

УЧЕНЫЕ ЗАПИСКИ
КРЫМСКОГО ФЕДЕРАЛЬНОГО
УНИВЕРСИТЕТА имени В. И. ВЕРНАДСКОГО.
БИОЛОГИЯ. ХИМИЯ

Научный журнал

Том 11 (77), № 1

Журнал «Ученые записки Крымского федерального
университета имени В. И. Вернадского. Биология. Химия»
является историческим правопреемником журнала «Ученые записки
Таврического университета», который издается с 1918 г.

Крымский федеральный университет имени В. И. Вернадского
Симферополь, 2025

Свидетельство о регистрации СМИ – ПИ № ФС77-61791 от 18 мая 2015 года.

Выдано Федеральной службой по надзору в сфере связи,
информационных технологий и массовых коммуникаций.

Учредитель – ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет имени В. И. Вернадского»

**Печатается по решению Научно-технического совета Крымского федерального
университета имени В. И. Вернадского, протокол № 3 от 15 апреля 2025 г.**

Журнал включен в Перечень рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы
основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание
ученой степени доктора наук, отрасль науки 1.4.1. – неорганическая химия, 1.4.2. – аналитическая химия,
1.4.3. – органическая химия, 1.4.4. – физическая химия, 1.4.9. – биоорганическая химия, 1.4.15. – химия
твердого тела, 1.5.5. – физиология человека и животных, 1.5.9. – ботаника, 1.5.15. – экология,
1.5.20 – биологические ресурсы, 1.5.24. – нейробиология, дата включения – 12.07.2017, а также в систему
«Российский индекс научного цитирования» (РИНЦ)

Адрес учредителя и издателя: 295007, Республика Крым, г. Симферополь, пр-т Академика Вернадского, д. 4.

**Редакционная коллегия журнала «Ученые записки Крымского федерального
университета имени В. И. Вернадского. Биология. Химия»:**

Главный редактор – Чуян Елена Николаевна, д. б. н., проф.

Ответственный секретарь – Туманянц К. Н., к. б. н., доц.

Технический редактор – Ярмолюк Н. С., к. б. н., доц.

Раздел «Биология»:

1. Буков Юрий Александрович, д. б. н., проф.
2. Бушов Юрий Валентинович, д. б. н., проф.
3. Гончаров Николай Васильевич, д. б. н., г. н. с.
4. Диатроптов Михаил Евгеньевич, д. б. н., с. н. с.
5. Ивашов Анатолий Васильевич, д. б. н., проф.
6. Котов Сергей Федорович, к. б. н., доц.
7. Митрофанова Ирина Вячеславовна, д. б. н., доц.
8. Новоселов Владимир Иванович, д. б. н., проф.
9. Павленко Владимир Борисович, д. б. н., проф. (редактор раздела «Биология»)
10. Перов Сергей Юрьевич, д. б. н., в. н. с.
11. Плугатарь Юрий Владимирович, д. б. н., член-корр. РАН
12. Погодина Светлана Владимировна, д. б. н., доц.
13. Солдатов Алесандр Александрович, д. б. н., проф.

Раздел «Химия»:

14. Гришковец Владимир Иванович, д. х. н., проф. (редактор раздела «Химия»)
15. Гусев Алексей Николаевич, д. х. н., доц.
16. Еременко Игорь Леонидович, академик РАН
17. Земляков Александр Евгеньевич, д. х. н., проф.
18. Кискин Михаил Александрович, д. х. н., в. н. с.
19. Кукушкин Вадим Юрьевич, член-корр. РАН
20. Шульгин Виктор Федорович, д. х. н., проф.
21. Яковичин Леонид Александрович, д. х. н.

Адрес редакции: 295007, г. Симферополь, пр-т Академика Вернадского, 4, корп. Б, ауд. 328
Подписано в печать 17.04.2025. Формат 70x100/16. Заказ № НП/126. Тираж 50. Цена «Бесплатно».

Дата выхода в свет «__» _____ 2025 г.

Отпечатано в Издательском доме ФГАОУ ВО «КФУ им. В. И. Вернадского»

Адрес типографии: 295051, г. Симферополь, бул. Ленина, 5/7

<http://sn-biolchem.cfuv.r>

УДК 631.4

DOI 10.29039/2413-1725-2025-11-1-3-17

ПРОБЛЕМАТИКА ИСПОЛЬЗОВАНИЯ КЛАССИФИКАЦИЙ ПОЧВ РОССИИ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ И ДИАГНОСТИРОВАНИЯ ПОЧВ КРЫМА

Алексашкин И. В.^{1,3}, Дубас В. В.^{1,2,3}, Пласкальная Е. И.³, Яковенко Я. П.³

¹*Карадагская научная станция имени Т. И. Вяземского – природный заповедник РАН,
Феодосия, Российская Федерация*

²*Институт биологии южных морей имени А. О. Ковалевского РАН, Севастополь,
Российская Федерация*

