pp.9757-9763.

10. Colak S., Tew G. Synthesis and Solution Properties of Norbornene Based Polybetaines // *Macromolecules*. – 2008. – Vol. 41. – N 22. – Pp.8436-8440.

11. Fodor E., Maftei C-V., Freytag M., Neda I. Clarification of stereochemistry aspects for N-hydroxy-5-norbornene-2,3-dicarboximide derivatives and elucidation of them by experimental and theoretical investigations, including the synthesis of N, N'-bis-(5-exo-norbornene-2,3-dicarboxyimidyl) carbonate // *Revue Roumaine de Chimie*. – 2018, - Vol, 63. – N 3. – Pp.235-255.

12. Fujino M., Kobayashi S., Obayashi M., Fukuda T. The use of N-hydroxy-5-morbornene-2,3-dicarboximide active esters in peptide synthesis // *Chem. Pharm. Bull. (Tokyo)*. – 1974. – Vol. 22. – N 8. – Pp.1857-1863.

13. Gareth-Davies R., Gibson V., Hursthouse M.B., Light M.E. Synthesis of nucleic-acid base containing norbornene derivatives as monomers for ring-opening-metathesis-polymerization // *Journal of the Chemical Society. Perkin Transactions 1*. – 2001. – Vol. 1. – N 24. – Pp.3365-3381.

14. Gupta N. A Review on recent developments in the anticancer potential of oleanolic acid and its analogs (2017-2020). // *Mini-Reviews in Medicinal Chemistry*. – 2022. – N 4. – Pp.600-616.

15. Hibbs D., Hursthouse M.B., Jones I.G., Jones W. Synthesis of Peptides and Pseudopeptides Incorporating an endo-(2S,3R)-Norborn-5-ene Residue as a Turn Inducer // *Journal of Organic Chemistry*. – 1998. – Vol. 63. – N 5. – Pp.1496-1504.

16. Hossain D., Lavoie G. Synthesis of Vicinal Diamino-endo, cis-Norbornene Derivatives // *Synthetic Communications*. – 2012. – Vol. 42. – N 8. – Pp.1200-1210.

17. Hossain D., Lavoie G. Synthesis of Vicinal Diamino-endo, cis-Norbornene Derivatives // *ChemInform*. – 2012. – Vol. 43. – N 35. – Pp.216-222.

18. Isayev A.K., Kasyan L.I., Golodayeva E.A., Karpenko D.V. Amides containing two norbornene fragments. Synthesis and chemical transformations // *Russian Journal of Organic Chemistry*. – 2004. – Vol. 40. – Pp.1415-1426.

19. Jones I.G., North M. The use of norbornene derivatives in the synthesis of conformationally constrained peptides and pseudo-peptides // *Letters in Peptide Science*. – 1998. – Vol. 5. Pp.171-173.
20. Kotha S., Gunta R. Bridgehead vicinal diallylation of norbornene derivatives and extension to propellane derivatives via ring-closing metathesis // *Beilstein J. Org. Chem.* – 2016. – Vol. 22. – N 12. – Pp.1877-1883.
21. Kiss L., Cherepanova M., Forro E., Fulop F. A new access route to functionalized cispentacins from norbornene β -amino acids // *Chemistry*. – 2013. – Vol. 19. – N 6. – Pp.219202197.
22. Kaminski K., Obniska J., Wiklik B., Atamanyuk D. Synthesis and anticonvulsant properties of new acetamide derivatives of phthalimide, and its saturated cyclohexane and norbornene analogs // *European Journal of Medicinal Chemistry*. – 2011. – Vol. 46. – N 9. – Pp.4624-4641.
23. Kasyan L.I., Tarabara I.N., Bondarenko Y.S., Shishkina S.V. Structure and Reactivity of Bicyclo[2.2.1]hept-2-ene- endo-5, endo-6-dicarboxylic (endic) Acid Hydrazide // *Russian Journal of Organic Chemistry*. – 2003. – Vol. 39. – Pp.1676-1678.
24. Kasyan L., Tarabara I., Podolyin Y., Azabrendanes V. Synthesis and reactions of stereoisomeric exo- and endo-5-aminomethylbicyclo[2.2.1]hept-2-ene-based ureas // *Open Chemistry*. – 2008. – Vol. 6. – N 2. – Pp.161-174.
25. Kasyan A.O., Zlenko E.T., Okovityi S.I., Kasyan L.I. Derivatives of exo-5-Aminomethyl-endo-5-methylbicyclo[2.2.1]hept-2-ene and exo-5-Aminomethyl-endo-5-methyl-exo-2,3-epoxybicyclo[2.2.1]heptanes // *Russian Journal of Organic Chemistry*. – 2001. – Vol. 37. – N 11. – Pp.1564-1569.
26. Mammadbayli E.H., Babayeva V.H., Salamova N.V. Synthesis of pentyl bromide complex of amide based on bicycle[2.2.1]-hrpt-5-ene-2-carboxylic acid and triethylenetetraamine and its applications as an oil collecting and il\oil dispersing reagent // *Processes of Petrochemistry and Oil Refining*. – 2024. – Vol. 23. – N 1. – Pp.30-42.
27. Maynard H., Okada Sh., Grubbs R. Synthesis of Norbornenyl Polymers with Bioactive Oligopeptides by Ring-Opening Metathesis Polymerization // *Macromolecules*. – 2000. – Vol. 33. – N 17. – Pp.6239-6248.
28. Nishimura O., Hatanaka Ch., Fujino M. Synthesis of Peptides related to Corticotropin (ACTH). IX. Application of N-Hydroxy-5-norbornene-2, 3-dicarboximide Active Ester Procedure to the Synthesis of Human Adrenocorticotropic Hormone (α h-ACTH) // *Chemical and Pharmaceutical Bulletin*. – 1975. – Vol. 23.- N 6. – Pp.1212-1220.
29. Nagiyev Y.M. Synthesis of New Halogen-Containing Norbornene Adducts Based on N-Substituted Imides of 2,3-Dichlorbicyclo

[2.2.1] Hept-5-ene-2,3- Dicarboxylic Acids and Hexachlorocyclopentadiene // Organic Chemistry Current Research. – 2018. – Vol. 7. – N 2. – Pp.1-3.

30. Nagiyev Y.M. Synthesis of N-Substituted 2,3-Dichlorobicyclo[2.2.2]oct-5-ene-2,3-dicarboxylic Acid Imides // Russian Journal of Organic Chemistry. – 2012. – Vol. 48. – N 3. – Pp.15-23.

31. Nagiyev Y.M. Synthesis and application of halogen-substituted N-maleimides. – 2022. – Vol. 23. – N 2. – Pp.269-291.

32. Оковитая Т.С., Тарабара И.Н. Синтез и некоторые реакции 2-(3,5-диоксо-4-азатрицикло(5.2.2.0^{2,6})-ундец-8-ен-4-ил)пропановой кислоты на основе доступного 4-оксатрицикло(5.2.2.0^{2,6})-ундец-8-ен-3,5-диона // Вестник Днепропетровского Университета. Серия Химия. - 2013. - № 19. – С. 49-54.

33. Okovityi S.N., Kasyan L.I., Tarabara I.N., Kasyan A.O. New tricyclic amides. Synthesis, structure and oxidation with peroxyphthalic acid // Russian Journal of Organic Chemistry. – 2005. – Vol. 41. – N 6. – Pp.816-824.

34. Ohno M., Costanzi S., Kim H., Kempeneers V. Nucleotide analogues containing 2-oxa-bicyclo[2.2.1]heptane and 1- α -threofuranosyl ring systems: interactions with P2Y receptors // Bioorg. Med. Chem. – 2004. – Vol. 12. – N 21. – Pp.5619-5630.

35. Pat. 103288712A. CN. 2012. Norbornene monomer, as well as polymer and preparation method thereof

36. Pineda-Contreras A., Hernandez-Madriral J., Varquez-Vuelvas O., Fomine S. Synthesis and ROMP of new sulfobetaine and carboxybetaine norbornene // e-Polymers. – 2016. – Vol. 16. – N 3. – Pp.266-273.

37. Pat. S60174753A. JP. 1984. Norbornane- and norbornene-carboxylic acid amide, manufacture and use

38. Pat. 0150015. EP. 1984. Norbornane and norbornene carboxylic acid amides, process for their preparation and their use as medicines

39. Ruffoni A., Contini A., Soave R., Presti L. Model peptides containing the 3-sulfanyl-norbornene amino acid, a conformationally constrained cysteine analogue effective inducer of 310-helix secondary structures // RSC Advances, - 2015. – Vol. 5. – N 41. – Pp.32643-32656.

40. Spring A., Feng Y., Qiu F., Yamamoto K. The preparation of well-controlled poly(N-cyclohexyl-exo-norbornene-5,6-dicarboximide) polymers // Polymer Journal. – 2014. – Vol. 46. – Pp.576-583.

41. Spring A., Feng Q., Yokoyama Sh. High stability poly(N-adamantyl-exo-norbornene-5,6-dicarboximide) and phenyl vinylene thiophene electro-optic host-guest system // European Polymer Journal . – 2016. – Vol. 84. – N 11. – Pp.89-99.

42. Spring A., MAEDA d., Ozawa M., Odoi K. Glass transition temperature control by poly(norbornene-dicarboximide) copolymers. // Polymer Bulletin. – 2015. – Vol. 72. – Pp.503-521.

43. Santiago A., Vargas J., Gavino R., Mikhail T. Synthesis and Ring-Opening Metathesis Polymerization of New Oxanorbornene Dicarboximides with Fluorine Pendant Groups // *Macromolecules Chemistry and Physics*. – 2007. – Vol. 208. – N 10. – Pp.1085-1092.
44. Shen Z-A., Guo J., Yixin L. Facile enantioselective synthesis of multi-substituted norbornanes/norbornenes using a latent synthon strategy // *Nature Communications*. – 2024. – Vol. 15. – Pp.8351-8357.
45. Sidorova A.E., Odlerova B.Z., Blockinger C.G. Synthesis and antimicrobial activity of 2-alkylthio-6--(bicyclo[2.2.1]hept-5-en-2,3-dicarboximidoniethylaniino)-benzothiazoles // *Chemical news*. – 1979. – Vol. 33. – N 4. – Pp.542-546.
46. Tienkopatchev M.A., Vargas J., Lopez-Gonzalez M., Riande E. Gas Transport in Polymers Prepared via Metathesis Copolymerization of exo-N-Phenyl-7-oxanorbornene-5,6-dicarboximide and Norbornene // *Macromolecules*. – 2003. – Vol. 36. – N 22. – Pp.8483-9499.
47. Tarabara I.N., Bondarenko Y.C., Kasyan L.I. New derivatives of 2-(3,5-dioxo-4-azatricyclo(5.2.1.0^{2,6})-rindo)dec-8-en-4-yl)acetic acid. Synthesis and reactivity // *Russian Journal of Organic Chemistry*. – 2007. – Vol 43. – N 9. – Pp.1297-1304.
48. Tarabara I.N., Yarovoi M.Yu., Kasyan L.I. Synthesis and some reactions of bicycle[2.2.1]-hept-2-ene-endo-5,6-dicarboximidoacetic acid azide // *Russian Journal of Organic Chemistry*. – 2003 – Vol 39. – N 9. – Pp.1676-1678.
49. Tarabara I., Kasyan L., Savelyeva O., Kasyan A. Azabrendanes. III. Synthesis of Stereoisomeric Exo- and Endo-5- Acylaminomethyl-exo-2,3- epoxybicyclo[2.2.1]heptanes and their Reduction by Lithium Aluminum Hydride // *Heteroatom Chemistry*. – 2001. – Vol. 12.- N 3. – Pp.119-128.
50. Vargas J. Synthesis and ring-opening metathesis polymerization (ROMP) of new N-fluoro-phenylnorbornene dicarboximides by 2nd generation ruthenium alkylidene catalysts // *Express Polymer Letters*. – 2007. – Vol. 1. – N 5. – Pp.274-282.

Информация об авторах

В.Г. Бабаева – кандидат химических наук, стар. н.с. лаборатории «Изучение антимикробной активности и биоповреждений» ИНХП МНО Азербайджана, Баку;

Э.Г. Мамедбейли – доктор химических наук, профессор, зав. лаборатории «Изучение антимикробной активности и биоповреждений» ИНХП МНО Азербайджана, Баку

Information about the author

V.H. Babayeva – candidate of chemical sciences, leading researcher of laboratory "Study of antimicrob activity and biodamage" IPCP MES of Azerbaijan;

E.H. Mammadbayli – doctor of chemical sciences, professor, head of laboratory "Study of antimicrob activity and biodamage" IPCP MES of Azerbaijan.

Статья поступила в редакцию 24.07.2025; принята к публикации 12.09.2025.

The article was submitted 24.07.2025; accepted for publication 12.05.2025.

ХИМИЧЕСКИЕ НАУКИ

Научная статья

УДК 547.541.3

DOI 10.21510/3034-266X-2025-3-78-85

ФАРМАКОЛОГИЧЕСКАЯ АКТИВНОСТЬ ФЛАВАНОИДОВ

*Гюльсум Фариз гызы Гаджиева¹, Чингиз Князь оглу Расулов²,
Кенуль Ширзад гызы Алиева³, Гюнай Заман гызы Гейдарли⁴*
*^{1,2,3,4}Институт нефтехимических процессов Министерства
науки и образования Азербайджана, Баку
rchk49@mail.ru*

Аннотация. Флавоноиды представляют собой класс природных вторичных метаболитов растений, обладающих множественной активностью, включая антиоксидантные, противоопухолевые, противовоспалительные и антимикробные свойства. Наличие полифункциональных свойств флаваноидов ракрывает широкий интерес к этому классу органических соединений. В этой работе нами рассмотрены наиболее основные фармакологические возможности флаваноидов

Ключевые слова: флаваноиды, пищевые компоненты, медицинские препараты, комплексы металлов с флаваноидами

Для цитирования: Гаджиева Г.Ф., Расулов Ч.К., Алиева К.Ш., Гейдарли Г.З. Фармакологическая активность флаваноидов // Вестник Башкирского государственного педагогического университета им. М.Акмиллы. Серия: Естественные науки. 2025. № 3. С. 78-85.

CHEMICAL SCIENCES

Original article

PHARMACOLOGICAL ACTIVITY OF FLAVANOIDS

Gulsum Fariz Hajiyeveva¹, Rasulov Chingiz Qnyaz², Kenul Shirzad Aliyeva³, Gunay Zaman Heydarli⁴
*^{1,2,3,4}Institute of Petrochemical Processes of the Ministry of Science
and Education of Azerbaijan, Baku
rchk49@mail.ru*

Abstract. Flavonoids are a class of natural secondary plant metabolites that have multiple activities, including antioxidant, antitumor, anti-inflammatory and antimicrobial properties. The presence of polyfunctional properties of flavonoids has led to widespread interest in this

class of organic compounds. In this paper, we review the most basic pharmacological capabilities of flavonoids.

Keywords: flavanoids, food components, medical preparations, metal complexes with flavanoids

For citing: Hajiyeva G.F., Rasulov Ch.Q., Aliyeva K.Sh., Heydarli G.Z Pharmacological activity of flavonoids // Bulletin of Bashkir State Pedagogical University named after M. Akmully. Series: Natural Sciences. 2025. № 3. pp. 78-85.

Флавоноиды вызвали большой интерес к исследованиям, поскольку они представляют большое разнообразие биологической активности [1]. Флавоноиды – это группа полифенольных соединений, содержащихся в овощах, фруктах и других растениях, которые обладают значительной антиоксидантной, противоопухолевой и противовоспалительной активностью [2]. Некоторые виды рака желудочно-кишечного тракта (ЖКТ) являются наиболее распространёнными злокачественными опухолями в мире. Большое количество исследований показало, что флавоноиды оказывают ингибирующее действие на рак, и они признаны классом потенциальных противоопухолевых препаратов. Поэтому в настоящем обзоре исследованы молекулярные механизмы действия флавоноидов при лечении различных видов рака ЖКТ и обобщены системы доставки лекарств, обычно используемые для повышения их биодоступности. Сначала была кратко представлена классификация флавоноидов и терапевтическое действие различных флавоноидов на заболевания человека. Затем, чтобы прояснить механизм действия флавоноидов на различные типы рака ЖКТ в организме человека, были рассмотрены метаболический процесс флавоноидов в организме человека и связанные с ним сигнальные пути, вызывающие пять распространённых типов рака ЖКТ, а также соответствующие терапевтические мишени флавоноидов. Наконец, в клинических условиях флавоноиды характеризуются плохой растворимостью в воде, низкой проницаемостью и низкой стабильностью, что приводит к низкой эффективности абсорбции *in vivo*. Таким образом, были обобщены три наиболее широко используемые системы доставки лекарственных средств. Также были предложены предложения по улучшению биодоступности флавоноидов и определены направления следующего этапа исследований.

Среди многочисленных продуктов, доступных из растений, суперсемейство флавоноидов играет центральную роль благодаря своему большому количеству молекул (более 6000), а также роли, которую эти продукты играют в нормальной физиологии растений [3]. Флавоноиды являются вторичными растительными метаболитами, участвующими в нескольких биологических процессах (например,

прорастание, защита от УФ-излучения, инсектициды), а также участвуют в привлечении опылителей благодаря ярким цветам антоциановых пигментов, обнаруженных в цветах (например, синий, фиолетовый, желтый, оранжевый и красный). Флавоноиды встречаются в обычном рационе людей а изофлавоноиды в основном встречаются в продуктах, полученных из соевых бобов.

Острая ишемия миокарда является одной из основных причин заболеваний в западном обществе. Снижение коронарного кровоснабжения приводит к гибели клеток и потере популяции кардиомиоцитов, что приводит к серьёзным и часто необратимым последствиям для функции миокарда. Митохондриальные калиевые (митоК) каналы были идентифицированы как тонкие регуляторы функции митохондрий и, следовательно, метаболизма всей клетки, а также механизмов, лежащих в основе кардиопротекции. Интересно, что митоК-каналы представляют собой новую предполагаемую мишень для лечения сердечно-сосудистых заболеваний, в частности инфаркта миокарда, а их модуляторы – интересный инструмент для фармакологического вмешательства [4]. В данном обзоре авторы поставили перед собой задачу отбора флавоноидов, проявляющих кардиопротекторные свойства посредством активации митоК-каналов. Был представлен краткий обзор основных данных о митоК-каналах и их участии в индукции цитопротекторных процессов. Затем было показано, что нарингенин, кверцетин, морин, теафлавин, байкалеин, галлат эпигаллокатехина, генистеин, пуэрарин, лютеолин и проантоцианидины являются эффективными модуляторами активности мито-К-каналов, оказывая множество полезных эффектов. Была изучена патофизиологическая роль мито-К-каналов, а также влияние флавоноидов на этот мишень, с особым вниманием к их потенциальной роли в профилактике сердечно-сосудистых заболеваний.

Флавоноиды представляют собой замечательную группу вторичных метаболитов растений и давно используются в качестве традиционных лекарств с научно доказанной фармакологической пользой [5]. Они обладают широким спектром медицинских свойств, что может привести к открытию новых лекарственных средств с потенциально терапевтическими данными. Последние исследования в первую очередь подчеркивают функциональную активность флавоноидов как антиоксидантов, противодействующих окислительному стрессу. Этот обзор освещает перспективную роль флавоноидов как антиоксидантов.

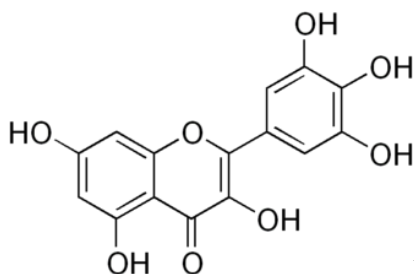
Фенольные соединения образуют один из основных классов вторичных метаболитов. Они обладают широким спектром структур и отвечают за основные органолептические характеристики продуктов питания и напитков растительного происхождения, в частности, за

цвет и вкус [6]. Они также вносят вклад в пищевую ценность фруктов и овощей. Среди этих соединений флавоноиды составляют одну из наиболее распространенных групп растительных фенолов. В связи с их важностью для органолептических свойств пищевых продуктов и здоровья человека, более глубокое понимание их структуры и биологической активности указывает на их потенциал в качестве терапевтических средств, а также для прогнозирования и контроля качества пищевых продуктов. В связи с разнообразием фармакологической активности в организме млекопитающих, флавоноиды правильнее называть «нутрицевтиками».

Флавоноиды – это большая группа растительных фенолов, включающая почти 10 000 различных соединений с общей химической структурой, состоящей из двух ароматических колец, соединенных трехуглеродной цепью, как правило, образующей гетероциклическое кольцо (C6–C3–C6) [7]. Интерес к этим вторичным метаболитам в последние годы возрос экспоненциально в связи с их предполагаемым полезным воздействием на здоровье человека. Сообщалось, что флавоноиды – и другие фенолы – проявляют антибактериальную, противовирусную, противовоспалительную, антилипидемическую или антидиабетическую активность, а также обладают нейропротекторными, гепатопротекторными и кардиопротекторными свойствами. Антоцианы, в частности, кажутся эффективными противоопухолевыми соединениями, по крайней мере, в линиях опухолевых клеток человека и в мышинных моделях. Эти свойства, по-видимому, обусловлены сильным антиоксидантным характером флавоноидов и их способностью нейтрализовать «активные формы кислорода» (АФК), которые в избытке вызывают окислительное повреждение клеток. Следовательно, фрукты и овощи, богатые флавоноидами, должны способствовать здоровому питанию. Однако флавоноиды не присутствуют в растениях, что может быть полезным для человека. Они выполняют множество разрозненных биологических функций, в основном опосредуя взаимодействие растений с окружающей средой: привлекая животных для опыления и распространения семян, выступая в качестве сигнальных молекул при взаимодействии растений с микроорганизмами или участвуя в защите растений от патогенов. Они также участвуют в механизмах устойчивости практически ко всем видам абиотического стресса, включая УФ-излучение, экстремальные температуры, воздействие озона, засуху или засоление. Поскольку абиотические стрессы вызывают повышение уровня активных форм кислорода в клетках, эти последние функции, по-видимому, основаны на антиоксидантной активности флавоноидов, аналогично их предполагаемому положительному влиянию на здоровье человека при использовании в

качестве пищевых компонентов, нутрицевтиков или даже фармакологических препаратов.

Мирицетин относится к группе флавоноидов, называемых флавонолами. Мирицетин получают из различных фруктов, овощей, чая, ягод и красного вина. Мирицетин характеризуется наличием пиррогаллолового В-кольца, а более гидроксированная структура, как известно, обуславливает его улучшенные биологические свойства по сравнению с другими флавонолами [8]. Мирицетин производится семействами Myricaceae, Anacardiaceae, Polygonaceae, Pinaceae и Primulaceae. Он растворим в органических растворителях, таких как этанол, ДМСО (диметилсульфоксид) и диметилформамид (ДМФ). Он плохо растворим в водных буферных растворах. В данной обзорной статье основное внимание уделяется фармакологическим эффектам мирицетина при различных заболеваниях, таких как остеопоротические расстройства, противовоспалительные расстройства, болезнь Альцгеймера, противозипилептические средства, рак, сердечные расстройства, диабетические метаболические расстройства, гепатопротекторные расстройства и гастропротекторные расстройства.



мирицетин

Образование свободных радикалов – физиологическое явление, обусловленное, главным образом, процессом клеточного дыхания, а сверхактивация NOX приводит к избыточной продукции активных форм кислорода (АФК), связанной с окислительным стрессом. *Chrysobalanus icaco*, лекарственное растение семейства *Chrysobalanaceae*, содержит большое количество полифенолов, включая фенольные кислоты и флавоноиды [9]. В связи с его фитохимическим составом, целью данного исследования была оценка антиоксидантного потенциала водно-спиртового экстракта из листьев *Chrysobalanus icaco* (HECi) и ингибиторного потенциала его основных флавоноидов в отношении NOX. Для подтверждения экспериментальных результатов также были выполнены компьютерные прогнозы абсорбции, распределения, метаболизма, выведения и токсичности (ADMET), свойств лекарственного сходства и молекулярной стыковки с ферментом NOX (код PDB 2CDU). Фитохимический скрининг HECi показал наличие фенолов и

флавоноидов. HECi проявил превосходную антиоксидантную активность ($IC_{50} = 8,1$ мкг/мл), вероятно, благодаря его богатому фенольному ($220,11 \pm 0,4$ мг GAE/г) и флавоноидному ($110,98 \pm 0,37$ мг QE/г) составу. Прогноз ADMET показал, что мирицетин и кверцетин обладают наилучшими фармакокинетическими параметрами. Результаты молекулярного докинга показали, что мирицетин и, особенно, кверцетин имеют высокую оценку докинга с NOX ($\Delta G = -8,1$ ккал/моль и $\Delta G = -8,3$ ккал/моль соответственно). Анализы Frontier Orbital (HOMO и LUMO) показали, что кверцетин обладает лучшими антиоксидантными свойствами, чем мирицетин. Наши результаты впервые демонстрируют *in silico* действие кверцетина против NOX, а также подтверждают антиоксидантный потенциал C. icaso.