³*ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет им. В. И. Вернадского», Симферополь,
Российская Федерация
E-mail: victoriadubas.VD@gmail.com*

В настоящей работе проведен литературный обзор, касающийся сравнения классификации почв СССР (1977 года с дополнениями 1997 года) и новой классификации почв России (2004 года с дополнениями 2008 года). Определены преимущества и недостатки. Рассмотрена проблематика использования новой классификации почв России при идентификации почв Крыма, в особенности агрогенных. Выявлены особенности классифицирования зональных почв для Крымского полуострова, одновременно являющихся интразональными для территории России в целом. Сделан вывод о том, что сведения касательно агроизмененных почв Крымского полуострова на данный момент крайне разрознены, неполны и фрагментарны, что не позволяет в полной мере теоретически определить степень соответствия свойств агроизмененных почв полуострова к предложенным в новой классификации почв России 2004 года определениям. В новую классификацию почв 2004 года применительно к Крымскому полуострову необходимо вносить поправки и дополнения.

Ключевые слова: почвенное разнообразие, классификация почв, агроизмененные почвы, Крымский полуостров.

ВВЕДЕНИЕ

Большое разнообразие почв еще на начальных этапах развития почвоведения послужило поводом к разработке максимально полной и точной их классификации. Первой удачной попыткой систематизировать знания о видах почв России и мира была географо-генетическая классификация почв В. В. Докучаева, предложенная им в 1879 г. На тот момент В. В. Докучаев выделил два отдела почв – нормальные и аномальные, которые, в свою очередь подразделяются на классы: нормальные – на сухопутно-растительные и сухопутно-болотные, аномальные – на перемытые и наносные почвы [1]. По мере продолжения исследований в области почвоведения и накопления знаний о различии видов почв, появлялись новые подходы к

классификации. Во второй половине XX в. перед специалистами в области почвоведения была поставлена задача составить классификацию почв Советского Союза, принимавшую во внимание новейшие данные, в том числе и о генезисе различных типов почв. В 1977 г., под руководством Е. Н. Ивановой и Н. Н. Розова, сотрудниками Почвенного института им. В. В. Докучаева, была разработана самая на тот момент актуальная классификация почв СССР [2]. На данный момент наряду с общепринятой классификацией 1977 года в российской науке существует новая классификация почв, разработанная в 2004 г. сотрудниками Института почвоведения имени В. В. Докучаева во главе с директором академиком РАСХН, профессором Л. Л. Шишовым, учеными Московского государственного университета, Санкт-Петербургского государственного университета и Института биологии КарНЦ РАН [3, 4]. По прошествии двадцати лет после представления данной классификации научному сообществу многие специалисты все еще пользуются старой, несмотря на приближенность новой к международной классификации. Это связано с многими факторами, такими, как, например, удобством классификации 1977 года в применении, в большом количестве работ по применению ее к почвам отдельных регионов. Актуальным является вопрос сравнения старой классификации (1977 г.) с новой (2004 г.), определения их достоинств и недостатков по отношению друг к другу, а также применимости новой классификации к антропогенно преобразованным почвам Крымского полуострова.

Целью настоящей работы стало теоретико-практическое исследование достоинств и недостатков существующих отечественных почвенных классификаций в отношении выделения таксономических почвенных единиц в пределах Крымского полуострова.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

С 2018 года по настоящее время авторами статьи активно ведутся полевые и лабораторные почвенные исследования с целью установления и актуализации данных о морфогенетических особенностях почв Крымского полуострова, определения агро- и геохимических параметров и свойств, текущего экологического состояния. В работах [5–7] использована классификация почв СССР 1977 г., основанная на эколого-генетических принципах, что делает ее более удобной в исследованиях почв естественного (природного) происхождения. В тоже время в серии работ [8–12] авторами применялась уже классификация почв России 2004 года с дополнениями 2008 года, основанная на субстантивно-генетических подходах и проявляющая большее удобство в выделении антропогенно-преобразованных почв.

Таким образом, в настоящей работе применялись такие методы, как анализ при изучении литературных источников, синтез, а также сравнение для сопоставления типов почв в классификации почв СССР 1977 г. с дополнениями 1997 г. и классификации почв России 2004 г. с дополнениями 2008 г.

Всего, за время проведенных исследований было заложено более 50 почвенных разрезов, территориально расположенных в Предгорном Крыму (восточная часть) и Присивашье (восточная часть). Районы проведенных полевых исследований

представлены на почвенной карте Крыма [13] (рис. 1). Здесь типичными почвами являются черноземы и дерново-карбонатные почвы. Однако большая часть земель подвержена сельскохозяйственной деятельности, более 85 % распаханно, что обуславливает появление почв агрогенного ряда, отличных от естественных почв наличием преобразованного верхнего пахотного горизонта, лишенного характерной видимой дифференциации. Особое внимание в проводимых исследованиях уделено почвам лугово-черноземного ряда, обладающего более высокой продуктивностью и плодородием на общем фоне почв, но в отличие от них занимая незначительные по площади территории. Интерес представляют и другие интразональные для территории России почвы, но относящиеся к типичным в Крыму – дерново-карбонатные почвы.