Наблюдается экспоненциальный рост числа исследований, изучающих взаимодействие различных компонентов рациона на молекулярном и клеточном уровне, определяя судьбу клетки [10]. В этом обзоре также рассмотрены некоторые современные производные флавоноидов, которые играют важную роль в борьбе с раком.

Таким образом, флавоноиды – это полифенольные соединения с 15-углеродным основным каркасом (C6-C3-C6), обладающие высокой биологической активностью и находящихся широкое применение в фармацевтической области и медицине.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Juca M.M., Filho F.M., Aldeida J.C., Mesquita D.S. Flavonoids: biological activities and therapeutic potential // Natural Product Research. – 2020. – Vol. 34. – N 5. – Pp.692-705.
2. Ding Y., Yong Y. Therapeutic potential of flavonoids in gastrointestinal cancer: Focus on signaling pathways and improvement strategies (Review) // Molecular Medicine Reports. – 2025. – N 2. – Pp.109-117.
3. Chabot G.G., Touil Y., Pham M-H., Dauzonne D. Flavonoids in Cancer Prevention and Therapy: Chemistry, Pharmacology, Mechanisms of Action, and Perspectives for Cancer Drug Discovery // Chapter in book Alternative and Complementary Therapies for Cancer.– 2010. – Pp.583-612.
4. Kampa R., Sek A., Bednarczyk P., Szewczyk P. Flavonoids as new regulators of mitochondrial potassium channels: contribution to cardioprotection // Journal of Pharmacy and Pharmacology. – 2023. – Vol. 75. – N 4. – Pp.466-481.
5. Banjarnahor S.D., Artanti N. Antioxidant properties of flavonoids // Med. J. of Indonesia. – 2014. – Vol. 23. – N 4. – Pp.239-244.

6. Jain P.K., Kharya M.D., Gajbhiye A., Sata U.S., Sharm V.K. Flavonoids as nutraceuticals. A review // *Kerla Polonica*. – 2010. – Vol. 56. – N 2. – Pp.105-118.

7. Vicente O., Boscaiu M. Flavonoids: Antioxidant Compounds for Plant Defence and for a Healthy Human Diet // *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca*. – 2018. – Vol. 46. – N 1. – Pp.320-328.

8. Gupta G., Siddiqui M.A., Anmal M., Ahssan R. Current Pharmacological Trends on Myricetin // *Drug Res. (Stuttg.)*. – 2020. – Vol. 70. – N 10. – Pp.448-454.

9. Pedrosa L.V., Trindade S., Carneiro A., Silva P. Computational study of the main flavonoids from *Chrysobalanus icaco* L. against NADPH-oxidase and in vitro Antioxidant Activity // *Research, Society and Development*. – 2022. – Vol. 11. – N 6. – Pp.1-18.

10. Chahar M., Sharma N., Dobhal M., Joshi Y. Flavonoids: A versatile source of anticancer drugs // *Pharmacognosy Reviews*. – 2011. – Vol. 5. – N 9. – Pp.1-12.

11. Doloking H., Mukhriani S., Ningsi S., Tahar N. Flavonoids: A Review on Extraction, Identification, Quantification, and Antioxidant Activity // *Ad-Dawaa Journal of Pharmaceutical Sciences*. – 2022. – Vol. 5. – N 1. – Pp.1-26.

REFERENCES

1. Juca M.M., Filho F.M., Aldeida J.C., Mesquita D.S. Flavonoids: biological activities and therapeutic potential // *Natural Product Research*. – 2020. – Vol. 34. – N 5. – Pp.692-705.

2. Ding Y., Yong Y. Therapeutic potential of flavonoids in gastrointestinal cancer: Focus on signaling pathways and improvement strategies (Review) // *Molecular Medicine Reports*. – 2025. – N 2. – Pp.109-117.

3. Chabot G.G., Touil Y., Pham M-H., Dauzonne D. Flavonoids in Cancer Prevention and Therapy: Chemistry, Pharmacology, Mechanisms of Action, and Perspectives for Cancer Drug Discovery // Chapter in book *Alternative and Complementary Therapies for Cancer*. – 2010. – Pp.583-612.

4. Kampa R., Sek A., Bednarczyk P., Szewczyk P. Flavonoids as new regulators of mitochondrial potassium channels: contribution to cardioprotection // *Journal of Pharmacy and Pharmacology*. – 2023. – Vol. 75. – N 4. – Pp.466-481.

5. Banjarnahor S.D., Artanti N. Antioxidant properties of flavonoids // *Med. J. of Indonesia*. – 2014. – Vol. 23. – N 4. – Pp.239-244.

6. Jain P.K., Kharya M.D., Gajbhiye A., Sata U.S., Sharm V.K. Flavonoids as nutraceuticals. A review // *Kerla Polonica*. – 2010. – Vol. 56. – N 2. – Pp.105-118.

7. Vicente O., Boscaiu M. Flavonoids: Antioxidant Compounds for Plant Defence... and for a Healthy Human Diet // Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca. – 2018. – Vol. 46. – N 1. – Pp.320-328.

8. Gupta G., Siddiqui M.A., Anmal M., Ahssan R. Current Pharmacological Trends on Myricetin // Drug Res. (Stuttg.). – 2020. – Vol. 70. – N 10. – Pp.448-454.

9. Pedrosa L.V., Trindade S., Carneiro A., Silva P. Computational study of the main flavonoids from Chrysobalanus icaco L. against NADPH-oxidase and in vitro Antioxidant Activity // Research, Society and Development. – 2022. – Vol. 11. – N 6. – Pp.1-18.

10. Chahar M., Sharma N., Dobhal M., Joshi Y. Flavonoids: A versatile source of anticancer drugs // Pharmacognosy Reviews. – 2011. – Vol. 5. – N 9. – Pp.1-12.

11. Doloking H., Mukhrani S., Ningsi S., Tahar N. Flavonoids: A Review on Extraction, Identification, Quantification, and Antioxidant Activity // Ad-Dawaa Journal of Pharmaceutical Sciences. – 2022. – Vol. 5. – N 1. – pp.1-26.

Информация об авторах

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

Г.Ф. Гаджиева – докторант лаборатории «Химия и технология циклоалкилфенолов» ИНХП МНО Азербайджана

Ч.К. Расулов – доктор химических наук, профессор, заведующий лабораторией «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.F. Hajiyeva – doctoral student 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 24.07.2025; принята к публикации 12.09.2025.

The article was submitted 24.07.2025; accepted for publication 12.05.2025.

ХИМИЧЕСКИЕ НАУКИ

Научная статья

УДК 547.541.3

DOI 10.21510/3034-266X-2025-3-86-95

ПРИМЕНЕНИЕ ФЛАВАНОИДОВ В ПИЩЕВОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

*Гюнай Заман гызы Гейдарли¹, Чингиз Князь оглу Расулов²,
Чимназ Гафар гызы Салманова³, Гюльсум Фариз гызы
Гаджиева⁴*

*^{1,2,3,4}Институт Нефтехимических процессов Министерства
Науки и Образования Азербайджана, Баку
heyderligunay6@gmail.com*

Аннотация. Известно, что флавоноиды в небольших количествах содержатся в съедобных растениях и продуктах питания. Особое внимание уделяется пищевым продуктам, богатым флавоноидами, таким как виноград, чай и какао. Также обсуждаются потребление флавоноидов, их абсорбция и биодоступность *in vivo*. Флавоноиды находят широкое применение в пищевой промышленности и интерес к ним постоянно растет в связи с их большой потенциальной возможностью для пищевой индустрии

Ключевые слова: флавоноиды, пищевые компоненты, растительные организмы, биодоступность

Для цитирования: Гейдарли Г.З., Расулов Ч.К., Салманова Ч.Г., Гаджиева Г.Ф. Применение флавоноидов в пищевой промышленности // Вестник Башкирского государственного педагогического университета им. М.Акмиллы. Серия: Естественные науки. 2025. № 3. С. 86-95.

CHEMICAL SCIENCES

Original article

APPLICATION OF FLAVANOIDS IN FOOD INDUSTRY

*Gunay Zaman Heydarli¹, Rasulov Chingiz Qnyaz², Chimnaz Qafar
Salmanova³, Gulsum Fariz Hajiyeva⁴*

*^{1,2,3,4}Institute of Petrochemical Processes of the Ministry of Science
and Education of Azerbaijan, Baku
heyderligunay6@gmail.com*

Abstract. Flavonoids are known to be present in small amounts in edible plants and food products. Particular attention is paid to flavonoid-rich foods such as grapes, tea and cocoa. Flavonoid intake, absorption and bioavailability in vivo are also discussed. Flavonoids are widely used in the food industry and interest in them is constantly increasing due to their great potential for the food industry

Keywords: flavonoids, food components, plant organisms, bioavailability

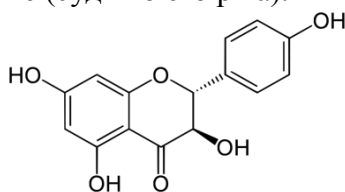
For citing: Heydarli G.Z, Rasulov Ch.Q., Salmanova Ch.Q., Hajiyeva G.F. Application of flavanoids in food industry // Bulletin of Bashkir State Pedagogical University named after M. Akmully. Series: Natural Sciences. 2025. № 3. pp. 86-95.

Известно, что флавоноиды оказывают положительное влияние на здоровье человека и животных и используются для терапии заболеваний и химиопрофилактики [1]. В этой работе представлены последние достижения в области применения производных полифенолов (флавоноидов) для лечения и профилактики заболеваний. В ней обобщена классификация флавоноидов и рассматривается их потенциал в качестве иммуностимулирующих соединений, способствующих поддержанию психического здоровья, профилактики сердечно-сосудистых заболеваний, их антимикробное и противовоспалительное действие, их применение для расширения сосудов, в дерматологии и косметических препаратах и т.д. Рассматриваются различные методы экстракции флавоноидов, включая основные параметры экстракции, такие как температура, используемый растворитель, количество образца, время экстракции и т.д. В работе также рассматривается роль флавоноидов в устойчивом сельском хозяйстве.

Выработка флавоноидов в растениях усиливается в ответ на стрессы, такие как грибковая или бактериальная инфекция или воздействие УФ-излучения. Недавний интерес научного сообщества к флавоноидам в пищевых продуктах обусловлен разнообразными биологическими свойствами некоторых флавоноидных соединений; к ним относятся антиоксидантные, антимикробные и, возможно, антиканцерогенные и/или кардиопротекторные эффекты. Поэтому база данных по составу флавоноидов в пищевых продуктах необходима для оценки связи между потреблением флавоноидов и факторами риска различных хронических дегенеративных заболеваний [2]. Авторы работы провели исчерпывающий обзор литературы, который выявил примерно 475 статей о флавоноидах с 1970 года, из которых около 125 статей содержали количественные аналитические данные по флавоноидам. Мы проанализировали все аналитические данные и оценили значения примерно для 220 продуктов питания для ключевых

флавоноидных соединений. Будут представлены данные по выбранным соединениям пяти интересующих нас подклассов флавоноидов (флавонолы, флавоны, флаваноны, флаваны и антоцианидины). Авторы отметили, что большинство имеющихся или существующих данных получены из исследований, проведенных в странах, кроме США. Для многих пищевых продуктов были доступны только отдельные значения, и аналитики часто концентрировались на количественной оценке одного или двух конкретных подклассов, поскольку отсутствовал подходящий аналитический метод для разделения и количественной оценки соединений всех пяти подклассов одновременно.

Дигидрокемпферол, также известный как аромадендрин, относится к классу органических соединений, известных как флаванолы, в семействе флавоноидов [3]. Флавоноиды – это вторичные метаболиты растений, обладающие различной фармакологической активностью, включая противовоспалительное, антиоксидантное, противоопухолевое и нейропротекторное действие. Благодаря своим полезным свойствам дигидрокемпферол используется в составе биологически активных добавок, нутрицевтиков и функциональных продуктов питания. Антиоксидантная активность фенольных соединений и флавоноидов зависит от количества гидроксильных групп в их структуре. Дигидрокемпферол – это тетрагидроксифлаванон, содержащий гидроксильные группы в положениях 3, 4', 5 и 7. Флаванолы – это соединения, содержащие фрагмент флаван-3-она, структура которых характеризуется 2-фенил-3,4-дигидро-2H-1-бензопираном, содержащим гидроксильную группу и кетонную группу при атомах углерода C2 и C3 соответственно. Дигидрокемпферол – чрезвычайно слабоосновное (практически нейтральное) соединение (судя по его pKa).



дигидрокемпферол

Дигидрокемпферол – это флаванол, обладающий разнообразными полезными свойствами, включая противовоспалительное, противовирусное, противоопухолевое, кардиопротекторное и нейропротекторное действие.

Флавоноиды и их полимеры составляют большой класс пищевых компонентов, многие из которых изменяют метаболические процессы и оказывают положительное влияние на здоровье. Флавоноиды являются подклассом полифенолов [4]. Они обычно состоят из двух ароматических колец, каждое из которых содержит по

крайней мере один гидроксил, которые соединены трехуглеродным «мостик» и становятся частью шестичленного гетероциклического кольца. Флавоноиды далее делятся на подклассы в зависимости от связи ароматического кольца с гетероциклическим кольцом, а также от степени окисления и функциональных групп гетероциклического кольца. Внутри каждого подкласса отдельные соединения характеризуются специфическими паттернами гидроксирования и конъюгации. Многие флавоноиды в пищевых продуктах также встречаются в виде крупных молекул (танинов). К ним относятся конденсированные танины (проантоцианидины), производные танины и гидролизуемые танины. Для проантоцианидинов в пищевых продуктах выявлено три подкласса (15 охарактеризованных). Мономеры соединены посредством специфических углерод-углеродных и эфирных связей, образуя полимеры. Производные танины образуются в процессе обработки и приготовления пищевых продуктов и встречаются в основном в черном чае и улуне. Флавоноиды широко распространены в природе, хотя и неравномерно. В результате определенные группы продуктов питания часто являются богатыми источниками одного или нескольких подклассов этих полифенолов. Полифенольная структура флавоноидов и танинов делает их весьма чувствительными к окислительным ферментам и условиям приготовления. Ученые из нескольких стран оценили потребление нескольких подклассов флавоноидов, используя ограниченные базы данных о составе пищевых продуктов. Эти наблюдения указывают на значительные различия в потреблении, отчасти обусловленные культурными и пищевыми предпочтениями населения каждой страны.

Флавоноиды не являются незаменимыми питательными веществами, поскольку их отсутствие в рационе не вызывает дефицитных состояний у животных и человека. Однако многие из них имеют важное сходство с фармакологическими препаратами, используемыми для лечения заболеваний [5]. Их роль в качестве диетических компонентов в профилактике заболеваний менее ясна. Многие потенциально антиканцерогенные и антиатерогенные эффекты, наблюдаемые в клеточных культурах, не будут иметь питательного значения, если флавоноиды не получают доступ к соответствующим клеточным участкам. Биодоступность флавоноидов будет зависеть от множества факторов, включая молекулярную структуру, потребляемое количество, пищевую матрицу, степень биоконверсии в кишечнике и тканях, пищевой статус хозяина и генетические факторы. Более того, обширный и быстрый кишечный и печеночный метаболизм флавоноидов предполагает, что организм может воспринимать их как ксенобиотики и потенциально токсичные соединения, требующие быстрого выведения. Следовательно, помимо

потенциальной пользы для здоровья, при оценке их роли в профилактике дегенеративных заболеваний необходимо учитывать и возможные побочные эффекты флавоноидов в рационе.

Растительные флавоноиды представляют собой важную группу вторичных метаболитов, и к настоящему времени описано около 6500 разновидностей флавоноидов [6]. Это полифенольные соединения, которые встречаются практически во всех видах растений. Сообщается о широкой биологической роли флавоноидов, которая включает противовирусную, антигепатотоксическую, терапевтическую, антибактериальную и другие функции в природе. Присутствие флавоноидов в листьях повышает физиологическую выживаемость растений, защищая их от паразитарных заболеваний и УФ-излучения. Кроме того, флавоноиды также играют роль в фотосенсибилизации, фотосинтезе, дыхании, определении пола и морфогенезе. Растительные флавоноиды, как правило, встречаются в низких, изменчивых концентрациях, и, следовательно, сложно найти их постоянный источник. Поэтому были изучены многочисленные биотехнологические подходы для увеличения производства этих биологически и фармакологически полезных соединений. Флавоноиды, в основном флавон-3-олы и проантоцианы, связаны со снижением риска сердечно-сосудистых заболеваний, усиливая выброс эндотелиального оксида азота и предотвращая сужение кровеносных сосудов. Сообщалось, что способность этих соединений нейтрализовать свободные радикалы может способствовать снижению риска развития рака. Флавоноиды также способны хелатировать (связывать) металлы, стимулировать иммунную систему, снижать аллергические реакции и защищать от бактерий и вирусов. В настоящем обзоре рассматриваются флавоноиды как нутрицевтики и фармацевтические препараты.

Флавоноиды, признанные фитонутриентами и природными биоактивными соединениями в кормах для животных, играют ключевую роль в повышении качества продуктов животного происхождения и укреплении здоровья животных [7]. Флавоноиды не синтезируются организмом человека и животных; они поступают из растений. Они характеризуются разнообразной фенольной структурой и широко представлены в различных источниках, таких как фрукты, овощи, зерновые, кора, корни, стебли и цветы. Их многогранные преимущества включают стимуляцию роста животных, улучшение качества продуктов животного происхождения, использование в качестве кормовых добавок и альтернативу антибиотикам в животноводстве. В среднем, по оценкам, человек ежедневно потребляет 10–100 мг флавоноидов с различными продуктами питания. Однако критическая оценка показывает, что достижение оптимального потребления флавоноидов в рационе является сложной задачей из-за

широкого спектра доступных типов, их широкого распространения среди различных растений и различий в моделях потребления как людьми, так и животными, которые остаются относительно низкими. Флавоноиды оказывают ингибирующее действие как на грамположительные, так и на грамотрицательные бактерии, однако комплексные механизмы, лежащие в основе их антибактериальных свойств, до конца не изучены. В данном обзоре исследовалось влияние флавоноидов на сахарный диабет, их антиоксидантные эффекты и антимикробные свойства. Наконец, также был изучен механизм действия и влияние флавоноидов на питание жвачных животных.

Флавоноиды являются наиболее распространенными полифенольными соединениями и важными диетическими компонентами, присутствующими в садовых культурах, таких как фрукты, овощи и чай [8]. Натуральные флавоноиды отвечают за важные качественные характеристики, такие как пищевые красители и полезные пищевые антиоксиданты, и многочисленные исследования показали, что потребление флавоноидов может снизить заболеваемость различными неинфекционными заболеваниями. Анализ тысяч флавоноидов, описанных к настоящему времени, показал, что различные модификации гидроксирования влияют на их химические свойства и пищевую ценность. Эти разнообразные флавоноиды можно классифицировать на основе различных паттернов гидроксирования в кольцах В, С и А, а множественные анализы структуры и активности показали, что декорирование гидроксирования в определенных положениях заметно усиливает их биологическую активность. В этом обзоре основное внимание уделяется современным знаниям о гидроксировании флавоноидов, катализируемом несколькими различными типами ферментов гидроксилаз. Флавоноид-3'-гидроксилаза (F3'H) и флавоноид-3'5'-гидроксилаза (F3'5'H) являются важными ферментами для гидроксирования кольца В флавоноидов. Флаванон-3-гидроксилаза (F3H) играет ключевую роль в гидроксировании кольца С, в то время как флаван-6-гидроксилаза (F6H) и флаван-8-гидроксилаза (F8H) являются ключевыми ферментами для гидроксирования кольца А. Эти ключевые гидроксилазы в пути биосинтеза флавоноидов являются перспективными целями для будущей биоинженерии растений и массового производства флавоноидов с заданными паттернами гидроксирования, имеющими высокую питательную ценность. Кроме того, гидроксирование в ключевых местах кольца может помочь подготовить флавоноиды к деградации, а катаболический оборот флавоноидов может открыть двери для новых направлений исследований.

Облучение пищевых продуктов направлено на уничтожение насекомых и микроорганизмов, тем самым повышая безопасность и

срок годности продуктов [9,10]. Флавоноиды – это повсеместно встречающиеся вторичные продукты растительного происхождения, обладающие способностью нейтрализовать радикалы. В настоящем исследовании оценивалась их антиоксидантная стабильность после гамма-облучения. Флавоноиды продемонстрировали быструю нейтрализующую способность, измеренную с помощью 2,2-дифенил-1-пикрилгидразильного радикала (DPPH) после высоких доз радиации. Низкий уровень повреждения антиоксидантной способности флавоноидов, вызванный облучением, свидетельствует об их потенциальном применении в борьбе с химическим окислением биомолекул в облученных пищевых продуктах. Применение флавоноидов в пищевой промышленности также стало предметом обсуждений в работах [11-16].

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Saini D., Kesharwani R.K., Keservani R.K. The Flavonoids Extraction and Applications // Book – 1-st Edition. – 2024. – 268 p.
2. Bhagwat S., Beecher G.R., Haytowitz D.B., Holden J.M. Development of a Database for Flavonoids in Foods // USDA. – 2024. – n 1. – Pp.1-3.
3. Bende V. Dihydrokaempferol in Food & Nutrition // Chemistry. – 2023. – N 2. – Pp.6-10.
4. Beecher G.R. Overview of Dietary Flavonoids: Nomenclature, Occurrence and Intake // Proceedings of the Third International Scientific Symposium on Tea and Human Health: Role of Flavonoids in the Diet. – 2023. – Pp.1-7.
5. Kyle J., Duthie G. Nutritional Relevance of Flavonoids in Disease Prevention // Natural Product Communications. – 2006. – Vol. 1. – N 11. – Pp.1049-1060.
6. Hayat M., Abbas M., Munir F., Qasim M.H. Potential of plant flavonoids in pharmaceuticals and nutraceuticals // Journal of Biomolecules and Biochemistry. – 2017, - Vol. 1. – N 1. – Pp.12-17.
7. Ony E.Q., Ugwoke J.L., Edeh H.Q., Onyimonyl A.E. A review: Flavonoid; A Phyto-nutrient and its impact in livestock animal nutrition // World Journal of Advanced Research and Reviews. – 2024. – Vol. 21. – N 1. – Pp.311-320.
8. Yilong L., Qian J., Li J., Menqyun X. Hydroxylation decoration patterns of flavonoids in horticultural crops: chemistry, bioactivity, and biosynthesis // Horticulture Research. – 2022. – Vol. 9 – Pp.68-74.
9. de Melo A.F., DE Souza M.S., Cavalcante A.C. Stability of the Antioxidant Activity of Flavonoids after Gamma Irradiation // Food and Nutrition Sciences. – 2011. – Vol. 2. – N 5. – Pp.15-21.

- 10.Kalantar M. The importance of flavanoids in ruminant nutrition // Archives of animal husbandry and dairy science. – 2018. – N 3. – Pp.178-184.
- 11.Zhang Y., Wang D., Yang L., Zhou D. Purification and Characterization of Flavonoids from the Leaves of Zanthoxylum bungeanum and Correlation between Their Structure and Antioxidant Activity // PLOS One. – 2014. – Vol. 26. – Pp.311-318.
- 12.Zhang Y., Wang Q., Huang M., Chen X. Unravelling the effect of flavonoids on the kinetic profiles of acrylamide in the Maillard reaction // RSC Advances. – 2015. – Vol. 5. – Pp.84084-84092.
- 13.El-Nashar H., Eldahshan A.Q., Hassab M., Zenqin G. UPLC/MSn analysis of Bougainvillea glabra leaves and investigation of antioxidant activities and enzyme inhibitory properties // Scientific Reports. – 2025. – Vol. 15. – Pp.28272-28279.
- 14.Wang L., Chen M., Lam P-Y., Dini-Andreote F.D. Multifaceted roles of flavonoids mediating plant-microbe interactions // Microbiome. – 2022. – Vol. 10. – Pp.233-241.
- 15.Danwei Y., Weirong C., Ding B., Zhu H. Separation and preparation of the main flavonoids in Flos Dolichoris Lablab and their antioxidant activity // Food Science and Technology Research. – 2021. – Vol. 27. – N 3. – Pp.429-440.
- 16.Novza Y.A., Popova E.M. Flavanoids – chemistry and biological activities // National Aviation University Reports (Kyiv). – 2022. – N 1. – Pp.1-10.

REFERENCES

1. Saini D., Kesharwani R.K., Keservani R.K. The FlavonoidsExtraction and Applications // Book – 1-st Edition. – 2024. – 268 p.
2. Bhagwat S., Beecher G.R., Haytowitz D.B., Holden J.M. Development of a Database for Flavonoids in Foods // USDA. – 2024. – n 1. – Pp.1-3.
- 3.Bende V. Dihydrokaempferol in Food & Nutrition // Chemistry. – 2023. – N 2. – pp.6-10.
- 4.Beecher G.R. Overview of Dietary Flavonoids: Nomenclature, Occurrence and Intake // Proceedings of the Third International Scientific Symposium on Tea and Human Health: Role of Flavonoids in the Diet. – 2023. – Pp.1-7.
- 5.Kyle J., Duthie G. Nutritional Relevance of Flavonoids in Disease Prevention // Natural Product Communications. – 2006. – Vol. 1. – N 11. – Pp.1049-1060.
- 6.Hayat M., Abbas M., Munir F., Qasim M.H. Potential of plant flavonoids in pharmaceuticals and nutraceuticals // Journal of Biomolecules and Biochemistry. – 2017, - Vol. 1. – N 1. – Pp.12-17.