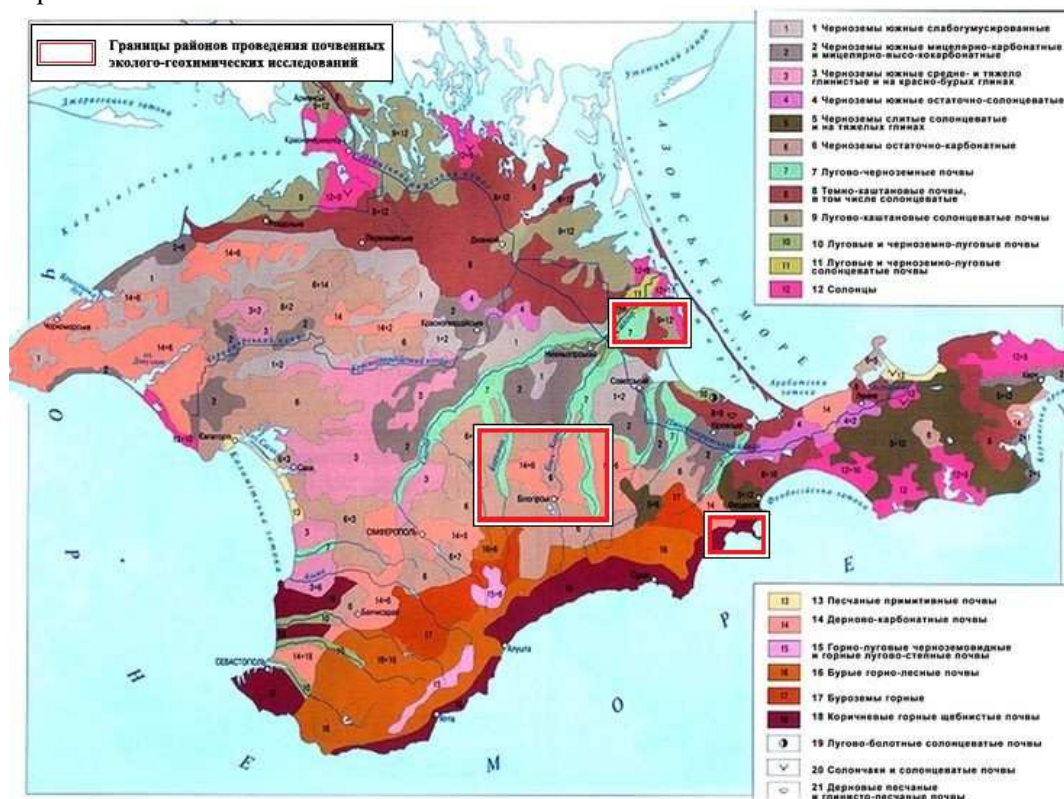


Рис. 1. Картосхема расположения районов проведения комплексных эколого-геохимических почвенных исследований (составлено авторами на Почвенной карте Крыма [13])

Прежде всего алгоритм работы включал в себя необходимость сравнить методологию распределения таксонов почв, то есть определить, какое количество групп представлено в обеих классификациях и по каким критериям типы почв в них распределяются. Результатом работы является составление таблиц «перевода» морфогенетических характеристик почв из классификации почв СССР 1977 года в классификацию почв России 2008 года.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Классификация 1977 г. по Е. Н. Ивановой и Н. Н. Розову основывалась на эколого-генетическом принципе, в то время как новая классификация 2004 года является субстантивно-генетической, то есть она основана на учении о генезисе почв. Классификация 1977 г. учитывает зависимость свойств почвы от различных факторов среды и различных процессов. Новая классификация почв (2004 г.) строится на ряде принципов, таких как генетичность, историчность, воспроизводимость, открытость, изменчивость и стабильность, сочетание объективности и субъективности, а также иерархичность. Что же касается определения таксонов и их количества, в обеих классификациях почв основной таксономической единицей выбран тип почвы. В классификации 1977 года выделено 8 таксономических единиц почв, в классификации 2004 года – 6 единиц. В классификации 1977 года выделены 80 типов почв. Такого рода деление основано на показателях режима увлажнения и зональных условиях. Также, помимо типа почвы основными таксонами выбраны подтипы, роды, виды, разновидности и разряды. Классификация 2004 года состоит из трех основных стволов, подразделяющихся на 27 отделов, из них 21 – постлитогенные почвы, 4 – синлитогенные, 2 – органогенные. Особо интересен ствол органогенных почв – в него включены почвы, подвергшиеся влиянию антропогенного фактора, то есть антропогенно-преобразованные. Данные почвы отнесены к отделу торфоземов, который подразделен на, собственно торфоземы и агроминеральные торфоземы [2, 4, 14].