7. Ony E.Q., Ugwoke J.L., Edeh H.Q., Onyimonyl A.E. A review: Flavonoid; A Phyto-nutrient and its impact in livestock animal nutrition // World Journal of Advanced Research and Reviews. – 2024. – Vol. 21. – N 1. – Pp.311-320.
8. Yilong L., Qian J., Li J., Menqyun X. Hydroxylation decoration patterns of flavonoids in horticultural crops: chemistry, bioactivity, and biosynthesis // Horticulture Research. – 2022. – Vol. 9 – Pp.68-74.
9. de Melo A.F., DE Souza M.S., Cavalcante A.C. Stability of the Antioxidant Activity of Flavonoids after Gamma Irradiation // Food and Nutrition Sciences. – 2011. – Vol. 2. – N 5. – Pp.15-21.
10. Kalantar M. The importance of flavanoids in ruminant nutrition // Archives of animal husbandry and dairy science. – 2018. – N 3. – Pp.178-184.
11. Zhang Y., Wang D., Yang L., Zhou D. Purification and Characterization of Flavonoids from the Leaves of Zanthoxylum bungeanum and Correlation between Their Structure and Antioxidant Activity // PLOS One. – 2014. – Vol. 26. – Pp.311-318.
12. Zhang Y., Wang Q., Huang M., Chen X. Unravelling the effect of flavonoids on the kinetic profiles of acrylamide in the Maillard reaction // RSC Advances. – 2015. – Vol. 5. – Pp.84084-84092.
13. El-Nashar H., Eldahshan A.Q., Hassab M., Zenqin G. UPLC/MSn analysis of Bougainvillea glabra leaves and investigation of antioxidant activities and enzyme inhibitory properties // Scientific Reports. – 2025. – Vol. 15. – Pp.28272-28279.
14. Wang L., Chen M., Lam P-Y., Dini-Andreote F.D. Multifaceted roles of flavonoids mediating plant-microbe interactions // Microbiome. – 2022. – Vol. 10. – Pp.233-241.
15. Danwei Y., Weirong C., Ding B., Zhu H. Separation and preparation of the main flavonoids in Flos Dolichoris Lablab and their antioxidant activity // Food Science and Technology Research. – 2021. – Vol. 27. – N 3. – Pp.429-440.
16. Novza Y.A., Popova E.M. Flavanoids – chemistry and biological activities // National Aviation University Reports (Kyiv). – 2022. – N 1. – Pp.1-10.

Информация об авторах

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

Ч.Г. Салманова – доктор химических наук, гл.н.с. лаборатории «Спектроскопический анализ» ИНХП МНО Азербайджана;

Ч.К. Расулов – доктор химических наук, профессор, заведующий лабораторией «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;

Ch.Q. Salmanova – doctor of chemical sciences, main scientific researcher of laboratory "Spectroscopic analysis" 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. Yajiyeva – doctoral student, researcher of laboratory "Chemistry and technology of cycloalkylphenols" IPCP MES of Azerbaijan

Статья поступила в редакцию 24.07.2025; принята к публикации 12.09.2025.

The article was submitted 24.07.2025; accepted for publication 12.05.2025.

ХИМИЧЕСКИЕ НАУКИ

Научная статья

УДК 547.541.3

DOI 10.21510/3034-266X-2025-3-96-110

РЕАКЦИИ АЦИЛИРОВАНИЯ СПИРТОВ: МЕХАНИЗМ И ОБЛАСТИ ПРИМЕНЕНИЯ

*Айтакин Халидшах гызы Мовсумова¹, Чингиз Князь оглу
Расулов², Гюльшан Джаббар гызы Гасанова³, Гюнай Заман
гызы Гейдарли⁴*

*^{1,2,3,4}Институт нефтехимических процессов Министерства
науки и образования Азербайджана, Баку
gulwen.hesenova@inbox.ru*

Аннотация. Введение ацильного фрагмента в молекулу органического субстрата, называемое реакцией ацилирования, является одной из классических реакций органической химии. Ацильные производные органических субстратов находят весьма широкое применение в различных сферах производства, вследствие чего интерес к этой реакции чрезвычайно велик. В этой статье нами рассмотрены основные результаты исследований в области изучения реакции ацилирования спиртов.

Ключевые слова: реакция ацилирования, спирты, первичные, вторичные и третичные спирты, применение ацилированных производных.

Для цитирования: Мовсумова А.Х., Расулов Ч.К., Гасанова Г.Дж., Гейдарли Г.З. Реакции ацилирования спиртов: механизм и области применения // Вестник Башкирского государственного педагогического университета им. М.Акмиллы. Серия: Естественные науки. 2025. № 3. С. 96-110.

CHEMICAL SCIENCES

Original article

ACYLATION REACTIONS OF ALCOHOLS: MECHANISM AND APPLICATION FIELDS

*Aytakin Kh. Movsumova¹, Rasulov Chingiz Qnyaz², Gulshen
Djabbar Gasanova³, Gunay Zaman Heydarli⁴*

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

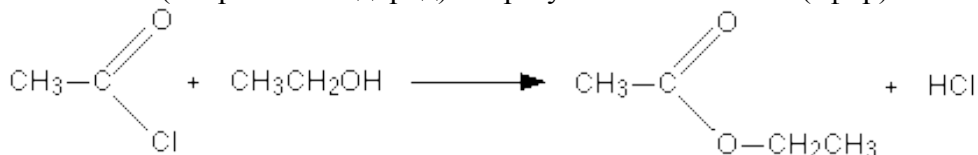
ACYLATION REACTIONS OF ALCOHOLS: MECHANISM AND APPLICATION FIELDS

Abstract. The introduction of an acyl fragment into an organic substrate molecule, called the acylation reaction, is one of the classic reactions of organic chemistry. Acyl derivatives of organic substrates are very widely used in various areas of production, which is why interest in this reaction is extremely high. In this article, we review the main results of research in the field of studying the acylation reaction of alcohols.

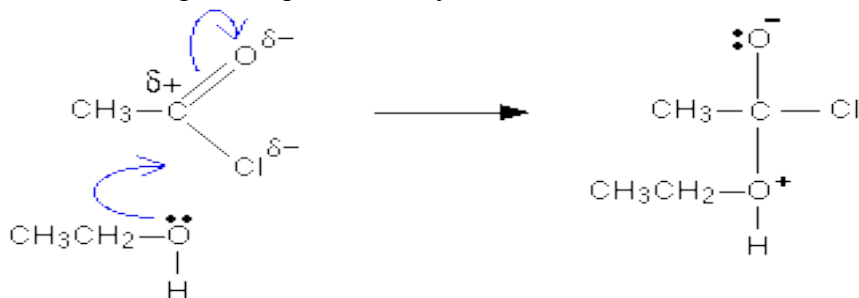
Keywords: acylation reaction, alcohols, primary, secondary and tertiary alcohols, application of acylated derivatives.

For citing: Movsumova A.Kh., Rasulov Ch.Q., Gasanova G.D., Heydarli G.Z. Acylation reactions of alcohols – mechanism and application fields // Bulletin of Bashkir State Pedagogical University named after M. Akmully. Series: Natural Sciences. 2025. №3. pp. 96-110.

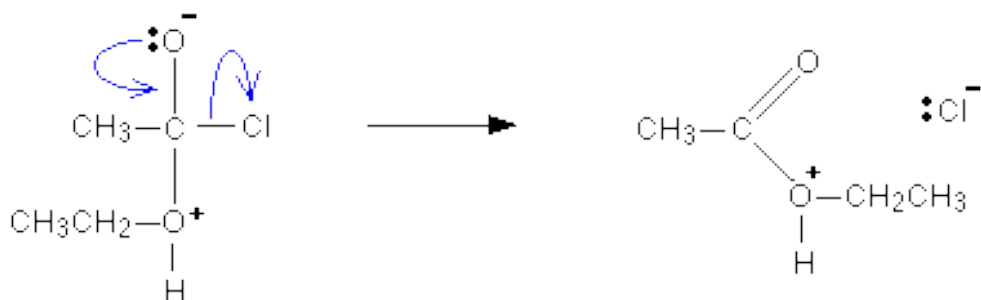
Одной из важных реакций органического синтеза является реакция ацилирования спиртов. В качестве ацилирующего агента обычно используют карбоновые кислоты, их ангидриды или хлорангидриды. В частности, механизм реакции ацилирования спиртов ацилхлоридами можно представить в следующей форме на примере хлорида этаноила, который рассматривается как типичный ацилхлорид, и этанола, который рассматривается как типичный спирт. Хлорид этаноила мгновенно реагирует с холодным этанолом. Происходит экзотермическая реакция, в которой выделяется паристый кислый газ (хлористый водород). Образуется этилэтанوات (эфир).



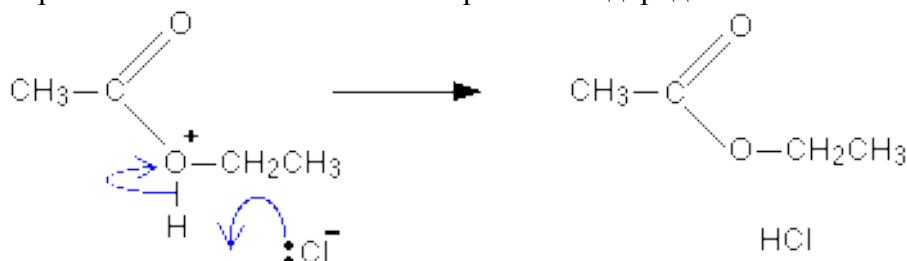
Первая стадия (стадия присоединения реакции) включает нуклеофильную атаку на положительный атом углерода одной из неподеленных пар кислорода молекулы этанола.



Вторая стадия (стадия элиминирования) происходит в два этапа. На первом этапе восстанавливается двойная связь углерод-кислород, и хлорид-ион выталкивается.

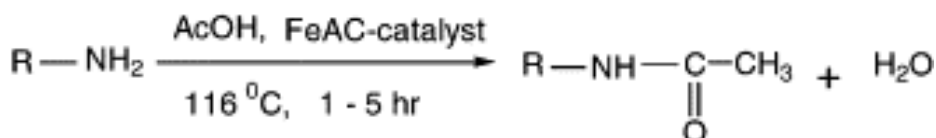
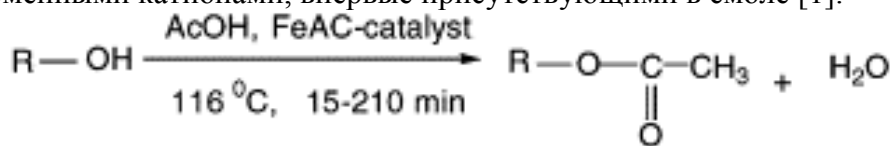


Затем следует удаление иона водорода ионом хлора с образованием этилэтаната и хлористого водорода.



В этом разделе нами рассмотрены наиболее основные закономерности реакции ацилирования спиртов различными ацилирующими агентами.

Эффективное и селективное ацилирование спиртов и аминов с использованием карбоновых кислот в качестве ацилирующих агентов реализуется с помощью катализатора на основе активированного угля, содержащего оксид металла, который достигается путем карбонизации органических ионообменников после включения ионов Fe^{3+} с обменными катионами, впервые присутствующими в смоле [1].



Разработан простой и эффективный метод ацилирования спиртов, аминов и тиолов с использованием кислоты Льюиса на основе иттрий-циркония в качестве катализатора и карбоновых кислот в качестве ацилирующего агента [2]. Реакция оказалась хемоселективной для аминокспирта, 2-меркаптоэтанола и 1,2-диола. Таким образом, с

помощью этого метода ацилирование аминогруппы в присутствии группы OH, группы OH в присутствии SH и первичной группы OH в присутствии вторичной группы OH было достигнуто с превосходной селективностью.

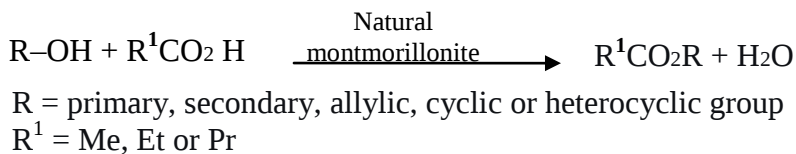
Описано понимание механизма безопасного, простого и недорогого катализируемого фосфорной кислотой (H_3PO_4) ацилирования спиртов ангидридами кислот [3]. Соответствующие диацилированные смешанные ангидриды, полученные *in situ*, в отличие от традиционно предлагаемых моноацилированных смешанных ангидридов, предлагаются в качестве активных видов. В частности, диацилированные смешанные ангидриды действуют как эффективные каталитические реагенты переноса ацила, а не как катализаторы кислот Бренстеда, просто активирующие ангидриды кислот. Примечательно, что было достигнуто высокоэффективное катализируемое фосфорной кислотой (1–3 мол. %) ацилирование спиртов ангидридами кислот, и был продемонстрирован синтез сложного эфира в масштабе 23 г. Кроме того, катализатор фосфорной кислоты оказался эффективным для синтетически полезной этерификации из карбоновых кислот, спиртов и ангидрида кислот. Более того, в отношении последних разработок в хиральных катализаторах диэфира фосфорной кислоты, полученных из 1,1'-би-2-нафтола (BINOL), в направлении асимметричного кинетического разделения спиртов путем ацилирования, были исследованы некоторые диэфиры фосфата. В результате исследование ЯМР ^{31}P и исследование кинетики решительно поддержали не только кооперативный механизм кислоты и основания, как ранее предлагали другие исследователи, но и смешанный ангидридный механизм, как в настоящее время предлагают авторы работы.

Реакция спиртов с бензоилхлоридом в присутствии ТМЭДА при температуре -78°C привела к очень быстрому ацилированию с получением соответствующих бензоатов с отличными выходами [4].

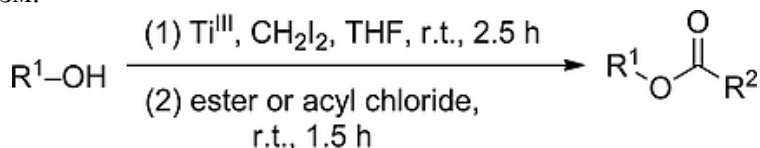
$\text{Bi}(\text{OTf})_3$ -катализируемое ацилирование спиртов ангидридом кислоты было оценено в сравнении с другими методами ацилирования [5]. Метод на основе $\text{Bi}(\text{OTf})_3$ /ангидрид кислоты был настолько мощным, что стерически требовательные или третичные спирты могли быть ацилированы гладко. Менее реакционноспособные реагенты ацилирования, такие как бензойный и пивалиновый ангидрид, также активируются этим катализом. В этих случаях была разработана новая технология для того, чтобы преодолеть трудности в отделении ацилированного продукта от оставшегося ацилирующего реагента: метаноллиз непрореагировавшего ангидрида в легко отделяемый метиловый эфир реализовал довольно легкое отделение желаемого продукта ацилирования. Протокол $\text{Bi}(\text{OTf})_3$ /ангидрид кислоты был применен к широкому спектру спиртов, несущих различные

функциональные группы. Кислотолабильный спирт, защищенный ТНР или TBS, фурфуриловый спирт и гераниол могли быть ацилированы так же, как и спирты, лабильные в отношении оснований.

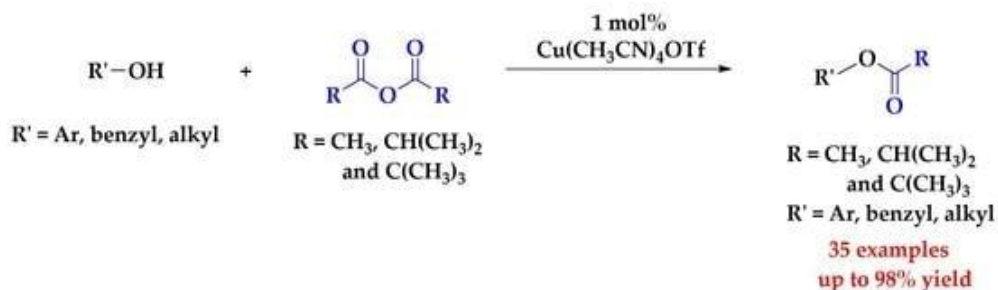
Методы ацилирования спиртов также рассматривались в работах [6, 7].



Так, одни из методов использует соли титана(III), полученные из субстехиометрического количества дихлорида титаноцена вместе с марганцем(0) в качестве восстановителя, а также диодидом метилена. Он включает переэтерификацию из этилового эфира или реакцию с ацилхлоридом. Для этих превращений предложен радикальный механизм.



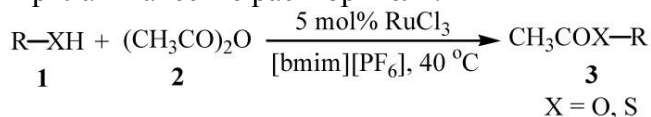
Описан новый и высокоэффективный метод, опосредованный трифлатом тетраakis(ацетонитрил)меди(I) для активации как простых, так и сильно затрудненных ангидридов при ацилировании спиртов и полиолов [8]. Этот новый метод ацилирования является мягким и в основном протекает при комнатной температуре с низкой загрузкой катализатора. Метод универсален и был распространен на широкий спектр различных спиртовых субстратов, что позволяет получать соответствующие эфирные продукты с хорошими и отличными выходами.



Разработан очень простой метод ацилирования спиртов и аминов этилацетатом через процесс переэтерификации, катализируемый триидидом индия. С помощью этого метода ацилирование первичной OH-группы в присутствии вторичных и фенольных OH-групп, а также первичной NH₂ в присутствии вторичной NH и первичной OH-группы было достигнуто с высокой селективностью.

Эффективные методы ацилирования спиртов также были предложены в работах [10,11].

Ацилирование различных спиртов, фенолов и тиолов, катализируемое хлоридом рутения (III), было достигнуто с высокими выходами в мягких условиях (комнатная температура) в ионной жидкости гексафторфосфата 1-бутил-3-метилимидазолия ([bmim][PF₆]) [12]. Ионная жидкость и рутениевый катализатор могут быть переработаны не менее 10 раз. Эта система не только решает основную проблему повторного использования рутениевого катализатора, но и позволяет избежать использования летучего ацетонитрила в качестве растворителя.



Описан высокоэффективный метод ацилирования спиртов, приводящий к отличным выходам ацилпроизводных [13]. Комплекс поливинилполипирролидон-трифторид бора демонстрирует более водоустойчивые, некоррозионные и стабильные твердые каталитические свойства, повышенные кислотой Льюиса [14].

Бромид магния является эффективным катализатором для ацетилирования и бензоилирования различных первичных и вторичных спиртов с соответствующими ангидридами кислот при температуре окружающей среды [15]. Ацетилирование третичных спиртов требует температуры ниже температуры окружающей среды для подавления конкурирующей дегидратации. Координирующие растворители замедляют процесс ацилирования.

Ацилирование спиртов, фенолов, тиолов и аминов с различным замещением с использованием ангидридов кислот эффективно катализируется гетерополикислотой Уэллса-Доусона (H₆P₂W₁₈O₆₂·24H₂O) [16]. Реакции протекают с очень хорошим или превосходным выходом на воздухе при комнатной температуре с использованием толуола в качестве растворителя (40 примеров). Массовый катализатор легко использовался повторно без заметной потери его активности.

Ацилирование первичных, вторичных, аллиловых и бензиловых спиртов с хлорангидридами кислот, стимулированными металлическим самарием в нейтральных условиях, дало эфиры карбоновых кислот, причем полученные аддукты имели высокие выходы [17]. Ацилирование спиртов и их производных также сообщалось в работах [18-23].

Железо (III) п-толуолсульфонат (тозилат) является эффективным катализатором ацетилирования спиртов, фенолов и альдегидов [21]. Ацетилирование спиртов, диолов и фенолов протекало гладко с 2,0 моль% катализатора. Однако реакция хорошо работала только с несколькими спиртами. Методология также была

применима к синтезу нескольких бензоатных эфиров, но требовала использования 5,0 моль% катализатора. Альдегиды также можно было преобразовать в соответствующие 1,1-диэфиры (ацилалли) в условиях реакции. Железо (III) тозилат является недорогим и простым в обращении коммерчески доступным катализатором.

Ранее была очищена и клонирована новая лизосомальная фосфолипаза A2 (LPLA2) со специфичностью к фосфатидилэтаноламину и фосфатидилхолину. LPLA2 переносит sn-1 или sn-2 ацильные группы фосфолипидов к гидроксилу C1 короткоцепочечного церамида N-ацетилсфингозина (NAS) в кислых условиях [24]. Были изучены общие черты липофильных спиртов, служащих акцепторными молекулами в реакции трансацилазы. 1-О-гексадецил-2-ацетил-sn-глицерин (HAG) ацилировался LPLA2 аналогично NAS. HAG конкурировал с NAS и ингибировал ацилирование NAS. Также было исследовано трансацилирование 1-О-гексадецил-глицерина (HG), 1-О-пальмитил-2-О-метил-sn-глицерина (PMG) и моноацилглицеринов. HG, PMG, 1- или 3-пальмитоил-sn-глицерин и 2-пальмитоилглицерин были преобразованы в 1,3-алкилацилглицерин, 1,2-диалкил-3-ацилглицерин, 1,3-диацилглицерин и 1,2- или 2,3-диацилглицерин соответственно. HG и моноацилглицерин ингибировали ацилирование NAS ферментом со значениями IC₅₀ 35 и 45 мкМ соответственно. Кроме того, фермент ацилировал глицерин с образованием 1- или 3-ацил-sn-глицерина, но не 2-ацилглицерина. Поэтому предпочтительными молекулами-акцепторами для LPLA2 являются первичные спирты с одной длинной углеродной цепью и одним небольшим неполярным остатком, связанным с положением C2 этанола. Фермент ацилировал другие природные липофильные спирты, включая анандамид и олеоилэтаноламид. Таким образом, LPLA2 может функционировать, ремоделируя ацильные группы и модулируя биологическую и фармакологическую активность некоторых липофильных спиртов.

Механистические исследования ацилирования спиртов, катализируемого 4-(N,N-диметиламинопиридином) (DMAP), были тщательно изучены в литературе [25]. Эта реакция привлекла значительный интерес с синтетической и механистической точек зрения в последние годы. В этом исследовании ацилирование спиртов изучено на примере реакции циклогексанола и уксусного ангидрида, который катализируется DMAP с использованием триэтиламина (NEt₃) в качестве вспомогательного основания и дихлорметана (DCM) в качестве растворителя. Реакция и конечный продукт проанализированы с помощью газовой хроматографии (ГХ) и кинетического анализа хода реакции (РРКА). Механистические идеи, полученные в настоящем исследовании, должны быть полезны для

понимания ацилирования спиртов и, следовательно, предоставить ценную информацию.

Ацилирование спиртов уксусной кислотой может быть эффективно проведено в жидкой фазе на микропористых титаносиликатных катализаторах типа ETS-10 [26]. Реакция была изучена на ETS-10, замещенном ионами Li, Na, K, Rb, Cs, Ba и H. Активность ацилирования первичных спиртов зависит от замещенного щелочного иона и увеличивается в ряду $\text{Li} < \text{Na} < \text{K} < \text{Ba} \sim \text{H} \sim \text{Rb} \sim \text{Cs}$ -ETS-10. Эти молекулярные сита также подходят для ацилирования вторичных спиртов и этерификации с длинноцепочечными карбоновыми кислотами.

В исследовании [27] были предложены новые гетерогенные аналоги трифлатов лантаноидов [трифторметансульфонаты; $\text{Ln}(\text{SO}_3\text{CF}_3)_3$ или $\text{Ln}(\text{OTf})_3$] в качестве кислотных катализаторов для тонкого органического синтеза. Серия нанесенных систем Ln^{3+} и Ln^{3+}SFP (SFP – сульфированный фторполимер; $\text{Ln} = \text{La}, \text{Pr}, \text{Eu}, \text{Tm}, \text{Yb}$) была синтезирована и испытана в ацилировании спиртов уксусной кислотой. Синтезированные системы оказались стабильными в условиях реакции и показали способность к каталитическому рециклингу. Было показано, что высокие текстурные характеристики образцов SFP/CNF также оказывают большое влияние на эффективность каталитического процесса. Например, системы $\text{Ln}^{3+}\text{SFP}/\text{CNF}$ проявляют значительно более высокую каталитическую активность по сравнению с образцами без носителя (Ln^{3+}SFP) или образцом без сульфатированного фторполимера ($\text{CNF}-\text{SO}_3-\text{Ln}^{3+}$). Было обнаружено, что Ln-композит содержит блоки SFP и тонкий слой SFP на поверхности волокон CNF. Ионы лантаноидов равномерно распределены в структуре полимера. Среди исследованных лантаноидов наиболее активными оказались системы, содержащие Yb.