Основная критика классификации 1977 года исходит из того факта, что ее авторы, по мнению многих современных специалистов, придают неоправданно большое значение гидротермическим факторам в формировании свойств почв, чего в классификации 2004 года не наблюдается. Также в классификации 1977 года не рассмотрены почвы мерзлотных областей, так как упор в составлении данной классификации делался на сельскохозяйственный фонд почв СССР. Критика новой классификации почв состоит в ее отходе от генетического аспекта, то есть по сравнению со старой классификацией, теоретической основой которой в большей степени являются происхождение описываемой почвы и процессы почвообразования, новая предлагает отказ от учета факторно-экологических параметров при определении типа почвы. Соотнесение естественных (природных) почв (на примере Крымского полуострова), выделяемых при полевом определении согласно классификациям 1977 года и 2004 года представлены в табл. 1.

Главным преимуществом классификации 2004 года считается ее приближенность к международной классификации [19]. В классификации 1977 года не учитывались антропогенно-измененные почвы, именно это делает классификацию 2004 года более прогрессивной. Немаловажное отличие классификаций состоит в том, что при разработке классификации 1977 года стояла задача классифицирования тех почв СССР, которые использовались в ведении сельского хозяйства (это и объясняет факт того, что в ней отсутствуют сведения о мерзлотных почвах), при составлении же классификации 2004 года от такого подхода отказались. Иными словами, новая классификация разрабатывалась не

только для нужд сельскохозяйственного направления почвоведения, но и для исследовательских целей.

Таблица 1

**Соответствие таксонов естественных почв Крыма классификации
1977 года к классификации 2004 года**

Классификация почв СССР 1977 г.*		Классификация почв России 2004 г.*	
Название почвы	Типичный почвенный разрез	Название почвы	Типичный почвенный разрез
Черноземы южные	A0-A1-ABca-B2ca-Cca-Ccaso ₄	Чернозёмы текстурно-карбонатные	AU-CAT-Cca
Лугово-черноземные	A-AB-B _g -C _{gk}	Гидрометаморфизованный подтип в типе чернозёмов и чернозёмов текстурно-карбонатных	AU-BCA-Cca; AU-CAT-Cca
Каштановые	A-B1-B2ca-BCca-Ccas	Типы каштановых почв	AJ-AM-CAT-Cca
Лугово-каштановые	Av – A – ABca – Bca – Cca(g)	Квазиглеевый подтип в типе каштановых почв	AJ-AM-CAT-Cca
Солонцы (черноземные, каштановые)	A-Btna-Bca-Bcas-Bcs-Cs	Типы солонцов тёмных; типы солонцов светлых	SEL-ASN-BCAs,cs-Cca,s; SEL-BSN-BCAs,cs-Cca,s
Солончаки гидроморфные (типичные, соровые, луговые)	A(T)-Bg-Cg(G)	Тип солончаков сульфидных (соровых); отчасти типы солончаков глеевых	SS-Gs-CGs; S-Gs-CGs;
Дерново-карбонатные	A0-Ad-Aca-Bca/BCca-Cca-Dca	Отчасти тёмногумусовые и серогумусовые почвы, карбопетрозёмы	AU-C; AY-C; O-Rca
Бурые лесные (бурозёмы) (слабонасыщенные; слабонасыщенные оподзоленные)	A0-A0A1-A1-ABm-B2m-BCm-C-D	Отчасти тип бурозёмов тёмных; оподзоленный подтип в типе бурозёмов тёмных	AU-BM-C
Горно-луговые	Ad-A-B-BC-C-D	Тип перегнойно-тёмногумусовых	AH-C
Горно-луговые черноземовидные	Ad-A-B-BC-C	Тип перегнойно-тёмногумусовых	AH-C
Коричневые типичные	A-Bmca-BCca-Cca	Типичный подтип в типах коричневых почв	AU-BM-BCA-Cca

*Примечание: составлено авторами по данным [2, 4, 15–18].

Под понятием «агроземы» подразумеваются почвы, в которых под воздействием антропогенного фактора был сформирован новый горизонт или их система. Новый горизонт отличает агрозем от исходного типа почвы, что свидетельствует об образовании нового типа почвы, сформированного под воздействием извне, соответственно, имеющего часто радикально отличающиеся от исходного типа почв свойства. По этой причине данное понятие и было введено в 1997 году в изданном Почвенным институтом имени В. В. Докучаева документе «Классификация почв России» [20]. Агроземы представлены и в новой классификации 2004 года как одна из категорий антропогенно-измененных почв. Антропогенно-измененные почвы в данной классификации разделены на две категории – агроземы и агроестественные почвы. В данном случае необходимо прояснить значение обоих приведенных выше терминов. Под агроестественными почвами понимаются почвы, бывшие в сельскохозяйственном обороте или пребывающие в нем, горизонты которых полностью или частично сохранены в том виде, в котором были представлены горизонты естественного типа почвы. Под агроземами понимаются почвы, под воздействием антропогенного фактора приобретшие новые свойства, за счет появления нового горизонта или их системы. Агроземы отличаются от естественных почв также и содержанием органического вещества, и геохимическими показателями, изучение чего лежит в основе многих исследований [4, 21–32].

Агроестественные почвы встречаются реже агроземов в связи с тем, что при ведении сельского хозяйства продолжительное количество времени использовались грубые методы вспахивания почвы, что и привело к изменениям в почвах, приемы прямого посева, не имеющие столь губительного влияния на глубинные слои почвы, стали популярны уже в нашем веке [33].

На территории Крыма наблюдается большое разнообразие типов почв. Это объясняется тем, что полуостров Крым расположен на стыке геосинклинальной зоны и Скифской платформы, а также на границе двух климатических поясов – умеренного и субтропического, то есть, различающиеся в зависимости от климата местности факторы среды имеют большое значение в формировании почв Крыма [15, 34, 35]. В связи с активным использованием земель для выращивания сельскохозяйственных культур и для насаждения лесопосадок, на протяжении многих лет почвы Крыма неизбежно были преобразованы под постоянным воздействием антропогенного фактора. На территории полуострова наблюдается антропогенная эрозия почв [36]. Агроизмененные почвы Крыма были образованы в результате антропогенного воздействия на дерново-карбонатные разновидности почв и черноземы [15, 37]. Соотнесение антропогенно преобразованных почв, выделяемых при полевом определении согласно классификациям 1977 года и 2004 года представлены в табл. 2.

Таблица 2

**Соответствие таксонов агроизмененных почв Крыма классификации
1977 года к классификации 2004 года**

Классификация почв СССР 1977 г.*	Типичный почвенный разрез	Классификация почв России 2004 г.*	Типичный почвенный разрез
В основном соответствуют среднесмытым пахотным бурым лесным почвам	A0-A0A1-A1- Bt-C	Агрообразем структурно- метаморфический типичный	PB-BM-C
-	-	Агрообразем структурно- метаморфический остаточно-карбонатный	P-BM-C
-	-	Агрообразем структурно- метаморфический солонцеватый	P-BM-C
Сильносмытые пахотные чернозёмы типичные и обыкновенные	O-Av-AB(ca)- Bca-BCca-Cca	Агрообразем аккумулятивно- карбонатный	PB-BCa-Cca
-	-	Агрозем текстурно- карбонатный	P-CAT-Cca

*Примечание: составлено авторами по данным [2, 4, 15, 17, 18, 38].

Многие из специалистов в области почвоведения, используя новую классификацию почв России 2004 года при работе с антропогенно-измененными почвами, сталкиваются с рядом проблем. В новой классификации основной теоретической базой является теория о генезисе почв, следовательно, она является субстантивно-генетической, в ней не уделяется должного внимания факторам среды, влияющим на почвы. Данный принцип подходит для классифицирования естественных почв, но не для агрогенных. Полуостров Крым является территорией, находящейся на стыке климатических поясов, что предопределяет специфичность климатических условий. Почвовед, отказываясь от учета факторов среды при диагностировании и классификации почв, сознательно отказывается от значительного пласта информации о происхождении, формировании, функционировании почв. Кроме того, в Крыму наблюдается дефицит пресной воды, водные ресурсы его отличаются большим содержанием минеральных веществ, что сказывается на ведении сельского хозяйства, и, как следствие, на состоянии почв и их свойствах. Важно отметить, что устойчивость почв к агрогенной трансформации зависит в большой степени от водно-солевого режима, особенно ярко это выражено в почвах степных районов [15, 39–43]. Необоснованно в такой степени отказываться от значения условий водного режима в формировании и функционировании почв,

что наблюдается в отказе от эколого-генетического принципа диагностирования и классифицирования в пользу субстантивно-генетического. Данный принцип не в полной мере отражает свойство агрозема и почвы, предшествовавшей ему. Использование исключительно вышеприведенного подхода при классифицировании и диагностике агрогенных почв не является основательным, так как при ведении сельскохозяйственных работ, при обработке почвы, часто бывают утеряны важные для диагностирования горизонты. Следствием этого является присвоение одинаковых названий различным типам почв, что приводит к потере сведений касательно свойств исходных и измененных почв [44–46]. Важно отметить, что у агроизмененных почв наблюдается разная степень трансформированности, что не отражено в классификации 2004 года.

В классификации 2004 года отсутствуют дерново-карбонатные почвы как таксон несмотря на то, что такие почвы являются зональными для Крыма (рис. 2), в то время как на всей остальной территории Российской Федерации данный тип почв является интразональным. Лугово-черноземные и черноземно-луговые почвы не представлены отдельными таксонами, а определяются в классификации почв России 2004 г. как гидрометаморфизированный подтип черноземов [4, 15]. Таким образом, специалисты в области почвоведения современного Крыма сталкиваются со множеством исключительных случаев при диагностировании и классифицировании почв полуострова.