Неферментативное кинетическое разделение рацемических вторичных спиртов является эффективным синтетическим методом получения оптически активных соединений в органической химии [28]. Каталитическое асимметричное ацилирование рацемических вторичных спиртов было успешно выполнено с ахиральным бензоилхлоридом в присутствии всего 0,3 мол.% хирального диамина, полученного из (S)-пролина, в сочетании с 0,5 эквивалента триэтиламина. Это асимметричное ацилирование различных рацемических циклических вторичных спиртов, 5-, 6- или 8-членных циклоалканолов, гидроксифиров и бромгидринов дало соответствующие оптически активные бензоаты (84–97% ee) и непрореагировавшие спирты (79–95% ee). Рацемические ациклические вторичные спирты также были ацилированы с умеренной энантиоселективностью.

Разработан простой и эффективный метод без растворителя для ацетилирования спиртов, фенолов и аминов с отличными выходами с использованием функционализированного углеродного катализатора на основе глицерина сульфоновой кислоты ($-SO_3H$) в экологически безопасных условиях реакции [29]. Характерными особенностями этого протокола являются короткое время реакции, простота выделения продукта и возможность повторного использования углеродного катализатора.

Реакция ацилирования спиртов различными ацилирующими агентами также рассматривалась в работах [30-33].

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Sreedhar B., Bhaskar V., Sridhar Ch., Srivinas T. Acylation of alcohols and amines with carboxylic acids: a first report catalyzed by iron(III) oxide-containing activated carbon // *Journal of Molecular Catalysis A. Chemical.* – 2003. – Vol. 191. – N 1. – Pp.141-147.
2. Kumar P., Pandev R., Bodas M., Dagade Sh. Acylation of alcohols, thiols and amines with carboxylic acids catalyzed by yttria-zirconia-based Lewis acid // *Journal of Molecular Catalysis A. Chemical.* – 2002. – Vol. 181. – N 1-2. – Pp.207-213.
3. Havashi H., Ysukochi Sh., Sakamoto T., Hatano M. Insight into the Mechanism of the Acylation of Alcohols with Acid Anhydrides Catalyzed by Phosphoric Acid Derivatives // *J. Org. Chem.* – 2021. – Vol. 86. – N 7. – Pp.5197-5212.
4. Tomohumi S., Ohashi K., Oriyama T. Remarkably Fast Acylation of Alcohols with Benzoyl Chloride Promoted by TMEDA // *ChemInform.* – 2010. – Vol. 30. – N 44. – Pp.16-27.
5. Orita A., Tanahashi Ch., Kakuda A., Otera J. Highly Powerful and Practical Acylation of Alcohols with Acid Anhydride Catalyzed by $Bi(OTf)_3$ // *J. Org. Chem.* – 2001. – Vol. 66. – N 26. – Pp.8926-8934.
6. Choudhary B.M., Bhaskar V., Lakshmi M., Koteswara K. Acylation of alcohols with carboxylic acids VIA the evolution of compatible acidic sites in montmorillonites IICT Communication No: 4497 // *Green Chemistry.* – 2000. – Vol. 2. – N 2. – Pp.67-70.
7. Duran-Peria M.J., Botubol-Ares J.M., Hanson J., Hernandez-Galan R. Efficient O-Acylation of Alcohols and Phenol Using Cp_2TiCl as a Reaction Promoter // *European Journal of Organic Chemistry.* – 2016. – Vol. 21. – N 1. – Pp.3584-3591.
8. Mensah E., Earl L. Mild and Highly Efficient Copper(I) Inspired Acylation of Alcohols and Polyols // *Catalysis.* – 2017. – Vol. 7. – N 1. – Pp.33-41.
9. Ranu B., Dutte P., Sarkar A. Highly selective acylation of alcohols and amines by an indium triiodide-catalysed transesterification process //

Journal of the Chemical Society. Perkin Transaction 1. – 2000. – Vol. 14. – Pp.2223-2225.

10. Mulla S., Inamdar S., Pathan M., Chayan S. Highly Efficient Cobalt (II) Catalyzed O-Acylation of Alcohols and Phenols under Solvent-Free Conditions // Open Journal of Synthesis Theory and Applications. – 2012. – Vol. 1. – N 3. – Pp.42-48.

11. Narender N., Srivivasu S.J., Kulkarni S.J., Raqhaban K.V. Liquid Phase Acylation of Alcohols with Acetic Acid Over Zeolites // Synthetic Communications. – 2000. – Vol. 30. – N 11. – Pp.1887-1893.

12. Zhiwen X., Wenyan H., Wang P., Minqzhong Ch. Ruthenium(III) Chloride Catalyzed Acylation of Alcohols, Phenols, and Thiols in Room Temperature Ionic Liquids // Molecules. – 2009. – Vol. 14. – N 9. – Pp.3528-3537.

13. Mokhtary M., Qandalee M., Najafizadeh F. Polyvinylpyrrolidone-bound boron trifluoride: A highly efficient catalyst for acylation of alcohols, phenols and trimethylsilyl ethers by acetic anhydride // Comptes Rendus. Chimie. – 2012. – Vol. 15. - N. 5.- Pp.389-393.

14. Kazemi M., Sanchez-Mendoza A., Ghobadi M. Solvent-Free Acylation of Alcohols, Phenols, Thiols and Amines // Journal of Medicinal and Chemical Sciences. – 2019. – Vol. 2. – N 1. – Pp.1-8.

15. Pansare S., Malusare M., Rai A. Magnesium Bromide Catalysed Acylation of Alcohols // Synthetic Communications. – 2000. – Vol. 30. – N 14. – Pp.2587-2592.

16. Romanelli G., Autino J., Thomas H. A Simple and Mild Acylation of Alcohols, Phenols, Amines, and Thiols with a Reusable Heteropoly Acid Catalyst // E-Journal of Chemistry. – 2008. – Vol. 5. – N 3. – Pp.123-127.

17. Jiz X-Sh., Wang K-L., Huang Q., Kong L., Zhang W-H. A fast and simple method for the acylation of alcohols with acid chlorides promoted by metallic samarium // Journal of Chemical Research. – 2006. – N 2. – Pp.135-138.

18. Ranu B., Dey S., Haira A. Highly efficient acylation of alcohols, amines and thiols under solvent-free and catalyst-free conditions // Green Chemistry. – 2003. – Vol. 5. – N 1. – Pp.44-46.

19. Kaila R., Reddy S., Kim I. Acylation of phenols, alcohols, thiols, amines and aldehydes using sulfonic acid functionalized hyper-cross-linked poly(2-naphthol) as a solid acid catalyst // Catalysis Letters. – 2019. – Vol. 149. – Pp.2696-2705.

20. Anbu N., Nagarjaun N., Jacob M., Kalaiarasi M. Acetylation of Alcohols, Amines, Phenols, Thiols under Catalyst and Solvent-Free Conditions // Chemistry. – 2019. – Vol. 1. – N 1. – Pp.69-79.

21. Baldwin N., Nord A., Donnell B., Mohan R.S. Iron(III) Tosylate Catalyzed Acylation of Alcohols, Phenols, and Aldehydes // *Tetrahedron Letters*. – 2012. – Vol. 53. – Pp.6946-6949.
22. Meshram G.A., Patil V.D. Chemoselective acylation and benzylation of alcohols, phenols and amines using copper oxide under solvent free condition // *Inter. J. Chem. Sci.* – 2008. – Vol. 6. – N 3. – Pp.1315-1323.
23. Luna-Mora R., Ortega-Jimenez F., Rios-Guerra F., Garsia-Estrada J. Simultaneous infrared-ultrasound irradiation in organic synthesis: Acylation of amines, alcohols and amino alcohols // *J. Mex. Chem. Soc.* – 2019. – Vol. 63. – N 2. – Pp.20-27.
24. Abe A., Hiraoka M., Shayman J. The acylation of lipophilic alcohols by lysosomal phospholipase A2 // *Journal of Lipid Research*. – 2007. – Vol. 48. – N 10. – Pp.2255-2263.
25. Castro A. The DMAP-Catalyzed Acylation of Alcohol -- A Mechanistic Study // Thesis – University of Texas. – 2020. – 215 p.
26. Suresh W., Thakur V., Sudalai V., Sivasanker S. Efficient liquid phase acylation of alcohols over basic ETS-10 molecular sieves // *Tetrahedron Letters*. – 2001. – Vol. 42. – N 17. – Pp.3145-3147.
27. Koskin A.P., Borodin A.D., Vedyagin A.A. Alcohol Acylation by Acetic Acid over Novel Lanthanide-Grafted Catalytic Systems // *Reaction Kinetics, Mechanisms and Catalysis*. – 2019. – Vol. 127. – N 1. – Pp.149-160.
28. Sano T., Imai K., Ohashi K., Oriyama T. Catalytic Asymmetric Acylation of Racemic Secondary Alcohols with Benzoyl Chloride in the Presence of a Chiral Diamine // *Chemistry Letters*. – 1999. – Vol. 28. – N 3. – Pp.265-267.
29. Choudhary V.R., Patil K.Y., Jana K. Acylation of Aromatic Alcohols and Phenols over InCl₃/Montmorillonite K-10 Catalysts // *Journal of Chemical Sciences*. – 2004. - Vol. 116. - N. 3. – Pp.175-177.
30. Sarvari M.H., Sharqhi H. Zinc oxide (ZnO) as a new, highly efficient, and reusable catalyst for acylation of alcohols, phenols and amines under solvent free conditions // *Tetrahedron*. – 2005. - N 17. – Pp.3167-3174.
31. Tajbakhsh M., Mahgol T., Khaksar S., Janatian H. Reusable and efficient polyvinylpyrrolidone-supported triflic acid catalyst for acylation of alcohols, phenols, amines, and thiols under solvent-free conditions // *Chemical Monthly*. – 2017. – N 6. – Pp.1117-1122.
32. Evans P.A. Acylation of Alcohols and Amines // *Science of Synthesis*. – 2011. – N 3. – Pp.312-317.
33. Kobata K., Kawaguchi M., Watanabe T. Enzymatic Synthesis of Capsinoid by the acylation of vanillyl alcohol by fatty acid derivatives catalyzed by lipases // *Biosci. Biotechnol. Biochem.* – 2022. – Vol. 66. – N 2. – Pp.319-327.

REFERENCES

1. Sreedhar B., Bhaskar V., Sridhar Ch., Srivinas T. Acylation of alcohols and amines with carboxylic acids: a first report catalyzed by iron(III) oxide-containing activated carbon // *Journal of Molecular Catalysis A. Chemical.* – 2003. – Vol. 191. – N 1. – Pp.141-147.
2. Kumar P., Pandev R., Bodas M., Dagade Sh. Acylation of alcohols, thiols and amines with carboxylic acids catalyzed by yttria-zirconia-based Lewis acid // *Journal of Molecular Catalysis A. Chemical.* – 2002. – Vol. 181. – N 1-2. – Pp.207-213.
3. Havashi H., Ysukochi Sh., Sakamoto T., Hatano M. Insight into the Mechanism of the Acylation of Alcohols with Acid Anhydrides Catalyzed by Phosphoric Acid Derivatives // *J. Org. Chem.* – 2021. – Vol. 86. – N 7. – Pp.5197-5212.
4. Tomohumi S., Ohashi K., Oriyama T. Remarkably Fast Acylation of Alcohols with Benzoyl Chloride Promoted by TMEDA // *ChemInform.* – 2010. – Vol. 30. – N 44. – Pp.16-27.
5. Orita A., Tanahashi Ch., Kakuda A., Otera J. Highly Powerful and Practical Acylation of Alcohols with Acid Anhydride Catalyzed by Bi(OTf)₃ // *J. Org. Chem.* – 2001. – Vol. 66. – N 26. – Pp.8926-8934.
6. Choudhary B.M., Bhaskar V., Lakshmi M., Koteswara K. Acylation of alcohols with carboxylic acids VIA the evolution of compatible acidic sites in montmorillonitesIICT Communication No: 4497 // *Green Chemistry.* – 2000. – Vol. 2. – N 2. – Pp.67-70.
7. Duran-Peria M.J., Botubol-Ares J.M., Hanson J., Hernandez-Galan R. Efficient O-Acylation of Alcohols and Phenol Using Cp₂TiCl as a Reaction Promoter // *European Journal of Organic Chemistry.* – 2016. – Vol. 21. – N 1. – Pp.3584-3591.
8. Mensah E., Earl L. Mild and Highly Efficient Copper(I) Inspired Acylation of Alcohols and Polyols // *Catalysis.* – 2017. – Vol. 7. – N 1. – Pp.33-41.
9. Ranu B., Dutte P., Sarkar A. Highly selective acylation of alcohols and amines by an indium triiodide-catalysed transesterification process // *Journal of the Chemical Society. Perkin Transaction 1.* – 2000. – Vol. 14. – Pp.2223-2225.
10. Mulla S., Inamdar S., Pathan M., Chayan S. Highly Efficient Cobalt (II) Catalyzed O-Acylation of Alcohols and Phenols under Solvent-Free Conditions // *Open Journal of Synthesis Theory and Applications.* – 2012. – Vol. 1. – N 3. – Pp.42-48.
11. Narender N., Srivivasu S.J., Kulkarni S.J., Raqhaban K.V. Liquid Phase Acylation of Alcohols with Acetic Acid Over Zeolites // *Synthetic Communications.* – 2000. – Vol. 30. – N 11. – Pp.1887-1893.
12. Zhiwen X., Wenyan H., Wang P., Minqzhong Ch. Ruthenium(III) Chloride Catalyzed Acylation of Alcohols, Phenols, and

Thiols in Room Temperature Ionic Liquids // *Molecules*. – 2009. – Vol. 14. – N 9. – Pp.3528-3537.

13. Mokhtary M., Qandalee M., Najafizadeh F. Polyvinylpyrrolidone-bound boron trifluoride: A highly efficient catalyst for acylation of alcohols, phenols and trimethylsilyl ethers by acetic anhydride // *Comptes Rendus. Chimie*. – 2012. – Vol. 15. - N. 5.- Pp.389-393.

14. Kazemi M., Sanchez-Mendoza A., Ghobadi M. Solvent-Free Acylation of Alcohols, Phenols, Thiols and Amines // *Journal of Medicinal and Chemical Sciences*. – 2019. – Vol. 2. – N 1. – Pp.1-8.

15. Pansare S., Malusare M., Rai A. Magnesium Bromide Catalysed Acylation of Alcohols // *Synthetic Communications*. – 2000. – Vol. 30. – N 14. – Pp.2587-2592.

16. Romanelli G., Autino J., Thomas H. A Simple and Mild Acylation of Alcohols, Phenols, Amines, and Thiols with a Reusable Heteropoly Acid Catalyst // *E-Journal of Chemistry*. – 2008. – Vol. 5. – N 3. – Pp.123-127.

17. Jiz X-Sh., Wang K-L., Huang Q., Kong L., Zhang W-H. A fast and simple method for the acylation of alcohols with acid chlorides promoted by metallic samarium // *Journal of Chemical Research*. – 2006. – N 2. – Pp.135-138.

18. Ranu B., Dey S., Haira A. Highly efficient acylation of alcohols, amines and thiols under solvent-free and catalyst-free conditions // *Green Chemistry*. – 2003. – Vol. 5. – N 1. – Pp.44-46.

19. Kaila R., Reddy S., Kim I. Acylation of phenols, alcohols, thiols, amines and aldehydes using sulfonic acid functionalized hyper-cross-linked poly(2-naphthol) as a solid acid catalyst // *Catalysis Letters*. – 2019. – Vol. 149. – Pp.2696-2705.

20. Anbu N., Nagarjaun N., Jacob M., Kalaiarasi M. Acetylation of Alcohols, Amines, Phenols, Thiols under Catalyst and Solvent-Free Conditions // *Chemistry*. – 2019. – Vol. 1. – N 1. – Pp.69-79.

21. Baldwin N., Nord A., Donnell B., Mohan R.S. Iron(III) Tosylate Catalyzed Acylation of Alcohols, Phenols, and Aldehydes // *Tetrahedron Letters*. – 2012. – Vol. 53. – Pp.6946-6949.

22. Meshram G.A., Patil V.D. Chemoselective acylation and benzylation of alcohols, phenols and amines using copper oxide under solvent free condition // *Inter. J. Chem. Sci.* – 2008. – Vol. 6. – N 3. – Pp.1315-1323.

23. Luna-Mora R., Ortega-Jimenez F., Rios-Guerra F., Garsia-Estrada J. Simultaneous infrared-ultrasound irradiation in organic synthesis: Acylation of amines, alcohols and amino alcohols // *J. Mex. Chem. Soc.* – 2019. – Vol. 63. – N 2. – Pp.20-27.

24. Abe A., Hiraoka M., Shayman J. The acylation of lipophilic alcohols by lysosomal phospholipase A2 // Journal of Lipid Research. – 2007. – Vol. 48. – N 10. – Pp.2255-2263.
25. Castro A. The DMAP-Catalyzed Acylation of Alcohol -- A Mechanistic Study // Thesis – University of Texas. – 2020. – 215 p.
26. Suresh W., Thakur V., Sudalai V., Sivasanker S. Efficient liquid phase acylation of alcohols over basic ETS-10 molecular sieves // Tetrahedron Letters. – 2001. – Vol. 42. – N 17. – Pp.3145-3147.
27. Koskin A.P., Borodin A.D., Vedyagin A.A. Alcohol Acylation by Acetic Acid over Novel Lanthanide-Grafted Catalytic Systems // Reaction Kinetics, Mechanisms and Catalysis. – 2019. – Vol. 127. – N 1. – Pp.149-160.
28. Sano T., Imai K., Ohashi K., Oriyama T. Catalytic Asymmetric Acylation of Racemic Secondary Alcohols with Benzoyl Chloride in the Presence of a Chiral Diamine // Chemistry Letters. – 1999. – Vol. 28. – N 3. – Pp.265-267.
29. Choudhary V.R., Patil K.Y., Jana K. Acylation of Aromatic Alcohols and Phenols over InCl₃/Montmorillonite K-10 Catalysts // Journal of Chemical Sciences. – 2004. - Vol. 116. - N. 3. – Pp.175-177.
30. Sarvari M.H., Sharqhi H. Zinc oxide (ZnO) as a new, highly efficient, and reusable catalyst for acylation of alcohols, phenols and amines under solvent free conditions // Tetrahedron. – 2005. - N 17. – Pp.3167-3174.
31. Tajbakhsh M., Mahgol T., Khaksar S., Janatian H. Reusable and efficient polyvinylpyrrolidone-supported triflic acid catalyst for acylation of alcohols, phenols, amines, and thiols under solvent-free conditions // Chemical Monthly. – 2017. – N 6. – Pp.1117-1122.
32. Evans P.A. Acylation of Alcohols and Amines // Science of Synthesis. – 2011. – N 3. – Pp.312-317.
33. Kobata K., Kawaguchi M., Watanabe T. Enzymatic Synthesis of Capsinoid by the acylation of vanillyl alcohol by fatty acid derivatives catalyzed by lipases // Biosci. Biotechnol. Biochem. – 2022. – Vol. 66. – N 2. – Pp.319-327.

Информация об авторах

А.Х. Мовсумова – докторант, младший научный сотрудник лаборатории «Химия и технология циклоалкилфенолов» ИНХП МНО Азербайджана;

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

Г.Д. Гасанова – кандидат химических наук, ведущий научный сотрудник лаборатории «Химия и технология циклоалкилфенолов» ИНХП МНО Азербайджана;

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

Information about the authors

A.Kh. Movsumova – Doctoral Student, Junior Researcher of the Laboratory "Chemistry and Technology of Cycloalkylphenols", IPCP MES of Azerbaijan;

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

G.D. Gasanova – Candidate of Chemical Sciences, Leading Researcher of the Laboratory "Chemistry and Technology of Cycloalkylphenols", IPCP MES of Azerbaijan;

G.Z. Heydarli – Doctoral Student, Senior Researcher of the Laboratory "Chemistry and Technology of Cycloalkylphenols", IPCP MES of Azerbaijan.

Статья поступила в редакцию 10.07.2025; принята к публикации 15.08.2025.

The article was submitted 10.07.2025; accepted for publication 15.08.2025.

ХИМИЧЕСКИЕ НАУКИ

Научная статья

УДК 547.541.3

DOI 10.21510/3034-266X-2025-3-111-124

СИНТЕЗ И ОБЛАСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ФЛАВАНОИДОВ

***Мехрибан Видади гызы Нагиева¹, Чингиз Князь оглу Расулов²,
Кенуль Ширзад гызы Алиева³, Гюнай Заман гызы Гейдарли⁴***

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

Аннотация. Флаванойды известны своими ценными свойствами, благодаря которым они находят широкое применение в медицине, косметической промышленности, пищевой и кондитерской промышленности и др. Учитывая ценность этих природных соединений, вызывает как теоретический, так и практический интерес исследование методов синтеза и областей применения этих природных соединений

Ключевые слова: флаванойды, пищевые компоненты, медицинские препараты, комплексы металлов с флаваноидами

Для цитирования: Нагиева М.В., Расулов Ч.К., Алиева К.Ш., Гейдарли Г.З. Синтез и области применения флаванойдов // Вестник Башкирского государственного педагогического университета им. М.Акмуллы. Серия: Естественные науки. 2025. № 3. С. 111-124.

CHEMICAL SCIENCES

Original article

SYNTHESIS AND APPLICATION FIELDS OF FLAVANOIDS

***Mehriban V. Naghiyeva¹, Rasulov Ch.Qnyaz², Kenul Sh. Aliyeva³,
Gunay Z. Heydarli⁴***

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

Abstract. Flavanoids are known for their valuable properties, thanks to which they are widely used in medicine, the cosmetic industry, the food and confectionery industry, etc. Considering the value of these natural

compounds, it causes both theoretical and practical interest in the study of synthesis methods and areas of application of these natural compounds.

Keywords: flavanoids, food components, medical preparations, metal complexes with flavanoids

For citing: Naghiyeva M.V., Rasulov Ch.Q., Aliyeva K.Sh., Heydarli G.Z Synthesis and application fields of flavanoids // Bulletin of Bashkir State Pedagogical University named after M. Akmully. Series: Natural Sciences. 2025. № 3. pp. 111-124.

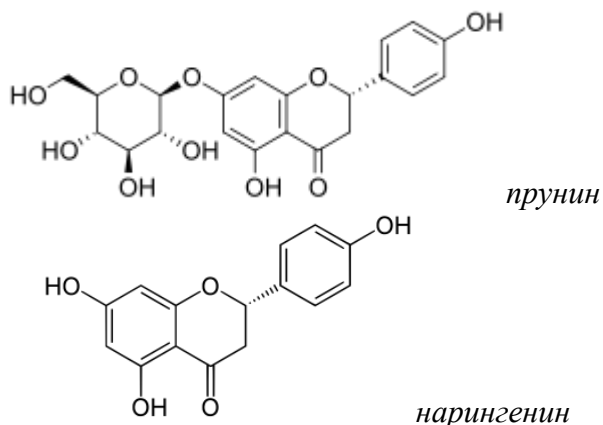
Флавоноиды обладают широким спектром применения, включая медицину, косметику и пищевую промышленность. Они известны своими антиоксидантными, противовоспалительными, кардиопротекторными и антиканцерогенными свойствами. Среди основных областей применения флаваноидов можно выделить:

В целом, флавоноиды являются важным классом природных соединений, которые находят широкое применение в различных областях благодаря своим многочисленным полезным свойствам.

Человечество использовало натуральные растения и препараты на их основе с древнейших времён. В последние несколько лет многочисленные исследования были посвящены изучению терапевтического потенциала различных вторичных химических веществ, содержащихся в растениях. В литературе выявлено, что различные вторичные метаболиты, а именно фенолы и флавоноиды, отвечают за различные терапевтические эффекты у человека [1]. Авторы работы предприняли попытку обобщить данные об исследовании природных фенольных соединений, уделив особое внимание флавоноидам и их терапевтическому потенциалу. Примечательно, что длительное употребление многих пищевых продуктов (богатых фенолами) оказалось эффективным средством защиты от развития и профилактики целого ряда заболеваний [2, 3].

Синтез флаваноидов Наночастицы $ZnCr_2O_4$ были использованы для синтеза производных флавоноидов [4]. Анализ XRD подтвердил образование кубической шпинели хромита цинка со средним размером кристаллитов 5,04 нм. В то время как текстурный анализ с помощью сорбции N_2 выявил неупорядоченную мезопористую систему с высокой удельной поверхностью $215 \text{ м}^2/\text{г}$ для $ZnCr_2O_4$. Более того, все желаемые флавоноиды были получены с высокими выходами в условиях без растворителя с помощью катализатора $ZnCr_2O_4$. Структуры всех производных флавоноидов были подтверждены методами ^1H -ЯМР, ^{13}C -ЯМР, FT-IR и их температурами плавления.

Получение цитрусовых флавоноидов прунина и нарингенина осуществлялось селективно посредством ферментативного гидролиза нарингина, флавоноидного гликозида, распространенного в отходах грейпфрута [5].



Для получения моногликозидного флавоноида прунина неочищенная нарингиназа из *Penicillium decumbens* была очищена в один этап очистки, что привело к получению фермента с высокой активностью α -рамнозидазы. Как неочищенные, так и очищенные ферменты были ковалентно иммобилизованы на оксиде графена. Активность иммобилизованных ферментов при различных уровнях pH и температурах, а также термостабильность были определены и сравнены с таковыми, проявляемыми свободными нарингиназами, с использованием специфических субстратов: п-нитрофенил- β -D-глюкозида (Glc-pNP) и п-нитрофенил-альфа-L-рамнопиранозида (Rha-pNP). Неочищенная и очищенная нарингиназа, стабилизированная на GO, была протестирована при гидролизе нарингина, что привело к образованию нарингенина и прунина соответственно с превосходным выходом. Ферменты на основе GO можно использовать многократно без потери активности. Нарингиназа, стабилизированная на GO, обладает высоким потенциалом для получения ценных цитрусовых флавоноидов – прунина и нарингенина.