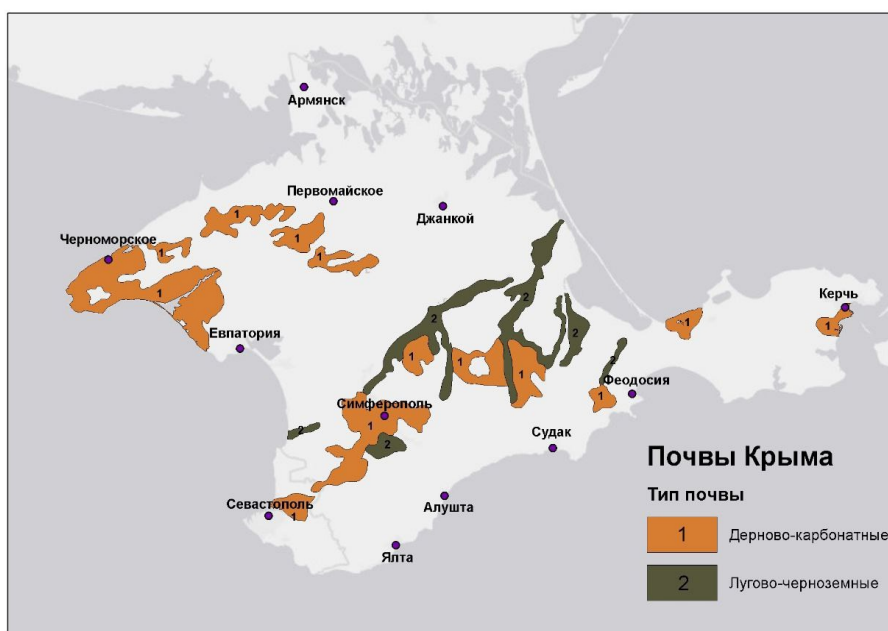


Рис. 2. Положение дерново-карбонатных и лугово-черноземных почв в границах Крымского полуострова.

Отдельного внимания заслуживают такие типы почв, как турбоземы и посттурбоземы – почвы террасированных склонов, присущие почвам лесонасаждений Крымского полуострова. Посттурбоземы сформировались на территориях лесонасаждений вследствие плоскостного смыва и восстановления со временем плодородного слоя. Они не имеют аналогов в новой классификации почв России 2004 года, в литературе встречаются предложения о включении их в классификацию как особого типа почв террасированных склонов [38, 47–49]. Почвы, использованные под виноградники, современные почвоведы определяют как турбоземы и агроабраземы. Особым типом почв можно назвать и постагроабраземы – почвы, сформированные на землях заброшенных виноградников [38].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Сведения касательно агроизмененных почв Крымского полуострова на данный момент крайне разрознены, неполны и фрагментарны, что не позволяет с достаточной точностью, в полной мере теоретически определить степень соответствия свойств агроизмененных почв полуострова к предложенным в новой классификации почв России 2004 года определениям. На территории полуострова существуют типы почв, не имеющих аналогов в новой классификации 2004 года, такие, как, например, посттурбоземы. Специалисты в области почвоведения при диагностировании и классификации антропогенно-измененных почв с помощью новой классификации 2004 года сталкиваются со множеством специфических моментов, мешающих полноценно проводить изучение почвы. Полноценное классифицирование и диагностирование агрогенных почв Крымского полуострова затруднено без учета факторов среды, с использованием субстантивно-генетического принципа с отказом от эколого-генетического подхода. Классификация 1977 года подходит для работы с естественными типами почв, что же касается новой классификации, для ее использования в условиях Крыма необходимо вводить в классификацию дополнительные таксоны и свойства, специфичные для территории полуострова.

Список литературы

1. Избранные труды / В. В. Докучаев ; Ред. акад. Б. Б. Полынова. – Москва : Изд-во и 2-я тип. Изд-ва Акад. наук СССР, 1949 (Москва). – 644 с.
2. Егоров В. В. Классификация и диагностика почв СССР / В. В. Егоров, В. М. Фридланд, Е. Н. Иванова и др. – Москва : Колос, 1977. – 223 с.
3. Федоров А. С. О новой классификации почв России (2004) / Федоров А. С., Суханов П. А., Касаткина Г. А., Федорова Н. Н. // Вестник СПбГУ. Науки о Земле. – 2014. – №1.
4. Шишов Л. Л. Классификация и диагностика почв России / Л. Л. Шишов, В. Д. Тонконогов, И. И. Лебедев, М. И. Герасимова. – Смоленск: Ойкумена, 2004. – 342 с.
5. Алексашкин И. В. Исследование неорганической составляющей черноземов предгорных Белогорского района Республики Крым методом ИК-спектроскопии / Алексашкин И. В., Бобра Т. В., Дубас В. В. // Геополитика и экогеодинамика регионов. – 2020. – Т. 6 (16), № 2. – С. 287–297.

6. Дубас В. В. Спектральные исследования лугово-черноземных почв Белогорского района Республики Крым / Дубас В. В., Алексашкин И. В., Мосунов А. А., Якова К. В. // Актуальные вопросы биологической физики и химии. – 2020. – Т. 5, № 2. – С. 359–368.
7. Дубас В. В. Особенности миграции тяжелых металлов в агроэкосистемах Восточной части Предгорья Крымских гор / Дубас В. В., Алексашкин И. В. // Труды Карадагской научной станции им. Т.И. Вяземского - Природного заповедника РАН. – 2020. – № 2(14). – С. 89–99.
8. Дубас В. В. Эколого-геохимическое состояние почв под посадками сосны крымской (*Pinus pallasiana*) Карадагского природного заповедника / Дубас В. В., Алексашкин И. В., Калягина В. О., Хижняк Ю. С. // Системы контроля окружающей среды – 2024 : Тезисы докладов Международной научно-практической конференции, посвященной 300-летию Российской академии наук в рамках научно-технического сотрудничества Россия-АСЕАН-БРИКС, Севастополь – 2024. – С. 122.
9. Дубас В. В. Содержание углерода и азота в почвах долины «безымянного» ручья, Предгорный Крым / В. В. Дубас, И. В. Алексашкин, В. О. Калягина [и др.] // Ученые записки Крымского федерального университета имени В.И. Вернадского. Биология. Химия. – 2024. – Т. 10, № 1. – С. 45–58.
10. Дубас В. В. Геохимическая характеристика почв агрогенного ряда под многолетними посадками лаванды узколистной (*Lavandula officinalis*) / Дубас В. В., Алексашкин И. В., Пласкальная Е. И. // Ученые записки Крымского федерального университета имени В. И. Вернадского. Биология. Химия. – 2024. – Т. 10, № 4. – С. 78–91.
11. Дубас В. В. Содержание меди и цинка в крымских черноземах / Дубас В. В., Алексашкин И. В., Калягина В. О., Хижняк Ю. С. // Ученые записки Крымского федерального университета имени В. И. Вернадского. Биология. Химия. – 2024. – Т. 10, № 2. – С. 51–61.
12. Дубас В. В. Особенности миграции свинца и цинка в агроземах предгорного Крыма / Дубас В. В., Алексашкин И. В. // Ученые записки Крымского федерального университета имени В. И. Вернадского. Биология. Химия. – 2022. – Т. 8, № 4. – С. 61–71.
13. Атлас. Автономная Республика Крым. – Киев-Симферополь: Ин-т географии НАН Украины; ТНУ им. В.И. Вернадского; НИЦ «Технологии устойчивого развития» при ТНУ; ЗАО «Институт передовых технологий», 2003.
14. Герасимова М. И. Нужен ли уровень рода в классификации почв России? / Герасимова М. И. // Бюл. Почв. ин-та им. В. В. Докучаева. – 2018. – Вып. 95. – С. 90–98.
15. Драган Н. А. Почвенные ресурсы Крыма: науч. моног. / Н. А. Драган. – 2-е изд. доп. – Симферополь: Доля, 2004. – 208 с.
16. Лебедева И. И. Карбонатный профиль восточно-европейских черноземов / Лебедева И. И., Овечкин С. В. // Почвоведение: аспекты, проблемы, решения. Науч. тр. Почв. ин-та им. В. В. Докучаева. – М., 2003. – С. 34–54.
17. Полевой определитель почв России / Российская академия сельскохозяйственных наук, Почвенный институт имени В. В. Докучаева, Общество почвоведов имени В. В. Докучаева. – Москва : Почвенный институт им. В. В. Докучаева РАСХН, 2008.
18. Афанасьева Т. В. Почвы СССР / Т. В. Афанасьева, В. И. Василенко, Т. В. Терешина, Б. В. Шеремет ; [Отв. ред. Г.В. Добровольский]. – Москва: Мысль, 1979. – 380 с.
19. Герасимова М. И. Сравнение принципов, структуры и единиц классификации почв России и международной почвенной классификации / Герасимова М. И. // Бюл. Почв. ин-та., 2015. – №79. – С. 23–35.
20. Классификация почв России // Сост. : Л. Л. Шишов, В. Д. Тонконогов, И. И. Лебедева ; ред. : Л. Л. Шишов, Г. В. Добровольский. – М.: Почв. ин-т им. В.В. ДОКУЧАЕВА, РАН. Докучаев. о-во почвоведов, 1997.
21. Аветисян М. Г. Трансформация органического вещества и биогенных элементов почв, вызванная антропогенной деятельностью / Аветисян М. Г. // Вестник ВГУ. Серия: География. Геоэкология. – 2018. – №4. – С. 34–38.
22. Бочкарева Е. О. Агрогенная трансформация почвенного покрова / Бочкарева Е. О. // Антропогенная трансформация природной среды. – 2016. – №2. – С. 289–293.
23. Герасимова М. И. Разработка подходов к введению антропогенно-измененных почв в содержание почвенной карты Российской Федерации (на примере Московской области) / Герасимова М. И., Ананко Т. В., Савицкая Н. В. // Почвоведение. – 2020. – № 1. – С. 19–30.