В нескольких исследованиях описаны важные биологические свойства флавоноидов, такие как профилактика ишемической болезни сердца, гепатопротекторное, противовоспалительное и противораковое действие, ингибирование ферментов, а также антибактериальное, противогрибковое и противовирусное действие [6]. Флавоноиды демонстрируют многообещающую активность в качестве природных антиоксидантов растительного происхождения благодаря своим антиоксидантным свойствам и свойствам нейтрализации свободных радикалов. Однако их основное применение в качестве антиоксидантов в фармацевтической, косметической и пищевой промышленности ограничено из-за их умеренной гидрофильности. Для улучшения липофильных свойств гликозилированных флавоноидов было предложено ферментативное ацилирование природных полифенолов жирными кислотами или другими донорами ацильной группы. Этот

подход повышает растворимость и стабильность флавоноидов в липофильных системах. Ацилирование флавоноидов различными донорами ацильной группы также может придать молекуле полезные свойства, такие как проникновение через клеточную мембрану и улучшение антиоксидантной, противомикробной, противовоспалительной, антипролиферативной, цитогенетической и ингибирующей ферменты активности. Химические методы синтеза эфиров флавоноидов приводят к образованию побочных продуктов и одновременному разложению флавоноидов из-за жёстких условий реакции. Напротив, биокаталитическое ацилирование флавоноидов липазами обладает преимуществами, связанными с широкой доступностью этих ферментов, их низкой стоимостью, хемо-, регио- и энантиоселективностью, мягкими условиями обработки и отсутствием необходимости в кофакторах.

Природные соединения обладают интригующим разнообразием структур, функциональных групп и стереохимических свойств. Естественная эволюция постоянно приводит к появлению чрезвычайно сложных структур из полизамещенных циклов и хиральных центров. Помимо интереса, который такие молекулы вызывают с точки зрения синтетической органической химии как таковой, мир природных соединений исследуется химиками-медиками, учитывая их ценную биологическую активность, вдохновляющую на разработку новых лекарственных препаратов. Среди малых молекул природного происхождения флавоноиды представляют собой выдающийся химический класс. Флавоноиды и их полусинтетические производные широко изучались в связи с их антиоксидантной, антипролиферативной, антибактериальной и противовоспалительной активностью, и это лишь некоторые из них [7].

Хиральные флавоноиды, содержащие А-кольцо, являются важной группой природных производных флавоноидов, применимых в широком спектре биологической активности, такой как цитотоксическая, противовоспалительная, противомикробная, антиоксидантная и ингибирующая ферменты. Желательная разработка хиральных флавоноидов, содержащих А-кольцо, путем выделения, полусинтеза или полного синтеза в короткие сроки доказывает их большую ценность в исследованиях медицинской химии [8]. В этом обзоре всесторонне и систематически обобщен прогресс в исследованиях хиральных флавоноидов, содержащих А-кольцо, включая выделение и экстракцию, структурную идентификацию, фармакологическую активность и методы синтеза.

Промышленное производство флавоноидов, в первую очередь, основано на выделении из растений или органическом синтезе, однако ни один из этих процессов не является экономически эффективным или устойчивым [9]. В отличие от этого, рекомбинантные

микроорганизмы обладают значительным потенциалом для экономически эффективного, устойчивого, экологически безопасного и селективного промышленного производства флавоноидов, что делает его привлекательной альтернативой производству на основе растений или химическому синтезу. Структурно и функционально разнообразные флавоноиды получают из флаванолов, таких как нарингенин, пиноцембрин и эриодиктиол, основных базовых структур флавоноидов, путем различных модификаций. Таким образом, создание микроорганизмов, продуцирующих флаванолы, может быть использовано в качестве платформы для получения различных флавоноидов. В данном обзоре обобщены стратегии метаболической инженерии и синтетической биологии для микробного производства флаванолов.

В работе [10] представлен синтез и характеристика новых галогенированных эфирных производных флаванолов, флаванолов и флаванолов, полученных реакцией соответствующих метиловых эфиров с галогеноводородами в присутствии диметилдиоксирана в качестве окислителя.

Растительные флавоноиды проявляют противовоспалительную активность *in vitro* и *in vivo*. Хотя они до конца не изучены, предложено несколько механизмов действия, объясняющих противовоспалительное действие *in vivo*. Одним из важных механизмов является ингибирование ферментов, продуцирующих эйкозаноиды, включая фосфолипазу A₂, циклооксигеназы и липоксигеназы, что приводит к снижению концентрации простагландинов и лейкотриенов [11]. Недавние исследования также показали, что некоторые флавоноиды, особенно производные флаванолов, проявляют свою противовоспалительную активность, по крайней мере частично, модулируя экспрессию провоспалительных генов, таких как циклооксигеназа-2, индуцируемая синтаза оксида азота и несколько ключевых цитокинов. Благодаря этим уникальным механизмам действия и значительной активности *in vivo*, флавоноиды считаются обоснованными кандидатами на роль новых противовоспалительных препаратов. Для точного определения терапевтической ценности при воспалительных заболеваниях необходимо дальнейшее изучение противовоспалительной активности *in vivo* и механизма действия различных флавоноидов. В данном обзоре обобщено влияние флавоноидов на ферменты, синтезирующие эйкозаноиды и оксид азота, а также на экспрессию провоспалительных генов. Также обсуждается противовоспалительная активность *in vivo*. Будучи естественными модуляторами экспрессии провоспалительных генов, некоторые флавоноиды потенциально могут быть использованы в качестве новых противовоспалительных агентов.

Способность флавоноидов координироваться с атомами металлов открыла новые возможности для программ по разработке новых эффективных лекарственных препаратов [12]. В этой работе представлены возможные механизмы действия комплексов металлов, такие как связывание с ДНК и индукция апоптоза, а также обзор синтеза комплексов металлов и различных методов, используемых для их характеристики.

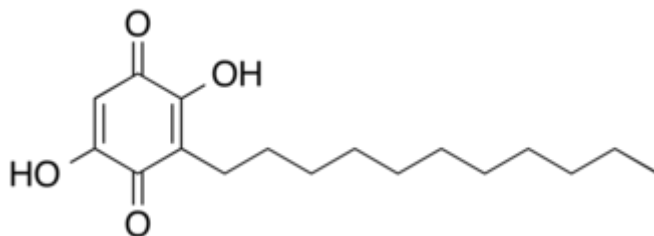
Lens culinaris L. (Лента обыкновенная) широко известна благодаря своему медицинскому применению. Методом жидкостной хроматографии с электрораспылением и времяпролетной масс-спектрометрии (LC/MS) в общем экстракте (LC/MS) было выявлено 22 вторичных метаболита, включая фенолы, флавоноиды и антоцианидиновые гликозиды [13]. Целью исследования было применение LC/MS в качестве биогенного материала для восстановления и изоляции наночастиц серебра (LC-AgNP). Синтезированные LC-AgNP были охарактеризованы с использованием различных методов. Поглощение УФ-излучения наблюдалось при λ_{max} 379 нм. LC-AgNP имели сферическую форму со средним размером 19,22 нм. Их кубическая структура была подтверждена методами HR-TEM и рентгеновской дифракции. Затем LC-AgNP были оценены на предмет их противоракового и антимикробного потенциала. LC-AgNP продемонстрировали чрезвычайно сильную цитотоксическую активность в клетках HCT-116, в то время как в клетках HepG2 они задерживали клетки в фазе G2. Более того, была подтверждена высокая антимикробная активность LC-AgNP в отношении *Klebsiella pneumoniae* и *Acinetobacter baumannii*. Молекулярное стыковочное исследование определило кемпферол-3-О-робинозид-7-О-рамнозид и кверцетин-3-О-ксилозид как основные активные компоненты LC/MS, которые вызвали ингибирование раковых мишеней Bcl-2 и IspC в сочетании с полученными наночастицами серебра.

Лечебные свойства природных соединений, таких как флавоноиды, хорошо известны уже много лет. Однако открытие, что комплексы флавоноидов с ионами металлов более эффективны, чем свободные флавоноиды, изменило ход химических исследований. Флавоноиды могут быть эффективными лекарственными средствами благодаря своим мощным хелатирующим, нейропротекторным, нейтрализующим радикалы и противовоспалительным свойствам. Эта статья представляет собой обзор литературы о флавоноидах и их комплексах, которые широко используются в медицине и фармацевтике [14].

В статье [15] описывается синтез и характеристика комплекса Ni-флавоноидов, комплекса Cu-флавоноидов и комплекса Zn-флавоноидов. Комплексы и экстракты флавоноидов были

охарактеризованы с помощью ИК-Фурье и УФ-видимого спектрометра. Результаты спектров ИК-Фурье четко показали образование комплексов, поскольку полосы, относящиеся к карбонильной группе C=O, сместились в сторону более низких волновых чисел по сравнению со свободными лигандами. При анализе комплексов и экстрактов флавоноидов с помощью УФ-видимого спектрометра большинство спектров комплексов поглощалось в диапазоне от 200 нм до 400 нм, и все спектры экстрактов флавоноидов также поглощались в диапазоне от 200 нм до 400 нм. Эти результаты показали, что комплексы образовывались в слегка кислых условиях при значениях pH от 3,51 до 4,65. В целом результаты показали, что значения проводимости комплексов нифлавоноидов <Cu-флавоноидных комплексов <Zn-флавоноидных комплексов. Самая низкая проводимость из всех комплексов была получена из комплексов Zn-флавоноида в результате его наибольшей площади поверхности, слабой связи и нахождения далеко от ядра. Следовательно, комплексы Ni-флавоноида имели более высокую проводимость из-за их малой площади поверхности и находятся ближе к ядру и имеют более сильную связь, чем комплексы Cu-флавоноида и комплексы Zn-флавоноида. Самая высокая температура плавления из всех комплексов была получена из комплекса Zn-флавоноида *Ocimum gratissimum*, в то время как самая низкая температура плавления была получена из комплекса Ni-флавоноида *Moringa oleifera*. Комплекс нифлавоноида *Moringa olifera* плавился быстрее, чем все комплексы, и в комплексе существуют слабые связи, но комплекс Zn-флавоноида *Ocimum gratissimum* имел сильную связь и потребовал больше времени для плавления.

Сообщается [16], что сушеные ягоды *Embelia ribes* могут быть использованы для извлечения эмбелина (2,5-дигидрокси-3-ундецилциклогекса-2,5-диен-1,4-диона), растительного п-бензохинона, полученного из общих хинонов.



эмбелин

Это растение демонстрирует потенциал для научных исследований, которые могут привести к созданию передовых терапевтических соединений. Предыдущие исследования показали, что преобразование молекулы в комплекс может повысить ее биологическую активность. Более того, было показано, что

неорганические комплексы более универсальны, чем чистые органические молекулы, что может повысить их способность воздействовать на участки, обычно присутствующие в водной экологической среде. Одно из веществ с известной активностью, обнаруженное в плодах *Embelia ribes*, эмбелин был экстрагирован с использованием хлороформа, а затем разделен с помощью методов колоночной хроматографии. С использованием очищенного эмбелина был получен комплекс Эмбелин-Sn. Комплекс Эмбелин-Sn был синтезирован в простых, подходящих условиях при комнатной температуре. Структура комплекса Эмбелин-Sn была установлена с помощью элементного анализа, инфракрасной спектроскопии, масс-спектрального анализа и спектроскопии протонного ядерного магнитного резонанса (ЯМР ^1H). Фитохимический эмбелин, выделенный из *Embelia ribes*, был использован для синтеза комплекса Эмбелин-Sn, изучены его характеристики и оценен его противораковый потенциал с помощью МТТ-теста и апоптотического анализа на клеточной линии рака молочной железы T-47D, а также антибактериального исследования диско-диффузионным методом. Клетки рака молочной железы (клеточная линия T-47D) подвергались воздействию различных концентраций комплекса Sn в течение 24 часов, включая 40, 60, 80, 100 и 120 мг/мл. Этот результат свидетельствует о том, что эмбелин ингибирует пролиферацию клеток рака молочной железы. Антибактериальные свойства определялись путем измерения размера ингибирующей зоны диска. Таким образом, в работе впервые синтезирован комплекс Эмбелин-Sn, демонстрирующий зону ингибирования в отношении *E. coli*. Дозозависимое введение комплекса Эмбелин-Sn представляет собой потенциально новую стратегию, которая может успешно применяться для лечения рака молочной железы.

Применение флавоноидов в синтезе наночастиц

Три различных флавоноида - гесперидин, нарингин и диосмин (компоненты цитрусовых растений) были использованы для синтеза наночастиц серебра (AgNP) [17]. Водные растворы чистых флавоноидов (0,2 мг/мл), смешанные с 1 мМ раствором AgNO_3 , подвергались воздействию яркого солнечного света для получения наночастиц. Характеристика синтезированных наночастиц с помощью УФ-видимого спектрофотометра, рентгеновской дифракции, инфракрасной Фурье-спектроскопии и просвечивающей электронной микроскопии показала, что синтезированные наночастицы серебра имели размер 10–80 нм и были полидисперсными по своей природе. Бактерицидное действие против распространенных патогенов и цитотоксичность синтезированных наночастиц серебра были исследованы на клетках человеческого промиелоцитарного лейкоза (HL-60). Сделан вывод, что AgNP, синтезированные с использованием

нарингина в качестве восстановителя, показали более высокую стабильность и лучшую антибактериальную и цитотоксическую активность.

Наночастицы (НЧ) представляют собой мельчайшие материалы размером от 1 до 100 нм, которые можно разделить на множество групп в зависимости от их размера, формы и свойств. Растительные фитохимические вещества, такие как флавоноиды, алкалоиды, полифенолы, терпеноиды и другие фитохимические вещества, играют важную роль в качестве стабилизаторов, восстанавливающих и блокирующих агентов в биологических методах. Флавоноиды – это тип природных продуктов со сложной структурой, присутствующих в растительном мире [18]. Они являются одним из видов вторичных метаболитов растений. Флавоны, флавонолы, флаванолы, флаваноны, изофлавоны, неофлавоноиды и халконы – некоторые из подгрупп флавоноидов. Полигидроксильная группа во флавоноидах важна для нейтрализации свободных радикалов и антиоксидантных свойств, а также для восстановления ионов металлов посредством синтеза НЧ. Они также используются для доставки лекарств, обнаружения реальных образцов, удаления тяжелых металлов и создания ИК-поглощающих оптических покрытий. Кверцетин и рутин используются для получения сферических серебряных наночастиц, используемых в качестве антибактериальных. Трицетин, кемпферол, формонетин, кемпферол и флавоноиды генистеина также используются для получения сферических золотых наночастиц для антибактериальной, противораковой и антиангиогенной активности. Для характеристики полученных наночастиц использовались методы просвечивающей электронной микроскопии (ПЭМ), сканирующей электронной микроскопии (СЭМ), ИК-Фурье-спектроскопии (ИКФС), УФ-видимой спектроскопии, рентгеновской дифракции (РД), динамического рассеянного света (ДРС), термогравиметрии (ТГА), энергодисперсионной рентгеновской спектроскопии (ЭДР) и дзета-потенциала.

Исследования в области изучения свойств флавоноидов также рассматривались в работах [19-23].

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Mutha R., Tatiya A., Surana S. Flavonoids as natural phenolic compounds and their role in therapeutics: an overview // *Future Journal of Pharmaceutical Sciences*. - 2021. - Vol. 7. - Pp.23-41.
2. Guven H., Arici A., Simsek O. Flavonoids in Our Foods: A Short Review // *J Basic Clin. Health Sci*. – 2019. – Vol. 3. – Pp.96-106.
3. Hossain M., Asadujjaman A., Abdul-Matin M., Yousuf M. A review study on the pharmacological effects and mechanism of action of

flavonoids // International Journal of Current Research. – 2019. – Vol. 11. – N 10. – Pp.7578-7583.

4. Amiri B., Nazarpour R., Mohave F., Ghaemi A. Synthesis of Flavonoids using ZnCr2O4 nanoparticle catalyst // Research Square. – 2022. – N 1. – Pp.1-14.

5. Carceller J.M., Martinez Galari J.P., Monti R., Bassan J.C. Selective synthesis of citrus flavonoids prunin and naringenin using heterogeneized biocatalyst on graphene oxide // Green Chemistry. – 2019. – Vol. 21. – N 4. – Pp.839-849.

6. Araujo M.E., Franco Y.E., Messias M.C., Longato G. Biocatalytic Synthesis of Flavonoid Esters by Lipases and Their Biological Benefits // Planta Med. – 2017. – Vol. 83. – N 1. – Pp.7-22.

7. Ribaud G. Synthesis of Flavonoids or Other Nature-Inspired Small Molecules // Molbank. – 2022. – N 1. – Pp.1313-1352.

8. Zhang Ch., Yanzhi L., Xiaojing L., Chen X. Comprehensive Review of Recent Advances in Chiral A-Ring Flavonoid Containing Compounds: Structure, Bioactivities, and Synthesis // Molecules. – 2023. – Vol. 28. – N 1. – Pp.365-372.

9. Isogai Sh., Tominaga M., Kondo A., Ishii J. Plant Flavonoid Production in Bacteria and Yeasts // Front. Chem. Eng. – 2022. – Vol. 4. – Pp.131-139.

10. Arnone A., Nasini G., Panzeri W., De Para O. Synthesis of New Halogenated Flavonoids by Reaction with Hydrogen Halides in the Presence of Dimethyldioxirane // Journal of Chemical Research. – 2003. – Vol. 11. – Pp.683-685.

11. Kim H.P., Son K.H., Wook H., Kang S. Anti-inflammatory plant flavonoids and cellular action mechanisms // J. Pharmacol. Sci. – 2004. – Vol. 96. – N 3. – Pp.229-245.

12. Khater M., Ravishankar D., Greco F., Osborn H. Metal complexes of flavonoids: their synthesis, characterization and enhanced antioxidant and anticancer activities // Future Med. Chem. – 2019. – Vol. 11. – N 21. – Pp.2845-2867.

13. Alhamdi H.W., Mokhta F., Ridouane F., Shati A. Computational metal-flavonoids complexes presentation of greenly synthesized silver nanoparticles combined flavonoids from Lens culinaris L. as anticancer agents using Bcl-2 and IspC proteins // Artif. Cells Nanomed. Biotechnol. – 2024. – Vol. 52. – N 1. – Pp.529-550.

14. Symonowicz M., Kolanek M. Flavonoids and their properties to form chelate complexes // Biotechnology and Food Science. – 2012. – Vol. 76. – N 1. – Pp.312-318.

15. Louis H. Synthesis and Characterization of Some Metal Complexes Using Herbal Flavonoids // Natural Products Chemistry and Research. – 2018. – Vol. 6. – N 3. – Pp.314-327.

16. Sinah R., Mewara D. Therapeutic potential of novel tin metal complex of embelin isolated from *Embelia ribes* fruits // *Indian J. Pharmacol.* – 2025. – Vol. 57. – N 3. – Pp.166-172.
17. Sahu N., Soni D., Chandrashekhar B., Satpute D.B. Synthesis of silver nanoparticles using flavonoids: Hesperidin, naringin and diosmin, and their antibacterial effects and cytotoxicity // *International Nano Letters.* – 2016. – Vol. 6. – N 3. – Pp.184-189.
18. Menqstu A., Esubalew S., Abate L., Kumar R. Medicinal Plant-Based Flavonoid-Mediated Nanoparticles Synthesis, Characterization, and Applications // Chapter in book *Secondary Metabolites from Medicinal Plants* – 2023. – Pp.1-18.
19. Tagirova M.A., Vasina S.M. Study an application possibility of the flavonoids for the synthesis of copper nanoparticles // *International Journal of Engineering Sciences and Research Technology.* - 2018. – Vol. 4. – N 4. – Pp.78-81.
20. Kyoqoku K., Hatayama K., Yokomori S., Saziki R. Anti-ulcer effect of isoprenyl flavonoids. II. Synthesis and anti-ulcer activity of new chalcones related to sophoradin // *Chem. Pharm. Bull. (Tokyo).* – 1979. – Vol. 27. – N 12. – Pp.2943-2953.
21. Dawei M., Tang H., Reichelt M., Plirtola L-M. Poplar MYB117 promotes anthocyanin synthesis and enhances flavonoid B-ring hydroxylation by up-regulating the flavonoid 3',5'-hydroxylase gene // *J. Exp. Bot.* – 2021. – Vol. 72. – N 10. – Pp.3864-3880.
22. Heng L-Ch., Ann Ch-L. Flavonoids exhibit diverse effects on CYP11B1 expression and cortisol synthesis // *Toxicology and Applied Pharmacology.* – 2012. – Vol. 258. – N 3. – Pp.343-350.
23. Liu-Smith F., Meyskens F. Molecular mechanisms of flavonoids in melanin synthesis and the potential for the prevention and treatment of melanoma // *Mol. Nutr. Food Res.* – 2016. – Vol. 60. – N 6. – Pp.1264-1274.

REFERENCES

1. Mutha R., Tatiya A., Surana S. Flavonoids as natural phenolic compounds and their role in therapeutics: an overview // *Future Journal of Pharmaceutical Sciences.* - 2021. - Vol. 7. - Pp.23-41.
2. Guven H., Arici A., Simsek O. Flavonoids in Our Foods: A Short Review // *J Basic Clin. Health Sci.* – 2019. – Vol. 3. – Pp.96-106.
3. Hossain M., Asadujjaman A., Abdul-Matin M., Yousuf M. A review study on the pharmacological effects and mechanism of action of flavonoids // *International Journal of Current Research.* – 2019. – Vol. 11. – N 10. – Pp.7578-7583.
4. Amiri B., Nazarpour R., Mohave F., Ghaemi A. Synthesis of Flavonoids using ZnCr2O4 nanoparticle catalyst // *Research Square.* – 2022. – N 1. – Pp.1-14.

5. Carceller J.M., Martinez Galari J.P., Monti R., Bassan J.C. Selective synthesis of citrus flavonoids prunin and naringenin using heterogeneized biocatalyst on graphene oxide // *Green Chemistry*. – 2019. – Vol. 21. – N 4. – Pp.839-849.
6. Araujo M.E., Franco Y.E., Messias M.C., Longato G. Biocatalytic Synthesis of Flavonoid Esters by Lipases and Their Biological Benefits // *Planta Med.* – 2017. – Vol. 83. – N 1. – Pp.7-22.
7. Ribaud G. Synthesis of Flavonoids or Other Nature-Inspired Small Molecules // *Molbank*. – 2022. – N 1. – Pp.1313-1352.
8. Zhang Ch., Yanzhi L., Xiaojing L., Chen X. Comprehensive Review of Recent Advances in Chiral A-Ring Flavonoid Containing Compounds: Structure, Bioactivities, and Synthesis // *Molecules*. – 2023. – Vol. 28. – N 1. – Pp.365-372.
9. Isogai Sh., Tominaga M., Kondo A., Ishii J. Plant Flavonoid Production in Bacteria and Yeasts // *Front. Chem. Eng.* – 2022. – Vol. 4. – Pp.131-139.
10. Arnone A., Nasini G., Panzeri W., De Para O. Synthesis of New Halogenated Flavonoids by Reaction with Hydrogen Halides in the Presence of Dimethyldioxirane // *Journal of Chemical Research*. – 2003. – Vol. 11. – Pp.683-685.
11. Kim H.P., Son K.H., Wook H., Kang S. Anti-inflammatory plant flavonoids and cellular action mechanisms // *J. Pharmacol. Sci.* – 2004. – Vol. 96. – N 3. – Pp.229-245.
12. Khater M., Ravishankar D., Greco F., Osborn H. Metal complexes of flavonoids: their synthesis, characterization and enhanced antioxidant and anticancer activities // *Future Med. Chem.* – 2019. – Vol. 11. – N 21. – Pp.2845-2867.
13. Alhamdi H.W., Mokhta F., Ridouane F., Shati A. Computational metal-flavonoids complexes presentation of greenly synthesized silver nanoparticles combined flavonoids from *Lens culinaris* L. as anticancer agents using BcL-2 and IspC proteins // *Artif. Cells Nanomed. Biotechnol.* – 2024. – Vol. 52. – N 1. – Pp.529-550.
14. Symonowicz M., Kolanek M. Flavonoids and their properties to form chelate complexes // *Biotechnology and Food Science*. – 2012. – Vol. 76. – N 1. – Pp.312-318.
15. Louis H. Synthesis and Characterization of Some Metal Complexes Using Herbal Flavonoids // *Natural Products Chemistry and Research*. – 2018. – Vol. 6. – N 3. – Pp.314-327.
16. Sinah R., Mewara D. Therapeutic potential of novel tin metal complex of embelin isolated from *Embelia ribes* fruits // *Indian J. Pharmacol.* – 2025. – Vol. 57. – N 3. – Pp.166-172.
17. Sahu N., Soni D., Chandrashekhar B., Satpute D.B. Synthesis of silver nanoparticles using flavonoids: Hesperidin, naringin and diosmin, and

their antibacterial effects and cytotoxicity // International Nano Letters. – 2016. – Vol. 6. – N 3. – Pp.184-189.

18. Menqstu A., Esubalew S., Abate L., Kumar R. Medicinal Plant-Based Flavonoid-Mediated Nanoparticles Synthesis, Characterization, and Applications // Chapter in book Secondary Metabolites from Medicinal Plants – 2023. – Pp.1-18.

19. Tagirova M.A., Vasina S.M. Study an application possibility of the flavonoids for the synthesis of copper nanoparticles // International Journal of Engineering Sciences and Research Technology. - 2018. – Vol. 4. – N 4. – Pp.78-81.

20. Kyoqoku K., Hatayama K., Yokomori S., Saziki R. Anti-ulcer effect of isoprenyl flavonoids. II. Synthesis and anti-ulcer activity of new chalcones related to sophoradin // Chem. Pharm. Bull. (Tokyo). – 1979. – Vol. 27. – N 12. – Pp.2943-2953.

21. Dawei M., Tang H., Reichelt M., Plirtola L-M. Poplar MYB117 promotes anthocyanin synthesis and enhances flavonoid B-ring hydroxylation by up-regulating the flavonoid 3',5'-hydroxylase gene // J. Exp. Bot. – 2021. – Vol. 72. – N 10. – Pp.3864-3880.

22. Heng L-Ch., Ann Ch-L. Flavonoids exhibit diverse effects on CYP11B1 expression and cortisol synthesis // Toxicology and Applied Pharmacology. – 2012. – Vol. 258. – N 3. – Pp.343-350.

23. Liu-Smith F., Meyskens F. Molecular mechanisms of flavonoids in melanin synthesis and the potential for the prevention and treatment of melanoma // Mol. Nutr. Food Res. – 2016. – Vol. 60. – N 6. – Pp.1264-1274.

Информация об авторах

М.В. Нагиева – кандидат химических наук, ведущий научный сотрудник лаборатории «Химия и технология циклоалкилфенолов» ИНХП МНО Азербайджана;

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

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

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

Information about the authors

M.V. Naghiyeva – Candidate of Chemical Sciences, leading researcher of the Laboratory "Chemistry and Technology of Cycloalkylphenols", IPCP MES of Azerbaijan;

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

K.Sh. Aliyeva – doctoral student, junior researcher of the Laboratory "Chemistry and Technology of Cycloalkylphenols", IPCP MES of Azerbaijan.

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

Статья поступила в редакцию 11.07.2025; принята к публикации 13.08.2025.

The article was submitted 11.07.2025; accepted for publication 13.08.2025.

ХИМИЧЕСКИЕ НАУКИ

Научная статья

УДК 547.541.3

DOI 10.21510/3034-266X-2025-3-125-135

ПРИМЕНЕНИЕ ФЛАВАНОИДОВ В ФАРМАКОХИМИИ

***Чимназ Гафар гызы Салманова¹, Чингиз Князь оглу Расулов²,
Гюльшан Джаббар гызы Гасанова³, Гюнай Заман гызы
Гейдарли¹***

^{1,2,3,4}*Институт нефтехимических процессов Министерства
науки и образования Азербайджана, Баку
gulwen.hesenova@inbox.ru*

Аннотация. Флаваноиды находят широкое применение в фармакологической области и в фармакохимии. Они являются потенциальными источниками для разработки новых видов лекарственных препаратов, поэтому исследования в этой области заслуживают большой и пристальный интерес. В этой работе нами рассмотрены наиболее важные результаты исследований в области применения флаваноидов в фармакохимии

Ключевые слова: фармакохимия, флаваноиды, лекарственные препараты, биологическая активность, противораковая активность

Для цитирования: Салманова Ч.Г., Расулов Ч.К., Гасанова Г.Дж., Гейдарли Г.З. Применение флаваноидов в фармакохимии // Вестник Башкирского государственного педагогического университета им. М.Акмуллы. Серия: Естественные науки. 2025. № 3. С. 125-135.

CHEMICAL SCIENCES

Original article

APPLICATION OF FLAVONOIDS IN PHARMACOCHEMISTRY

***Chimnaz Qafar Sakmanova¹, Rasulov Chingiz Qnyaz², Gulshen
Djabbar Gasanova³, Gunay Zaman Heydarli¹***

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

Abstract. Flavonoids are widely used in the pharmacological field and in pharmacochemistry. They are potential sources for the development of new types of drugs, so research in this area deserves great and close

attention. In this paper, we review the most important results of research in the field of flavonoid use in pharmacochemistry

Keywords: pharmacochemistry, flavonoids, drugs, biological activity, anticancer activity

For citing: Salmanova Ch.Q., Rasulov Ch.Q., Gasanova G.D., Heydarli G.Z. Application of flavanoids in pharmacochemistry// Bulletin of Bashkir State Pedagogical University named after M. Akmully. Series: Natural Sciences. 2025. №3. pp. 125-135.

Флавоноиды – это группа биологически активных соединений, широко распространенных в съедобных растениях. Они привлекли особое внимание благодаря убедительным научным данным, подтверждающим их оздоровительное действие [1]. В данном обзоре обобщены современные знания о путях биосинтеза флавоноидов в растениях, их регуляции и сохранении флавоноидов в растениях на пути к превращению в пищевые продукты. Кроме того, обсуждаются основные пищевые источники флавоноидов, данные популяционных и клинических исследований, а также возможные механизмы, связанные с благотворным влиянием флавоноидов на здоровье человека.

Целью исследования [2] является проведение предварительного фитохимического скрининга, анализа общего содержания флавоноидов и фенолов в различных растворимых экстрактах листа околоцветника *Musa paradisiaca*. Фитохимический скрининг проводился по методу Треза и Эванса, общее содержание флавоноидов измерялось колориметрическим методом с хлоридом алюминия, а общее содержание фенолов оценивалось спектрофотометрически по методу Фолина-Чокальтео. Предварительный фитохимический скрининг выявил наличие фенолов, флавоноидов, алкалоидов, танинов и терпеноидов во всех трех различных экстрактах (метанольном, этанольном и водном). Метанольный экстракт листочков околоцветника содержит наибольшее количество как фенолов, так и флавоноидов (4,27 мг GAE/г и 0,25 мг QE/г соответственно), а водный экстракт – наименьшее (1,32 мг GAE/г и 0,164 мг QE/г). Все экстракты достоверно не различались друг с другом ($p > 0,05$). Можно предположить, что высокое содержание фенольных соединений в листочках околоцветника *Musa paradisiaca* указывает на то, что эти соединения способствуют антиоксидантной активности, и их можно рассматривать как перспективные растения, обладающие потенциалом для лечения многих опасных для жизни заболеваний.

В обзоре [3] описывается антиоксидантная активность флавоноидов как подгруппы полифенолов, являющихся частичной или полной заменой синтетических антиоксидантов. Окислительная реакция, вызванная свободными радикалами, является причиной порчи пищевых продуктов, которая приводит к появлению неприятного

запаха, потере вкуса и повреждению тканей. К распространенным антиоксидантам, используемым в пищевых продуктах, относятся бутилированный гидроксианизол, бутилированный гидрокситолуол, пропилгаллат и трет-бутилгидрохинон. Несмотря на свою высокую эффективность и активность, синтетические антиоксиданты оказывают неблагоприятное воздействие на организм человека, например, вызывают мутации и обладают канцерогенностью. В целом, а также группа из них, известная как полифенолы, обладают высокой антиоксидантной активностью. Эти соединения являются потенциальными антиоксидантами благодаря своим способностям, таким как поглощение свободных радикалов, отдача атомов водорода и хелатирование катионов металлов. Механизм антиоксидантного действия флавоноидов заключается в передаче атома водорода свободным радикалам. Соответственно, чем быстрее и легче структура флавоноида способствует переносу водорода, тем выше антиоксидантная сила флавоноида. Следовательно, антиоксидантная активность флавоноидов с гидроксильными группами в структуре является самой высокой среди различных флавоноидов. Помимо укрепления здоровья и профилактики некоторых заболеваний, различные исследования *in vitro* показали, что флавоноиды обладают высокой антиоксидантной активностью, сопоставимой с синтетическими антиоксидантами. Однако, чтобы быть коммерчески доступными, эти соединения должны быть получены из недорогого источника высокоэффективным методом.

В работе [4] халкон был получен новым способом путем взаимодействия о-гидроксиацетофенона с 4-диметиламинобензальдегидом с использованием пиперидина в качестве катализатора. 3-Гидрокси-2-[4-(диметиламино)фенил]бензопиран-4-он был получен методом Алгара-Флинна-Оямады путем циклизации халкона с использованием пероксида водорода. Ряд алкильных и эфирных производных флавоноида 3-гидрокси-2-[4-(диметиламино)фенил]бензопиран-4-она был получен путем взаимодействия вышеупомянутого соединения с различными химическими реагентами (метилйодидом, аллилбромидом, бензилхлоридом, бромацетилкумарином, хлорацетамидом, хлорацетилхлоридом, фталевым ангидридом, малеиновым ангидридом, фталимидом, циннамоилхлоридом) с карбонатом калия и ацетоном или ДМФА в качестве растворителя. Физические и спектроскопические свойства новых соединений были изучены спектральными методами (ИК-Фурье, ЯМР ^{13}C и ЯМР ^1H). Чистота синтезированных соединений была подтверждена методом тонкослойной хроматографии (ТСХ). Биологическая активность некоторых синтетических флавоноидов (A2, A5, A7, A8, A9, A12) в двух различных концентрациях (0,5 мг/мл, 0,25 мг/мл) была изучена на

трёх видах грибов: *Aspergillus flavus*, *Acremonium strictum*, *Penicillium expansum*. Некоторые из этих соединений проявили высокую активность в отношении исследованных грибов.

Флавоноиды – это разнообразная группа фитохимических веществ, встречающихся в природе во фруктах, овощах и других продуктах растительного происхождения. Они играют важнейшую роль в питании человека, а исследования показывают, что они обладают широким спектром потенциальных преимуществ для здоровья [5]. В этой статье авторы рассмотрели преимущества флавоноидов и продуктов, богатых ими. Флавоноиды – это группа фитохимических веществ растительного происхождения, известных своими противовоспалительными, антиоксидантными и антиканцерогенными свойствами. Известно, что они защищают от хронических заболеваний, таких как сердечно-сосудистые заболевания, рак и гипертония. Группа флавоноидов делится на несколько подгрупп, включая флаванолы и антоцианидины. Каждая из этих подгрупп обладает уникальными свойствами. Например, флавоны известны своим мощным противовоспалительным действием, а флаванолы полезны для улучшения здоровья сердечно-сосудистой системы. Одним из основных преимуществ флавоноидов для здоровья являются их антиоксидантные свойства. Они играют важную роль в нейтрализации вредных свободных радикалов, вызывающих окислительный стресс в организме. Окислительный стресс является одной из основных причин хронических заболеваний, таких как рак, болезни сердца и нейродегенеративные заболевания. Таким образом, употребление в пищу продуктов, богатых флавоноидами, помогает предотвратить эти заболевания. Флавоноиды также способствуют уменьшению воспаления в организме. Воспаление – это естественная реакция иммунной системы, но когда оно становится хроническим, оно может привести к развитию ряда заболеваний. Было показано, что флавоноиды, особенно флавоны и антоцианидины, обладают противовоспалительным действием, что способствует профилактике хронических заболеваний.

Сообщается [6], что рак предстательной железы (РПЖ) является серьезной проблемой и бременем во всем мире. Несколько исследований показывают, что флавоноиды имеют значительный потенциал в качестве противоракового средства, но доказательства остаются противоречивыми. Целью этого исследования является оценка влияния добавок флавоноидов и их подклассов на параметры риска РПЖ у мужчин с подтвержденным биопсией диагнозом РПЖ или клинически определенным как имеющий высокий риск РПЖ. Материалы и методы: Этот систематический обзор и метаанализ соответствовали руководству PRISMA. Что касается общего ПСА, флавоноиды обеспечили снижение общего ПСА (СР: -0,64, $p < 0,05$), а

анализ подгрупп, основанный на продолжительности приема добавок, показал, что прием флавоноидов продолжительностью ≥ 12 недель значительно снизил общий ПСА по сравнению с приемом < 12 недель ($p < 0,05$). Мета-анализы четырех исследований, включавших мужчин с клиническим риском РПЖ, показали, что прием флавоноидов был связан со значительно более низким риском развития РПЖ в конечной точке (ОР 0,41, $p < 0,05$). Однако наши результаты не указали на благоприятный эффект на гормональные параметры. Результаты этого мета-анализа предполагают, что флавоноиды могут играть потенциальную роль в снижении риска РПЖ. Также было доказано, что прием флавоноидов безопасен. Однако для более четкого понимания влияния флавоноидов на ПСА и параметры половых гормонов необходимы дальнейшие исследования.

Среди многочисленных продуктов, доступных из растений, суперсемейство флавоноидов играет центральную роль благодаря своему большому количеству молекул (более 6000), а также роли, которую эти продукты играют в нормальной физиологии растений. Флавоноиды являются вторичными растительными метаболитами, участвующими в нескольких биологических процессах (например, прорастание, защита от УФ-излучения, инсектициды), а также участвуют в привлечении опылителей благодаря ярким цветам антоциановых пигментов, обнаруженных в цветах (например, синий, фиолетовый, желтый, оранжевый и красный). Флавоноиды встречаются в обычном рационе человека, состоящем из зеленых овощей, лука, фруктов (яблоки, виноград, клубника и т. д.), напитков (кофе, чай, пиво, красное вино), а изофлавоноиды в основном встречаются в продуктах, полученных из соевых бобов [7].

Считается, что окислительные реакции свободных радикалов и молекул с неспаренными электронами способствуют возникновению многих проблем со здоровьем [8]. Антиоксиданты ограничивают пагубное воздействие окислительного стресса. Это воздействие может быть прямым (устранение определённых свободных радикалов) или косвенным (предотвращение образования радикалов). Организм вырабатывает определённые эндогенные антиоксиданты (ферменты), которые могут поступать с пищей. Некоторые пищевые антиоксиданты, такие как витамин Е, являются незаменимыми питательными веществами (организм не может нормально функционировать без них). Рацион также содержит другие компоненты, обладающие антиоксидантным действием. Они относятся к классу пищевых компонентов, известных как фитохимические вещества. Эти соединения, такие как флавоноиды, не являются обязательными компонентами рациона, но могут оказывать положительное влияние на здоровье, например, оказывать антиоксидантное действие. Можно сказать, что без фитохимических

веществ можно жить, но с ними жизнь может быть лучше. Если фитохимические вещества оказывают антиоксидантное действие на человека, антиоксидантная активность организма должна снижаться при диете с низким содержанием фитохимических веществ. В ограниченной степени эта идея была проверена в исследовании, проведенном в нашей лаборатории. Пациенты, проходящие почечный диализ, употребляли одну из трех жидких смесей в качестве единственного источника питания в течение 3 недель. Каждая смесь содержала необходимые питательные вещества в количествах, которые обычно считаются достаточными, но не содержала основных источников фитохимических веществ. Почти у всех испытуемых ($12 = 20$ для каждой из трех смесей) наблюдалось снижение общего антиоксидантного статуса (TAS) плазмы. Снижение значений TAS не могло быть связано с тремя основными факторами: витамином E, витамином C или мочевой кислотой. β -каротин не был фактором.

В настоящее время предполагается, что природные флавоноиды, содержащиеся во фруктах и продуктах растительного происхождения, важны не только благодаря своим органолептическим свойствам или технологическим причинам, но и благодаря их потенциальному оздоровительному эффекту, о чем свидетельствуют имеющиеся экспериментальные и эпидемиологические исследования [9]. Эту большую группу фенольных растительных компонентов можно разделить на несколько классов: флаванолы, флаваноны, флавонолы, изофлавоны, флавоны и антоцианы, в зависимости от различий в их структуре. Полезные биологические эффекты также приписывают аналогам флавоноидов и их металлокомплексам. Эти соединения характеризуются антиоксидантными, фармакологическими, противовоспалительными, противоаллергическими, противовирусными, антиканцерогенными, а также терапевтическими и цитотоксическими свойствами. Кроме того, они обладают широким спектром применения, включая различные области промышленности.

Печень является крупнейшим и важным органом, в котором происходят важнейшие биохимические реакции в организме человека. Она выполняет функцию детоксикации токсичных веществ и синтеза полезных биомолекул [10]. Осложнения, связанные с заболеваниями печени, представляют собой значительную причину заболеваемости и смертности во всем мире, создавая существенное экономическое бремя. Окислительный стресс, чрезмерное воспаление и нарушение регуляции энергетического обмена в значительной степени способствуют заболеваниям печени. Поэтому открытие новых терапевтических препаратов для лечения заболеваний печени является неотложной необходимостью. На протяжении веков флавоноиды и их препараты, оказывающие благотворное влияние на здоровье при хронических заболеваниях, использовались для лечения различных

заболеваний человека. Флавоноиды в основном включают флавоны, изофлавоны, флаванолы, дигидрофлавоны, дигидрофлаванолы, антоцианы и халконы. Основной целью данного обзора является оценка эффективности и безопасности флавоноидов, главным образом с клинической точки зрения и с учетом клинически значимых конечных точек. Авторы обобщили недавний прогресс в исследовании гепатопротекторных и молекулярных механизмов действия различных биологически активных ингредиентов флавоноидов, а также описали сети лежащих в основе молекулярных сигнальных путей. Дальнейшие исследования в области фармакологии и токсикологии будут способствовать разработке природных продуктов на основе флавоноидов и их производных в качестве лекарственных средств с привлекательными перспективами клинического применения.

Примечательно, что значительная часть активности цитрусовых флавоноидов, по-видимому, влияет на клетки крови и микрососудистого эндотелия, и неудивительно, что двумя основными областями исследований биологического действия цитрусовых флавоноидов являются воспаление и рак [11]. Эпидемиологические исследования и исследования на животных указывают на возможный защитный эффект флавоноидов от сердечно-сосудистых заболеваний и некоторых видов рака. Хотя флавоноиды изучаются уже около 50 лет, клеточные механизмы, участвующие в их биологическом действии, до сих пор полностью не изучены. Многие фармакологические свойства цитрусовых флавоноидов могут быть связаны со способностью этих соединений ингибировать ферменты, участвующие в активации клеток. Попытки контролировать рак включают в себя различные средства, включая использование подавляющих, блокирующих и трансформирующих агентов. Подавляющие агенты предотвращают образование новых раковых клеток из проканцерогенов, а блокирующие агенты препятствуют достижению канцерогенных соединений критических участков инициации, в то время как трансформирующие агенты способствуют метаболизму канцерогенных компонентов в менее токсичные вещества или предотвращают их биологическое действие. Флавоноиды могут действовать как все три типа агентов. Многие эпидемиологические исследования показали, что регулярное потребление флавоноидов связано со снижением риска сердечно-сосудистых заболеваний. При ишемической болезни сердца защитные эффекты флавоноидов включают в себя в основном антитромботическое, противоишемическое, антиоксидантное и сосудорасширяющее действие. Предполагается, что флавоноиды снижают риск ишемической болезни сердца за счет трех основных действий: улучшения коронарной вазодилатации, снижения способности тромбоцитов к свертыванию крови и предотвращения окисления липопротеинов низкой плотности (ЛПНП). Также были

изучены противовоспалительные свойства флавоноидов цитрусовых. Несколько ключевых исследований показали, что противовоспалительные свойства флавоноидов цитрусовых обусловлены их ингибированием синтеза и биологической активности различных провоспалительных медиаторов, в основном производных арахидоновой кислоты, простагландинов E2, F2 и тромбоксана A2. Антиоксидантные и противовоспалительные свойства цитрусовых флавоноидов могут играть ключевую роль в их активности против ряда дегенеративных заболеваний, в частности заболеваний головного мозга. Наиболее распространенными цитрусовыми флавоноидами являются флаваноны, такие как гесперидин, нарингин или неогесперидин. Однако, как правило, флавоны, такие как диосмин, апигенин или лютеолин, проявляют более высокую биологическую активность, хотя и встречаются в гораздо более низких концентрациях. Диосмин и рутин обладают доказанной активностью в качестве веноτονика и присутствуют в ряде фармацевтических продуктов. Апигенин и его глюкозиды продемонстрировали хорошую противовоспалительную активность без побочных эффектов, характерных для других противовоспалительных продуктов. В данной статье авторы обсуждают связь между каждым структурным фактором цитрусовых флавоноидов и противораковой, противовоспалительной и сердечно-сосудистой защитной активностью цитрусовых флавоноидов, а также их ролью при дегенеративных заболеваниях. Исследования в области изучения процессов применения флавоноидов в фармакохимии также сообщались в работах [12, 13].

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Galatro A., Mas A.L., Liquet M., Fraga C.S. Plants as a source of dietary bioactives: Flavonoids and basis for their health benefits // *Aspects of Molecular Medicine*. – 2024. – N 4. – Pp.100048-10054.
2. Manadeva Rao U.S., Abdurrazak M., Mohd Kh.S. Phytochemical screening, total flavonoid and phenolic content assays of various solvent extracts of teral of *Musa paradisiaca* // *Malaysia Journal of Analytical Sciences*. – 2016. – Vol. 20. – N 5. – Pp.1181-1190.
3. Hassanpour S.H., Doroudi A. Review of the antioxidant potential of flavonoids as a subgroup of polyphenols and partial substitute for synthetic antioxidants // *Avicenna Journal of Phytomedicine*. – 2023. – Vol. 13. – N 4. – Pp.354-376.
4. Khdera H.A., Youseff Saad S., Moustapha A., Kandil F. Synthesis of new flavonoid derivatives based on 3-hydroxy-40 -dimethylamino flavone and study the activity of some of them as antifungal // *Heliyon*. – 2023. – Vol. 8. – Pp.12062-12069.

5. Smith S. The Uses of Flavonoids in Pharmacognosy and their Potential Health Benefits // *J Pharmacogn phytochem.* - 2023. – Vol. 11:- Pp 9-18.

6. Azis A., İslam A., Haerani R., Lukman H. The effect of flavonoid and subclasses supplementation on prostate specific antigen (PSA), hormonal parameters and prostate cancer risk: A systematic review and meta-analysis of randomized controlled trials // *Archivio Italiano di Urologia e Andrologia.* – 2025. – Vol. 97. – N 2. – Pp.13645-13652.

7. Chabot G., Touil Y.S., Pham M.H., Dauzonne D. Flavonoids in Cancer Prevention and Therapy: Chemistry, Pharmacology, Mechanisms of Action, and Perspectives for Cancer Drug Discovery // Chapter in book *Alternative and Complementary Therapies for Cancer.* – 2010. – Pp.583-612.

8. Rehan Haider Flavonoids as Antioxidants // *Clinical Research and Clinical Trials.* – 2023. – Vol. 8. – N 3. – Pp.149-158.

9. Brodowska K.M. Natural flavonoids: classification, potential role, and application of flavonoid analogues // *European Journal of Boiological Research.* – 2017. – Vol. 7. – N 2. – Pp.108-123.

10. Yanmei L., Fei L., Quan T., Wang Ch., Jike L. Flavonoids in natural products for the therapy of liver diseases: progress and future opportunities // *Front. Pharmacol.* – 2024. – Vol. 15. – Pp.311-319.

11. Benavente-Garcia O., Castillo J. Update on Uses and Properties of Citrus Flavonoids: New Findings in Anticancer, Cardiovascular, and Anti-inflammatory Activity // *Journal of Agricultural and Food Chemistry.* – 2008. – Vol. 56. – N 15. – Pp.6185-6205.

12. Kai H., Nordbeck P. Preclinical and Clinical Effects of the Flavanol Kaempferol: Oxidative Stress, Myocardial Inflammation, and the Impact of Human Metabolism // *Journal of Cardiovascular Pharmacology.* – 2019. – Vol. 74. – N 4. – Pp.324-326.

13. El-Nashar H.A., Eldahshan O.A., Hassab M.A., Zenqin G., Elhawary E. UPLC/MSn analysis of *Bougainvillea glabra* leaves and investigation of antioxidant activities and enzyme inhibitory properties // *Scientific Reports.* – 2025. – Vol. 15. – Pp.28272-28279.

REFERENCES

1. Galatro A., Mas A.L., Lique M., Fraga C.S. Plants as a source of dietary bioactives: Flavonoids and basis for their health benefits // *Aspects of Molecular Medicine.* – 2024. – N 4. – Pp.100048-10054.

2. Manadeva Rao U.S., Abdurrazak M., Mohd Kh.S. Phytochemical screening, total flavonoid and phenolic content assays of various solvent extracts of teral of *Musa paradisiaca* // *Malaysia Journal of Analytical Sciences.* – 2016. – Vol. 20. – N 5. – Pp.1181-1190.

3. Hassanpour S.H., Doroudi A. Review of the antioxidant potential of flavonoids as a subgroup of polyphenols and partial substitute for

synthetic antioxidants // Avicenna Journal of Phytomedicine. – 2023. – Vol. 13. – N 4. – Pp.354-376.

4. Khdera H.A., Youseff Saad S., Moustapha A., Kandil F. Synthesis of new flavonoid derivatives based on 3-hydroxy-40 -dimethylamino flavone and study the activity of some of them as antifungal // Heliyon. – 2023. – Vol. 8. – Pp.12062-12069.

5. Smith S. The Uses of Flavonoids in Pharmacognosy and their Potential Health Benefits // J Pharmacogn phytochem.- 2023. – Vol. 11:- Pp 9-18.

6. Azis A., İslam A., Haerani R., Lukman H. The effect of flavonoid and subclasses supplementation on prostate specific antigen (PSA), hormonal parameters and prostate cancer risk: A systematic review and meta-analysis of randomized controlled trials // Archivio Italiano di Urologia e Andrologia. – 2025. – Vol. 97. – N 2. – Pp.13645-13652.

7. Chabot G., Touil Y.S., Pham M.H., Dauzonne D. Flavonoids in Cancer Prevention and Therapy: Chemistry, Pharmacology, Mechanisms of Action, and Perspectives for Cancer Drug Discovery // Chapter in book Alternative and Complementary Therapies for Cancer. – 2010. – Pp.583-612.

8. Rehan Haider Flavonoids as Antioxidants // Clinical Research and Clinical Trials. – 2023. – Vol. 8. – N 3. – Pp.149-158.

9. Brodowska K.M. Natural flavonoids: classification, potential role, and application of flavonoid analogues // European Journal of Boiological Research. – 2017. – Vol. 7. – N 2. – Pp.108-123.

10. Yanmei L., Fei L., Quan T., Wang Ch., Jike L. Flavonoids in natural products for the therapy of liver diseases: progress and future opportunities // Front. Pharmacol. – 2024. – Vol. 15. – Pp.311-319.

11. Benavente-Garcia O., Castillo J. Update on Uses and Properties of Citrus Flavonoids: New Findings in Anticancer, Cardiovascular, and Anti-inflammatory Activity // Journal of Agricultural and Food Chemistry. – 2008. – Vol. 56. – N 15. – Pp.6185-6205.

12. Kai H., Nordbeck P. Preclinical and Clinical Effects of the Flavanol Kaempferol: Oxidative Stress, Myocardial Inflammation, and the Impact of Human Metabolism // Journal of Cardiovascular Pharmacology. – 2019. – Vol. 74. – N 4. – Pp.324-326.

13. El-Nashar H.A., Eldahshan O.A., Hassab M.A., Zenqin G., Elhawary E. UPLC/MSn analysis of Bougainvillea glabra leaves and investigation of antioxidant activities and enzyme inhibitory properties // Scientific Reports. – 2025. – Vol. 15. – Pp.28272-28279.

Информация об авторах

Ч.Г. Салманова – доктор химических наук, главный научный сотрудник лаборатории «Спектроскопический анализ» ИХП МНО Азербайджана;

Г.Д. Гасанова – кандидат химических наук, ведущий научный сотрудник лаборатории «Химия и технология циклоалкилфенолов» ИНХП МНО Азербайджана;

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

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

Information about the author

Ch.G. Salmanova – Doctor of Chemical Sciences, Chief Researcher of the Laboratory "Spectroscopic Analysis", IPCP MES of Azerbaijan;

G.D. Gasanova – Candidate of Chemical Sciences, Leading Researcher of the Laboratory "Chemistry and Technology of Cycloalkylphenols", IPCP MES of Azerbaijan;

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

G.Z. Heydarli – Doctoral Student, Junior Researcher of the Laboratory "Chemistry and Technology of Cycloalkylphenols", IPCP MES of Azerbaijan.

Статья поступила в редакцию 11.07.2025; принята к публикации 13.08.2025.

The article was submitted 11.07.2025; accepted for publication 13.08.2025.

ХИМИЧЕСКИЕ НАУКИ

Научная статья

УДК 547.541.3

DOI 10.21510/3034-266X-2025-3-136-145

ДИТЕРПЕНЫ И ИХ ОСНОВНЫЕ ПРЕДСТАВИТЕЛИ

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

¹Уфимский государственный нефтяной технический Университет

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

gulsum.mete@mail.ru

Аннотация. Дитерпены представляют собой класс терпенов, состоящий из четырех изопреновых фрагментов, обычно с молекулярной формулой $C_{20}H_{32}$. Они широко распространены в природе и встречаются в растениях, животных и грибах. Дитерпены играют важную роль в биологических процессах и обладают различными биологическими активностями, включая противовоспалительные, противоопухолевые и антимикробные свойства. В представленной работе рассмотрены наиболее основные представители дитерпенов, показаны их свойства и основные области применения.

Ключевые слова: дитерпены, биологически активные вещества, дитерпеноиды, абиетаны., моно-, би-, три- и тетрациклические дитерпены

Для цитирования: Удалова Е.А., Гаджиева Г.Э., Мамедбейли Э.Г. Дитерпены и их основные представители // Вестник Башкирского государственного педагогического университета им. М.Акмиллы. Серия: Естественные науки. 2025. № 3. С. 136-145.

CHEMICAL SCIENCES

Original article

DITERPENES AND THEIR MAIN REPRESENTATIVES

Yelena Aleksandrovna Udalova¹, Gulsum Enver Hajiyeva², Eldar Huseynqulu Mammadbayli³

¹Ufa State Oil Technical University

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

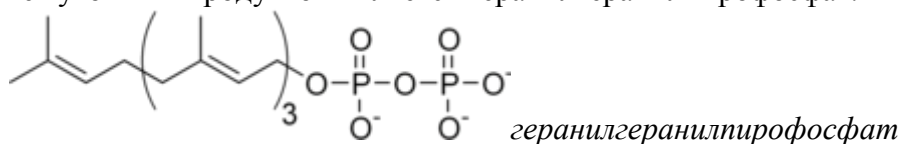
gulsum.mete@mail.ru

Abstract. Diterpenes are a class of terpenes consisting of four isoprene fragments, usually with the molecular formula $C_{20}H_{32}$. They are widespread in nature and are found in plants, animals and fungi. Diterpenes play an important role in biological processes and have various biological activities, including anti-inflammatory, antitumor and antimicrobial properties. In the presented work, the most important representatives of diterpenes are considered, their properties and main areas of application are shown.

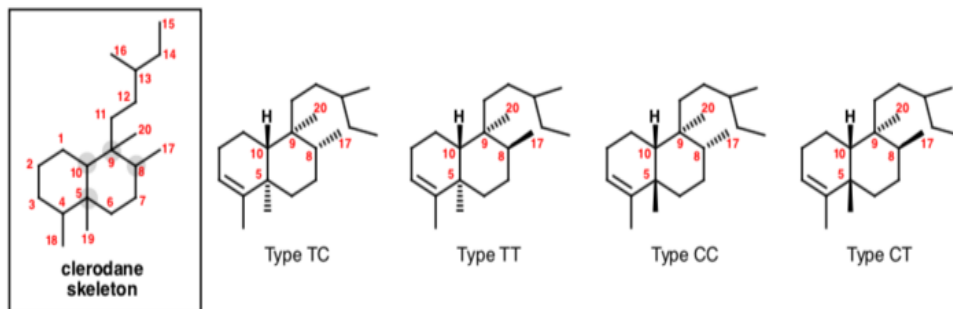
Keywords: diterpenes, biologically active substances, diterpenoids, abietanes, mono-, bi-, tri- and tetracyclic diterpenes

For citing: Udalova Y.A., Hajiyeve G.E., Mammadbayli E.H. Diterpenes and their main representatives // Bulletin of Bashkir State Pedagogical University named after M. Akmully. Series: Natural Sciences. 2025. №3.pp. 136-145.

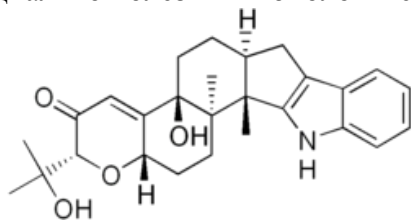
Дитерпены синтезируются растениями, животными и грибами через ГМГ-КоА-редуктазный путь. При этом, первичным промежуточным продуктом является геранилгеранилпирофосфат.



Дитерпены по количеству колец подразделяются на моно-, би-, три- и тетрациклические дитерпены. В работе [1] сообщается, что клеродановые дитерпены, выделенные из растений, составляют большинство дитерпенов. Они включают более 1300 соединений, обладающих широким спектром функциональных групп и стереохимии на декалиновых ядрах. Некоторые соединения обладают антифиденциальным действием против насекомых, агонист опиоидных рецепторов, обладает потенцирующим действием на рост нервов (NGF), противовоспалительным, цитотоксическим, противовоспалительным действиями и т.д. Ниже показаны основные типы клеродановых дитерпенов



Перегруппированные индольные дитерпены типа паксиллина представляют собой обширную группу грибных метаболитов, обладающих разнообразными структурными особенностями и потенциально полезными биологическими эффектами.

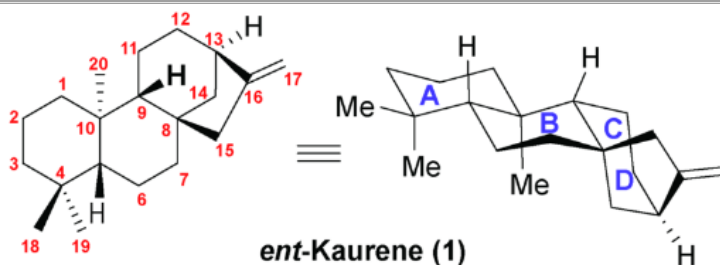


паксиллин

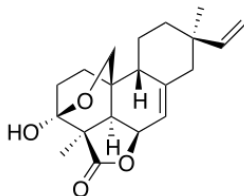
Уникальный индолотерпеноидный фрагмент, общий для всех конгенов, был впервые подтвержден кристаллографическими исследованиями паксиллина. Это семейство природных продуктов на протяжении последних четырех десятилетий привлекало внимание химиков-органиков и послужило источником вдохновения для многочисленных синтезов и синтетических подходов. В настоящем обзоре освещаются работы, которые заложили основу и открыли новые направления в этой области синтеза природных продуктов.

В работе [3] показаны последние достижения в области синтеза дитерпенов циатанового ряда.

Энт-каурановые дитерпеноиды, широко распространенные в наземных растениях, представляют собой важную группу тетрациклических дитерпенов с разнообразными структурами и разнообразной биологической активностью [4]. Все больше исследований показывают, что эти соединения обладают мощной противоопухолевой, антибактериальной и противовоспалительной активностью. Тетрациклические энт-каурановые дитерпеноиды обладают привлекательным структурным разнообразием благодаря внутримолекулярной циклизации, окислительному расщеплению и перегруппировкам их исходных соединений. В результате полный синтез энт-каурановых дитерпеноидов получил большое внимание со стороны синтетического сообщества в последние десятилетия. В этом обзоре описывается недавний прогресс в этой области, который включает полный синтез C-20 некислородсодержащих энт-кауранов, таких как (+)-лунгшенгенин D и фарицины A-C; полный синтез кислородсодержащих энт-кауранов C-20, таких как маокристалл P, эриокаликсин B, неолаксифлорин L и ксерофилузин I; полный синтез секо-энт-кауранов, таких как скульпомеатин N, трихорабал A, маокристалл Z, энмейн, изодокапин, скульпонин R, лондирабдиол, лонгирабдолактон и эффузин; и полный синтез нор- или перегруппированных энт-кауранов, таких как юнгерманненоны B и C, маокристалл V, юнгерматробрунин A и каурадиенон.

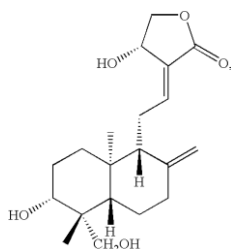


В работе [5] осуществлен стереоспецифический синтез (+)-4,4-динор-9Н-пимара-7,15-диена, который является модельным соединением при полном синтезе дитерпенов момилактонового типа



момилактон

Дитерпеновый лабдан 3-[2-[декагидро-6-гидрокси-5-(гидроксиметил)-5, α-диметил-2-метил-1-нафталинил]этилиден]-дигидро-4-гидрокси-2(3 α)-фуранон, химическая схема которого представлена ниже



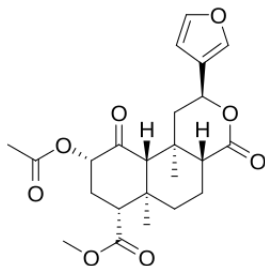
лабдан

ингибирует синтез провоспалительных цитокинов, активирует рецептор PPAR-γ и снижает активность ядерного фактора каппа В. Это соединение применяется при лечении аутоиммунных заболеваний, трансплантации органов и тканей, а также при лечении иммунодефицита (например, СПИДа) [5].

Ряд природных дитерпенов абиетана, окисленных по С-7, был синтезирован из рацемического ферругинилметилового эфира с высоким выходом. 6-Гидроксил-5,6-дегидросугиол (7) может быть преобразован в стабильный ксантоперол (12) при высокой температуре. Среди продуктов реакции структуры сугиилметилового эфира и 6-(гидроксисугиилметилового эфира) были определены методом рентгеноструктурного анализа [6].

Сальвинорин А – это дитерпен неоклеродана, который, как было показано, является агонистом каппа-опиоидных рецепторов [7]. Его уникальная структура делает его привлекательной мишенью для синтетических органических химиков благодаря его семи хиральным

центрам и дитерпеновому остову. Эта молекула также интересна фармакологам, поскольку является несеротонинергическим галлюциногеном и первым обнаруженным опиоидным лигандом, не содержащим основного азота. Было несколько подходов к полному синтезу сальвинорина А, и они будут подробно описаны в этой главе. Кроме того, исследовательские усилия были сосредоточены на структурной модификации остова сальвинорина А с помощью полусинтетических методов. Большинство модификаций были сосредоточены на манипуляциях с ацетатом в положении С-2 и фурановым кольцом. Однако химия также была разработана для получения аналогов в положении С-1 кетона, метилового эфира С-4 и лактона С-17. Будут описаны синтетические методики, разработанные для каркаса сальвинорина А, а также конкретные аналоги с интересными биологическими активностями.



сальвинорин А

Три производных геранилгеранилпирофосфата, содержащие эфирную группу в различных положениях в геранилгеранилпирофосфате, были использованы в биотрансформациях с участием пяти дитерпенсинтаз (CotB2, PvHVS, PaFS, Bnd4 и TXS), полученных из растений, бактерий и грибов [8]. Всего было выделено и охарактеризовано шесть новых кислородсодержащих дитерпеноидов, что углубило наши знания о субстратной неоднородности дитерпенсинтаз. Кроме того, дитерпенсинтаза PvHVS также принимает эфирное производное фарнезилпирофосфата и преобразует его в тот же тетрагидрофурановый остов, что и для аналогичного удлиненного субстрата GGPP. Этот результат дополнительно демонстрирует, что дитерпенсинтазы также проявляют неоднородность в отношении укороченных неприродных субстратов.

Абиетановые дитерпеноиды (АД), синтезируемые в корнях различных видов шалфея, такие как этиопинон, 1-оксоэтиопинон, сальвиписон и ферругинол, обладают разнообразной известной биологической активностью [9]. Авторы показали, что этиопинон обладает многообещающей цитотоксической активностью в отношении нескольких линий клеток опухолей человека, включая аденокарциному молочной железы MCF7, HeLa, эпителиальную карциному, аденокарциному предстательной железы PC3 и меланому

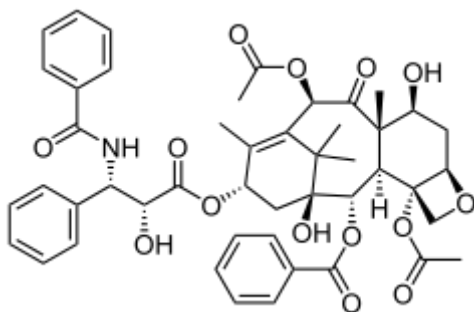
человека A375. Низкое содержание этих соединений в природных источниках и ограниченная возможность их химического синтеза с низкими затратами побудили нас оптимизировать производство абиетановых дитерпеноидов путем таргетирования генов пути метилэритритолфосфата (МЭФ), из которого они происходят. В этой работе авторы сообщают о текущих и продолжающихся усилиях по усилению метаболического потока в сторону этого интересного класса соединений в волосистых корнях шалфея (HRs).

Терпены широко используются в природе для химической коммуникации, но наше понимание того, как эти структурно разнообразные природные продукты производятся насекомыми, только начинает формироваться [10]. Самцы москита *Lutzomyia longipalpis* используют терпеновые феромоны, чтобы заманивать самок и других самцов к местам спаривания. Это насекомое привлекает значительное внимание своей ролью переносчика паразита *Leishmania*, вызывающего малоизученное тропическое заболевание лейшманиоз. В данном исследовании была идентифицирована, гетерологично экспрессирована и функционально охарактеризована дитерпеновая синтаза, продуцирующая феромонный компонент собранен. Это представляет собой идентификацию терпеновой синтазы (TPC) из *Lutzomyia* и показывает, что насекомые способны к биосинтезу дитерпенов. Это открывает потенциал для устойчивого производства этого соединения посредством биокатализа.

В патентной работе [11] предложен способ получения дитерпена или гликозилированного дитерпена, который включает: а. ферментацию рекомбинантного микроорганизма в подходящей среде ферментации, где микроорганизм содержит одну или несколько нуклеотидных последовательностей, кодирующих: полипептид с активностью энт-копалилпирофосфатсинтазы; полипептид с активностью энт-кауренсинтазы; полипептид с активностью энт-кауреноксидазы; и полипептид с активностью 13-гидроксилазы кауреновой кислоты, и где экспрессия нуклеотидной(ых) последовательности(ей) придает(ют) микроорганизму способность продуцировать по меньшей мере стевииол, посредством чего дитерпен или гликозилированный дитерпен продуцируется внеклеточно в среде ферментации; и б. извлечение дитерпена или гликозилированного дитерпена из среды ферментации.

Кольцо А таксола было синтезировано из бромдиена и акрилоилхлорида с получением соединения, которое было разделено путем разделения диастереомеров [12]. Аллильное окисление соединения дало соединение, которое после снятия защиты, этерификации и восстановления дало соединение, нагревание которого с последующим восстановлением и защитой дало новое соединение. Компонент С-кольца был получен с использованием асимметричной

методики восстановления Берча в сочетании со стандартными манипуляциями с функциональными группами с получением соединения. Объединение полученных двух соединений дало соединение, термоллиз которого не привел к образованию оксида нитрила, а скорее к ионизации до оксидиенильного катиона, что в конечном итоге привело к образованию производного таксола.



таксол

Методами аллильного бромирования и аллильного ацетоксилирования синтезировано тетрагидропроизводное природного дитерпена 7 α -гидроксиманоола. Установлены структуры других продуктов реакции [13, 14-19].

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Haqiwara H. Total Syntheses of Clerodane Diterpenoids—A Review // Natural Product Communications. – 2019. – N 2. – pp.131-159.
2. Schatz D.J., Kuenstner E.J., George D., Pronin S.V. Synthesis of rearranged indole diterpenes of the paxilline type // Nat. Prod. Rep. – 2023. – Vol. 39. – N 5. – pp.946-968.
3. Wright D., Whitehead Ch.R. Recnt progress on the synthesis of cyathane type diterpenes. A review // New Journal for Organic Synthesis. – 2000. – Vol. 32. – N 4. – pp.307-330.
4. Wu L., Wang J., Dawei M. The Total Synthesis of ent-Kaurane Diterpenoids // Progress in Chemistry. – 2019. – Vol. 31. – N 11. – pp.1460-4171.
5. Pat. 8084495B2. US. 2004. Composition of labdane diterpenes extracted from andrographis paniculata, useful for the treatment of autoimmune diseases, and alzheimer disease by activation for PPR-gamma receptors / Orozco J., Aguilera R. /
6. Anpai L., Xuegong Sh., Zhang J., Tongxing W. Synthesis of C-7 oxidized abietane diterpenes from racemic ferruginyl methyl ether // Elsevier BV. – 2003. – Vol. 59. – N 30. – pp.127-142.
7. Lovell K., Preyatt K.M., Lozama A., Prisinzano Th. Synthesis of neoclerodane diterpenes and their pharmacological effects // Chemistry of Opioids. – 2011. – Vol. 2999. – Vol. 141-185.

8. Ravkina V., Drager G., Droste J., Schworer S. Expanding the “Terpenome”: Diterpene Synthases Accept GGPP^{ether} Substrates // *ACS Catalysis*. – 2025. – Vol. 15. – pp.6796-6811.
9. Vaccaro M.C., Alfieri M., Tommasu N., Moses T. Boosting the synthesis of pharmaceutically active abietane diterpenes in *S. sclarea* hairy roots by engineering the GGPPS and CPPS genes // *Frontiers in Plant Sciences*. – 2020. – Vol. 11. – pp.924-935.
10. Ducker Ch., Baines C., Guy J., Oldham N.J. A diterpene synthase from the sandfly *Lutzomyia longipalpis* produces the pheromone sobralene // *PNAS*. – 2024. – Vol. 121. – N 12. – pp.1-8.
11. Patş WO 2014191580A1. US. 2014. Extracellular diterpene production / Boer V., Broers N., Lawrence A. /
12. Magnus P., Weshwood N., Spyvee M., Frost C. Taxane diterpenes 5: Synthesis of the A- and C-rings: An unusual rearrangement of an N-hydroxyimino lactone // *Tetrahedron*. – 1999. – Vol. 55. – N 21. – pp.6435-6452.
13. Grant P.K., Huntrakul C., Waevers R.T. The diterpenes of *Dacrydium kirkii*. A synthesis of Labdane-7 α ,13-diol // *Australian Journal of Chemistry*. – 1972. – Vol. 25. – N 2. – pp.365-374.
14. Forestier E.C., Brown G.D., Harvey D., Larson T.R. Engineering Production of a Novel Diterpene Synthase Precursor in *Nicotiana benthamiana* // *Front. Palnt Sci*. – 2021. – Vol. 21. – pp.235-247.
15. Poon S., Banerjee K., William J.V., Liadia B. Reagents for Bromination; Application in the Synthesis of Diterpenes, Sesquiterpenes and Bioactive Compounds // *Current Organic Chemistry*. – 2017. – Vol. 21. – N 10. – pp.889-907.
16. Dibrell S., Tao Y., Reismann S. Synthesis of Complex Diterpenes: Strategies Guided by Oxidation Pattern Analysis // *Chemistry*. – 2021. – Vol. 16. – pp.238-247.
17. Alleman C., Gadais Ch., Legentil L., Poree F-H. Strategies to access the [5-8] bicyclic core encountered in the sesquiterpene, diterpene and sesterterpene series // *Beilstein Journal of Organic Chemistry*. – 2023. – Vol. 19. – pp.245-281.
18. Bryson T.A., McElligott L.T. Biomimetic Synthesis of Tricyclic Diterpenes // *Synthetic Communications*. – 1982. – Vol. 12. – N 4. – pp.307-312
19. Mori K., Saeki K., Matsui M. Diterpenoid Total Synthesis Part XVII.1) An Alternative Synthetic Route to (•)-14-Methoxy20-aminopodocarpa-8,11,13-trien-19-oic Acid 19 • 20 Lactam, the Tetracyclic Intermediate for the Synthesis of Diterpenoid Alkaloids // *Agr. Biol. Chem*. – 1971. – Vol. 35. – N 6. – pp.956-958.

REFERENCES

1. Haqiwarra H. Total Syntheses of Clerodane Diterpenoids—A Review // *Natural Product Communications*. – 2019. – N 2. – pp.131-159.
2. Schatz D.J., Kuenstner E.J., George D., Pronin S.V. Synthesis of rearranged indole diterpenes of the paxilline type // *Nat. Prod. Rep.* – 2023. – Vol. 39. – N 5. – pp.946-968.
3. Wright D., Whitehead Ch.R. Recent progress on the synthesis of cyathane type diterpenes. A review // *New Journal for Organic Synthesis*. – 2000. – Vol. 32. – N 4. – pp.307-330.
4. Wu L., Wang J., Dawei M. The Total Synthesis of ent-Kaurane Diterpenoids // *Progress in Chemistry*. – 2019. – Vol. 31. – N 11. – pp.1460-4171.
5. Pat. 8084495B2. US. 2004. Composition of labdane diterpenes extracted from *andrographis paniculata*, useful for the treatment of autoimmune diseases, and alzheimer disease by activation for PPR-gamma receptors / Orozco J., Aguilera R. /
6. Anpai L., Xuegong Sh., Zhang J., Tongxing W. Synthesis of C-7 oxidized abietane diterpenes from racemic ferruginyl methyl ether // *Elsevier BV*. – 2003. – Vol. 59. – N 30. – pp.127-142.
7. Lovell K., Preyatt K.M., Lozama A., Prisinzano Th. Synthesis of neoclerodane diterpenes and their pharmacological effects // *Chemistry of Opioids*. – 2011. – Vol. 2999. – Vol. 141-185.
8. Ravkina V., Drager G., Droste J., Schworer S. Expanding the “Terpenome”: Diterpene Synthases Accept GGPP_{ether} Substrates // *ACS Catalysis*. – 2025. – Vol. 15. – pp.6796-6811.
9. Vaccaro M.C., Alfieri M., Tommasu N., Moses T. Boosting the synthesis of pharmaceutically active abietane diterpenes in *S. sclarea* hairy roots by engineering the GGPPS and CPPS genes // *Frontiers in Plant Sciences*. – 2020. – Vol. 11. – pp.924-935.
10. Ducker Ch., Baines C., Guy J., Oldham N.J. A diterpene synthase from the sandfly *Lutzomyia longipalpis* produces the pheromone sobralene // *PNAS*. – 2024. – Vol. 121. – N 12. – pp.1-8.
11. Pat. WO 2014191580A1. US. 2014. Extracellular diterpene production / Boer V., Broers N., Lawrence A. /
12. Magnus P., Weshwood N., Spyvee M., Frost C. Taxane diterpenes 5: Synthesis of the A- and C-rings: An unusual rearrangement of an N-hydroxyimino lactone // *Tetrahedron*. – 1999. – Vol. 55. – N 21. – pp.6435-6452.
13. Grant P.K., Huntrakul C., Waevers R.T. The diterpenes of *Dacrydium kirkii*. A synthesis of Labdane-7 α ,13-diol // *Australian Journal of Chemistry*. – 1972. – Vol. 25. – N 2. – pp.365-374.
14. Forestier E.C., Brown G.D., Harvey D., Larson T.R. Engineering Production of a Novel Diterpene Synthase Precursor in *Nicotiana benthamiana* // *Front. Plant Sci.* – 2021. – Vol. 21. – pp.235-247.

15. Poon S., Banerjee K., William J.V., Liadia B. Reagents for Bromination; Application in the Synthesis of Diterpenes, Sesquiterpenes and Bioactive Compounds // Current Organic Chemistry. – 2017. – Vol. 21. – N 10. – pp.889-907.

16. Dibrell S., Tao Y., Reismann S. Synthesis of Complex Diterpenes: Strategies Guided by Oxidation Pattern Analysis // Chemistry. – 2021. – Vol. 16. – pp.238-247.

17. Alleman C., Gadais Ch., Legentil L., Poree F-H. Strategies to access the [5-8] bicyclic core encountered in the sesquiterpene, diterpene and sesterterpene series // Beilstein Journal of Organic Chemistry. – 2023. – Vol. 19. – pp.245-281.

18. Bryson T.A., McElligott L.T. Biomimetic Synthesis of Tricyclic Diterpenes // Synthetic Communications. – 1982. – Vol. 12. – N 4. – pp.307-312.

19. Mori K., Saeki K., Matsui M. Diterpenoid Total Synthesis Part XVII.1) An Alternative Synthetic Route to (•)-14-Methoxy20-aminopodocarpa-8,11,13-trien-19-oic Acid 19 • 20 Lactam, the Tetracyclic Intermediate for the Synthesis of Diterpenoid Alkaloids // Agr. Biol. Chem. – 1971. – Vol. 35. – N 6. – pp.956-958.

Информация об авторах

Е.А. Удалова – доктор химических наук, главный научный сотрудник УГНТУ, Уфа, РФ;

Г.Э. Гаджиева – кандидат химических наук, главный научный сотрудник лаборатории «Изучение антимикробной активности и биоповреждений» ИНХП МНО Азербайджана, Баку;

Э.Г. Мамедбейли – доктор химических наук, профессор, заведующий лабораторией «Изучение антимикробной активности и биоповреждений» ИНХП МНО Азербайджана, Баку.

Information about the authors

E.A. Udalova – Doctor of Chemical Sciences, Chief Researcher of USPTU, Ufa, RF;

G.E. Hajiyeva – Candidate of Chemical Sciences, Chief Researcher of the Laboratory "Study of Antimicrobial Activity and Biodamage", IPCP MES of Azerbaijan, Baku;

E.G. Mammadbayli – Doctor of Chemical Sciences, Professor, Head of the Laboratory "Study of Antimicrobial Activity and Biodamage", IPCP MES of Azerbaijan, Baku.

Статья поступила в редакцию 11.07.2025; принята к публикации 13.08.2025.

The article was submitted 11.07.2025; accepted for publication 13.08.2025

ХИМИЧЕСКИЕ НАУКИ

Научная статья

УДК 547.541.3

DOI 10.21510/3034-266X-2025-3-146-151

К МЕТОДАМ ОБЕССЕРИВАНИЯ НЕФТЕЙ

Панах Магомед оглу Ширинов

*Сумгаитский государственный университет, Сумгаит,
Азербайджан*

pehansirinov@mail.ru

Аннотация. Десульфуризация нефтей и нефтепродуктов, различных видов топлива является критически важным процессом в нефтепереработке из-за разрушительного воздействия соединений серы на здоровье человека и окружающую среду. Для этой цели предложены различные методы, в частности гидродесульфуризация, окислительная демульфуризация, биодесульфуризация и др. В этой работе нами рассмотрены наиболее основные методы процесса десульфуризации нефтей и нефтепродуктов, используемые в настоящее время в нефтяной промышленности и нефтепереработке.

Ключевые слова: десульфуризация, окислительная десульфуризация, биодесульфуризация, сернистые соединения

Для цитирования: Ширинов П.М. К методам обессеривания нефтей // Вестник Башкирского государственного педагогического университета им. М.Акмиллы. Серия: Естественные науки. 2025. № 3. С. 146-151.

CHEMICAL SCIENCES

Original article

TO THE METHODS OF OIL DESULPHURIZATION

Panah Mahammad Shirinov

Sumgayit State University, Sumgayit, Azerbaijan

pehansirinov@mail.ru

Abstract. Desulfurization of oils and oil products, various types of fuel is a critically important process in oil refining due to the destructive impact of sulfur compounds on human health and the environment. Various methods have been proposed for this purpose, in particular hydrosulfurization, oxidative desulfurization, biodesulfurization, etc. In this paper, we consider the most basic methods of the desulfurization

process of oils and oil products currently used in the oil industry and oil refining

Keywords: desulfurization, oxidative desulfurization, biodesulfurization, sulfur compounds

For citing: Shirinov P.M. To the methods of oil desulphurization // Bulletin of Bashkir State Pedagogical University named after M. Akmully. Series: Natural Sciences. 2025. № 2. pp. 146-151.

Десульфуризация нефтяных продуктов сводится к процессу удаления сернистых соединений из состава нефти и нефтепродукта, предназначенный для улучшения качества топлива. В этой работе рассмотрены наиболее часто используемые методы для обессеривания нефтяных продуктов, например: термическая десульфуризация.

В этом методе для извлечения сернистых соединений, серосодержащие производные реагируют с водородом при высоких температурах и давлении и, в конечном итоге, образуется H_2S - ионная десульфуризация. Для извлечения соединений серы используют ионные жидкости:

-адсорбция

-экстракция

Цель десульфуризации заключается в удалении серы в топливе, что позволяет получать более чистое топливо и уменьшает образование вредных веществ при сгорании топлива, в частности. SO_2 .

Так, в работе [1] десульфуризация реактивного топлива, дизельного топлива, тяжелого остатка и товарного печного топлива осуществляется путем экстракции водными растворами хлорида натрия и другими солями и кислотами. Среди используемых растворов наиболее эффективными для удаления соединений серы из исследуемых фракций при температуре $40^\circ C$ и времени встряхивания 30 мин оказались $HgCl_2$ и $Ca(OH)_2$. Общее обеднение серы 60 % и 58 % было достигнуто в случае реактивного топлива, 71 % и 62 % в случае дизельного топлива, 68 % и 67 % в случае тяжелого остатка и 67 % и 69 % в случае товарного печного топлива с 10% водными растворами $HgCl_2$ и 5% $Ca(OH)_2$ соответственно.

Для десульфурации нефтяного кокса было предложено множество процессов, начиная от чисто физических, таких как экстракция растворителем, до термической или химической обработки с использованием различных агентов, включая углеводородные газы, соединения щелочных металлов и водород [2]. Сложность связей сера-углерод в коксе, а также чрезвычайно изменчивая природа самого кокса, исключают возможность теоретического исследования с акцентом на эмпирические данные, как следствие. Вывод, который вытекает из этого обзора, заключается в том, что термическая

обработка с использованием подходящего агента необходима для эффективной десульфурации при температурах ниже 1100 К.

В патенте [3] предложен способ десульфуризации тяжелых нефтяных остатков, который включает их нагревание до температуры от 190° до 200°C, пропускание через нагретые тяжелые нефтяные остатки электрического тока напряжением 4-20 В и добавление к ним Fe₂O₃ и/или Pb₃O₄ и Ba(OH)₂ при массовом соотношении компонентов 1-10:1-20 соответственно; в случае одновременного использования Fe₂O₃ и Pb₃O₄ их массовое соотношение составляет 2-9:1-5.

Удаление серы путем глубокой гидродесульфурации является дорогостоящим и небезопасным для окружающей среды [4,5]. Кроме того, сера не полностью отделяется от гетероциклических полиароматических соединений. Имеется ряд природных микроорганизмов, которые способны удалять серу из нефтяных фракций. Все эти микробы удаляют серу из стойких сероорганических соединений по пути 4S, демонстрируя потенциал только для некоторых сероорганических соединений. Для удовлетворения текущего спроса на десульфурацию необходима активность до 100 мкМ/г сухого веса клеток. В настоящем обзоре описывается способность различных микроорганизмов к десульфурации, действующих на несколько видов серосодержащих соединений.

Штамм *Rhodococcus* sp. ECRD-1 оценивался на предмет его способности десульфуровать фракцию среднего дистиллята (дизельный диапазон) сырой нефти бассейна Орегона (ОВ) при температуре от 232 до 343°C [6]. Нефть ОВ использовалась в качестве единственного источника серы в партиях культур, и были определены степень десульфурации и химическая судьба остаточной серы в нефти после обработки. Газовая хроматография (ГХ), пламенно-ионизационное детектирование и анализ хемилюминесцентного обнаружения серы ГХ использовались для качественной оценки влияния обработки штаммом *Rhodococcus* sp. ECRD-1 на содержание углеводородов и серы в нефти соответственно. Общее содержание серы определялось путем сжигания образцов и измерения выделившегося диоксида серы методом инфракрасного поглощения. Было удалено до 30% общего содержания серы в фракции среднего дистиллята, а также были затронуты соединения во всем диапазоне кипения нефти. Для изучения химического состояния серы, оставшейся в обработанной нефти ОВ, использовалась рентгеновская абсорбционная спектроскопия

Изучена десульфурация нефтяного кокса окислением его серосодержащих компонентов в водной фазе кислородом при повышенных давлениях и температурах в периодическом режиме (в автоклаве) [7]. Десульфурацию проводили в одну стадию в водной

фазе при избыточном давлении, соответствующем или превышающем давление насыщенных паров воды при температуре 110–250°C. В качестве десульфуризирующего агента использовали атмосферный кислород или газообразный кислород. Определены зависимости степени десульфурации от параметров процесса.

Низкое качество сырой нефти, очевидно, приводит к высокому содержанию серы в нефтепродуктах, и технология десульфурации сырой нефти срочно необходима, чтобы содержание серы в нефтепродуктах можно было бы снизить из корня [8]. Методы десульфурации, включая их вариации, которые обсуждаются, включают гидродесульфурацию, экстрактивную десульфурацию, окислительную десульфурацию, биодесульфурацию и десульфурацию через алкилирование, хлоринолиз и с использованием сверхкритической воды. Каталитическая десульфурация остаточной нефти была проведена путем частичного окисления в сверхкритической воде, и таким образом было удалено 60% серы

Исследование [9] направлено на удаление серы из нефтяных отходов. Это углеродистое твердое вещество, полученное из установок коксования на нефтеперерабатывающих заводах или других процессов крекинга. Его высокая теплотворная способность и низкая зольность делают его хорошим топливом для выработки электроэнергии в угольных котлах, но нефтяной кокс содержит много серы и мало летучих веществ, что создает некоторые экологические и технические проблемы при его сжигании. Удаление серы является гигантской задачей, которая может быть достигнута с помощью различных методов. Микробный метод является эффективной и экономически выгодной альтернативой химическим и физическим методам из-за его низкой потребности в энергии и меньшего образования отходов в качестве побочного продукта. Десульфуризация нефтей и нефтепродуктов также были предметом обсуждений в работах [10-12].

Таким образом, подходы к десульфурации нефтей и нефтепродуктов включают окислительную десульфурацию, адсорбционную десульфурацию и десульфурацию фотоокислением, гидродесульфурацию, десульфурацию экстракцией, с-алкилирование, s-алкилирование, микробную десульфурацию и десульфурацию ультразвуковым окислением, аэробную микробную десульфуризацию, анаэробную микробную десульфурацию и десульфурацию сверхкритической водой. Десульфурация происходит из-за свойств сырой нефти, в основном высокого диапазона кипения, высокой текучести, высокого содержания серы и природы содержания серы.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Shakirullah M., Ahmad I., Waqas A., Ishaq M. Desulphurization study of petroleum products through extraction with aqueous ionic liquids // J. Chilean Chem. Soc. – 2010. – Vol. 55. – N 2. – pp.179-183.
2. Al-Haj Ibrahim H., Morsi B. Desulfurization of Petroleum Coke: A Review // Industrial and Engineering Chemistry Research. – 1992. – Vol. 31. – N 8. – pp.1835-1840.
3. Pat. 4849094A. US. Process for desulphurization of heavy petroleum residues using electric current / Shmeleva L.A., Chebyshev V.A., Turkov R.R.
4. Abrar A., Zamzami M., Varish A., Salwa T. Bacterial Biological Factories Intended for the Desulfurization of Petroleum Products in Refineries // Fermentation. – 2023. – Vol. 9. – N 3. – pp.211-219.
5. Javadli R., de Klerk A. Desulphurization of heavy oil // Applied Petrochemical Research. – 2012. – Vol. 1. – pp.3-19.
6. Grossman M., Lee M.K., Prince R.C., Garrett K. Microbial Desulfurization of a Crude Oil Middle-Distillate Fraction: Analysis of the Extent of Sulfur Removal and the Effect of Removal on Remaining Sulfur // Appl. Environ. Microbiol. – 1999. – Vol. 65. – N 1. – pp.181-188.
7. Dobrynkin N.M., Batygina M.V., Kapustin V.M. Oxidative desulphurization of petroleum coke // Russian Journal of Applied Chemistry. – 2022. – Vol. 95. – pp.1297-1303.
8. Agrawal A., Sharma S., Singh Naruka A., Rahul Sh. Desulphurization of crude oil // International Journal of Advanced Research in Science and Engineering. – 2018. – Vol. 7. – N 2. – pp.242-251.
9. Kumari R. Desulphurization of Petroleum Waste // Journal of Environmental Science, Toxicology and Food Technology. – 2014. – Vol. 8. – N 2. – pp.58-60.
10. Lukasiewicz S.J., Johnson G. Desulfurization of Petroleum Coke // Ind. Eng. Chem. – 1980. – Vol. 52. – N 8. – pp.675-677.
11. Akhmadullin R.M., Agadjanyan S.I., Akhmadullina A.G., Zaripova A.R. Desulphurization of petroleum products and sewage decontamination using polymeric KSM catalyst // Oil Refining and Petrochemical. – 2012. – N 6. – pp.10-16.
12. Siddiqui S.U., Kashif A. Methods for desulphurization of crude oil – a review // Sci. Int. (Lahore). – 2016. - Vol. 28. – N 2. – pp.1169-1173.

REFERENCES

1. Shakirullah M., Ahmad I., Waqas A., Ishaq M. Desulphurization study of petroleum products through extraction with aqueous ionic liquids // J. Chilean Chem. Soc. – 2010. – Vol. 55. – N 2. – pp.179-183.
2. Al-Haj Ibrahim H., Morsi B. Desulfurization of Petroleum Coke: A Review // Industrial and Engineering Chemistry Research. – 1992. – Vol. 31. – N 8. – pp.1835-1840.

3. Pat. 4849094A. US. Process for desulphurization of heavy petroleum residues using electric current / Shmeleva L.A., Chebyshev V.A., Turkov R.R.
4. Abrar A., Zamzami M., Varish A., Salwa T. Bacterial Biological Factories Intended for the Desulfurization of Petroleum Products in Refineries // Fermentation. – 2023. – Vol. 9. – N 3. – pp.211-219.
5. Javadli R., de Klerk A. Desulphurization of heavy oil // Applied Petrochemical Research. – 2012. – Vol. 1. – pp.3-19.
6. Grossman M., Lee M.K., Prince R.C., Garrett K. Microbial Desulfurization of a Crude Oil Middle-Distillate Fraction: Analysis of the Extent of Sulfur Removal and the Effect of Removal on Remaining Sulfur // Appl. Environ. Microbiol. – 1999. – Vol. 65. – N 1. – pp.181-188.
7. Dobrynkin N.M., Batygina M.V., Kapustin V.M. Oxidative desulphurization of petroleum coke // Russian Journal of Applied Chemistry. – 2022. – Vol. 95. – pp.1297-1303.
8. Agrawal A., Sharma S., Singh Naruka A., Rahul Sh. Desulphurization of crude oil // International Journal of Advanced Research in Science and Engineering. – 2018. – Vol. 7. – N 2. – pp.242-251.
9. Kumari R. Desulphurization of Petroleum Waste // Journal of Environmental Science, Toxicology and Food Technology. – 2014. – Vol. 8. – N 2. – pp.58-60.
10. Lukasiewicz S.J., Johnson G. Desulfurization of Petroleum Coke // Ind. Eng. Chem. – 1980. – Vol. 52. – N 8. – pp.675-677.
11. Akhmadullin R.M., Agadjanyan S.I., Akhmadullina A.G., Zaripova A.R. Desulphurization of petroleum products and sewage decontamination using polymeric KSM catalyst // Oil Refining and Petrochemical. – 2012. – N 6. – pp.10-16.
12. Siddiqui S.U., Kashif A. Methods for desulphurization of crude oil – a review // Sci. Int. (Lahore). – 2016. - Vol. 28. – N 2. – pp.1169-1173.

Информация об авторе

П.М. Ширинов – кандидат химических наук, доцент Сумгаитского государственного университета, Сумгаит, Азербайджан.

Information about author

P.M. Shirinov – candidate of chemical sciences, docent of Sumgayit State University, Sumgayit, Azerbaijan.

Статья поступила в редакцию 11.07.2025; принята к публикации 13.08.2025.

The article was submitted 11.07.2025; accepted for publication 13.08.2025.

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

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,
<https://orcid.org/0000-0003-4616-0758>***

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

Пример –

Арпик Ашотовна Асратян^{1, 2}

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

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

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

Имена авторов приводят в принятой ими последовательности.

Сведения о месте работы (учёбы), электронные адреса, ORCID

авторов указывают после имён авторов на разных строках и связывают с именами с помощью надстрочных цифровых обозначений¹.

Пример –

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

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

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

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

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

Пример –

Юлия Альбертовна Зубок¹, Владимир Ильич Чупров²

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

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

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

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

Пример –

Sergey Yu. Glaz'ev

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

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

– полные имена, отчества и фамилии, электронные адреса и ORCID авторов, если они не указаны на первой полосе статьи (см. 4.9.2.2);

– учёные звания;

– учёные степени;

– другие, кроме ORCID, международные идентификационные номера авторов.

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

Пример –

Информация об авторах

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

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

Information about the authors

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

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

Пример –

Информация об авторе

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

Information about the author

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

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

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

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

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

Пример –

Книгоиздание России в 2019 г.

Галина Викторовна Перова¹, Константин Михайлович Сухоруков²

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

¹perova_g@tass.ru

²*a-bibliograf@mail.ru*

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

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

Publishing in Russia in 2019

Galina V. Perova¹, Konstantin M. Sukhorukov²

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

¹*perova_g@tass.ru*

²*a-bibliograf@mail.ru*

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

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

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

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

Пример –

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

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

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

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

© Олесова Е.И., 2022

или

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

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

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

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

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

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

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

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

17. В пристатейный библиографический список включают записи на ресурсы по теме статьи, на которые не даны ссылки, а также записи на произведения лиц, которым посвящена статья.

Библиографическую запись для пристатейного библиографического списка составляют по ГОСТ 7.80, ГОСТ Р 7.0.100.

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

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

При наличии двух и более приложений их нумеруют.

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

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

22. Подстрочные примечания помещают внизу соответствующей страницы текста статьи.

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*; ξ и

ζ; v, v̇ 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, 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.

164

др.]; под ред. Д.В. Беклемишева. Электрон. текстовые дан. Изд. 3-е, испр. СПб.: Лань, 2008. URL: <http://e.lanbook.com/view/book/76/>

Ссылки внутри текста

Затекстовые библиографические ссылки:

В конце абзаца текста в квадратных скобках [3, с. 25]

3 – номер источника в списке литературы с. 25 – номер страницы.

Статьи, оформленные с нарушением перечисленных выше правил, редакцией не рассматриваются.

Образец:

ЛИТЕРАТУРОВЕДЕНИЕ

Научная статья

УДК 81'38

DOI:

СТИЛИСТИЧЕСКОЕ СВОЕОБРАЗИЕ ПОВЕСТИ А.С. ПУШКИНА «КАПИТАНСКАЯ ДОЧКА»

Иван Иванович Иванов¹, Иван Иванович Сидоров²

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

¹ivanov@mail.ru

²nova8@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.Акмиллы. Серия: Филологические науки. 2024. №1. С.

LITERARY STUDIES

Original article

THE STYLISTIC UNIQUENESS OF THE NOVELLA "THE CAPTAIN'S DAUGHTER" BY A.S. PUSHKIN

Ivan I. Ivanov¹, Ivan I. Sidorov²

^{1,2} Bashkir State Pedagogical University n.a. M. Akmulla, Ufa,
Russia

¹ivanov@mail.ru

²nova8@mail.ru

Abstract. The article presents a stylistic analysis of Alexander Pushkin's novella "The Captain's Daughter," exploring its unique stylistic features. Analyzing the text from the perspective of language and stylistic devices helps reveal the artistic execution and linguistic mastery of the work. The study focuses on the use of lexical expressions, phraseology, artistic techniques, and the role of stylistics in character creation. The results of the analysis aid in a deeper understanding and appreciation of Alexander Pushkin's contribution to the development of Russian literature, as well as in proposing new research hypotheses regarding the structure and meaning of "The Captain's Daughter." ... (не менее 250 слов).

Keywords: Alexander Pushkin, The Captain's Daughter, stylistic device, linguistic mastery, novella

For citing: Ivanov I.I., Sidorov I.I. Stylistic uniqueness of Alexander Pushkin's novella "The Captain's Daughter" // Bulletin of Bashkir State Pedagogical University named after M. Akmully. Series: Philological Sciences. 2024. №1. pp.

Структура текста публикации:

Введение:

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

Основная часть:

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

Заключение:

- выводы;
- возможные направления дальнейших исследований.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ (не менее 15)

1. Абрамзон С. М. Киргизы и их этногенетические и историко-культурные связи. – Л., 1971.
2. Ахмеров Р. Б. Наскальные знаки и этнонимы башкир. – Уфа: Китап, 1994. – 112 с: ил. ISBN 5-295-01493-2 (Из записок историка-краеведа).
3. Башкорт халык ижады. 5-се том. Тарихи кобайырзар, хикәйттәр, иртәктәр / Төзөүсе, инеш мәкәлә, коммент., глоссарий авторы Н.Т. Зарипов. Яуаплы редактор З.Ғ. 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, хикәйәттәр, иртәктәр / Төзөүсе, инеш мәкәлә, коммент., глоссарий авторы Н.Т. Зарипов. Яуаплы редактор З.Ғ. 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, hikəjtəttər, irtəktər [Bashkir folk art. Volume 5. Historical kubairs, legends, tales] / Təzəyşe, inesh məkələ, komment., glossarij avtory N.T. Zaripov. YAuply redaktor Z.F. Uraksin. – Əfə, 2000. – 391 b.
4. Bashkort halyk izhady. XIII t. Hajuandar turahynda əkiəttər [Bashkir folk art. XIII vol. Animal Tales] / Təz, bash hüz avtory G.R. Həsəjenova, ahl. avt-ry L. G. Barag, M. M. Mingazhetdinov, G.R. Həsəjenova. – Əfə: Kitap, 2009. – 200 b.
5. Bashkort halyk izhady. Əkiəttər III kitap [Bashkir folk art. Fairy Tales book III] / Təz. N.T. Zaripov, M.M. Minhazhetdinov, 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, ahlətm. avtory. F.A. Nəzərshina. – Əfə: Kitap, 2006. – 544 b.
8. Bashkort halyk izhady. T.5. Tarihi kobajyrzar, hikəjtəttər, irtəktər [Bashkir folk art. Vol. 5. Historical kubairs, tales, tales] / Təzəyşe, inesh məkələ, komment., glossarij avtory N.T. Zaripov. YAuply redaktor Z.F. Uraksin. – Əfə, Kitap, 2000. 5-se tom, 391 s.
9. Beryozkin YU. E. Rekonstrukciya syuzheta sozdaniya cheloveka u stepnyh indoevropceev [Reconstruction of the plot of human creation among the steppe Indo-Europeans] // Kul'tury stepnoj Evrazii i ih vzaimodejstvie s drevnimi civilizatsiyami. – SPb.: IIMK RAN. «Periferiya». Red. kollegiya. 2012. kn. 2. – 584 s.
10. V preddverii filosofii: duhovnye iskanija 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. Arhaicheskije predstavleniya o vetre v kalmyckom fol'klory: 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.