24. Сысо А. И., Антропогенная трансформация свойств почв ландшафтов Таймыра / А. И. Сысо, Д. А. Соколов, Т. И. Сыромля [и др.] // Почвоведение. – 2022. – № 5. – С. 521–537.
25. Курганова И. Н. Изменение запасов углерода, микробной и ферментативной активности агродерново-подзолов южной тайги в ходе постагрогенной эволюции / И. Н. Курганова, В. М. Телеснина, В. О. Лопес де Гереню [и др.] // Почвоведение. – 2022. – № 7. – С. 825–842.
26. Борисов Б. А. Органическое вещество и физические свойства постагрогенной эродированной дерново-подзолистой почвы в сравнении с пахотным аналогом / Борисов Б. А., Ефимов О. Е., Елисеева О. В. // Почвоведение. – 2022. – № 7. – С. 909–917.
27. Артемьева З. С. Химическая структура органического вещества агрочерноземов разных позиций на склоне / З. С. Артемьева, Н. Н. Данченко, Ю. Г. Колягин [и др.] // Почвоведение. – 2023. – № 6. – С. 703–714.
28. Азаренко (Мясникова) М. А. Изменение растительного покрова и биологических свойств черноземов в постагрогенный период / Азаренко (Мясникова) М. А., Казеев К. Ш., Ермолаева О. Ю., Колесников С. И. // Почвоведение. – 2020. – № 11. – С. 1412–1422.
29. Булышева А. М. Изменение свойств почв залежного ряда Курской области и тренды восстановления постагрогенных почв лесостепной и степной зон / А. М. Булышева, О. С. Хохлова, Н. О. Бакунович [и др.] // Почвоведение. – 2021. – № 8. – С. 983–998.
30. Агрогенная трансформация почвенного покрова Присалаирской дренированной равнины (Западная Сибирь) / Н. А. Соколова, Е. Н. Смоленцева // Известия Иркутского государственного университета. Серия: Биология. Экология. – 2021. – № 36. – С. 37–56.
31. Кононцева Е. В. Разработка уровней экологического состояния и режимов рационального использования агроландшафтов сухой степи алтайского края / Е. В. Кононцева, Ж. Г. Хлуденцов [и др.] // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – 2022. – № 12 (218). – С. 72–80.
32. Лукин С. В. Динамика агроэкологического состояния почв Белгородской области при длительном сельскохозяйственном использовании / Лукин С. В. // Почвоведение. – 2023. – № 12. – С. 1671–1685.
33. Холодов В. А. Влияние технологии прямого посева на распределение органического углерода и азота во фракциях агрегатов черноземов типичных, обыкновенных и южных / В. А. Холодов, В. П. Белобров, Н. В. Ярославцева, М. А. Яшин [и др.] // Почвоведение. – 2021. – № 2. – С. 240–246.
34. Ергина Е. И. Современный почвенный покров Крымского полуострова / Е. И. Ергина // Почвы в биосфере – Сборник материалов Всероссийской научной конференции с международным участием, посвященной 50-летию Института почвоведения и агрохимии СО РАН. Часть 1. – Томск: Национальный исследовательский Томский государственный университет, 2018. – С. 20–24.
35. Ергина Е. И. Почвенное разнообразие территории Крымского полуострова / Ергина Е. И., Горбунов Р. В., Табунщик В. А., Петлюкова Е. А. // Известия вузов. Северо-Кавказский регион. Серия: Естественные науки. – 2023. – №1 (217). – С. 61–69.
36. Черный С. Г. К вопросу о классификации эродированных почв Крыма / Черный С. Г., Ергина Е. И. // Геополитика и экогеодинамика регионов. – 2010. – № 6 (1-2). – С. 49–53.
37. Дубас В. В. Особенности миграции свинца и цинка в агроземах предгорного Крыма / Дубас В. В., Алексашкин И. В. // Ученые записки Крымского федерального университета имени В. И. Вернадского. Биология. Химия. – 2022. – Т. 8, № 4. – С. 61–71.
38. Сухачева Е. Ю. Цифровая почвенная карта южного берега Крыма / Сухачева Е. Ю., Ревина Я. С. // Почвоведение. – 2020. – №4. – С. 389–397.
39. Драган Н. А. Факторы устойчивости почв Крыма к антропогенной деградации / Драган Н. А. // Ученые записки Крымского федерального университета имени В. И. Вернадского. География. Геологи. – 2013. – Вып. 26 (65). – № 2. – С. 26–37.
40. Смирнова М. А. Почвенные свойства как индикаторы параметров водного режима почв (обзор) / Смирнова М. А., Козлов Д. Н. // Почвоведение. – 2023. – № 3. – С. 353–369.
41. Клименко О. Е. Изменение солевого состава почв при орошении солоноватыми водами в степном Крыму / Клименко О. Е., Евтушенко А. П., Клименко Н. И. // Почвоведение. – 2022. – № 12. – С. 1557–1570.
42. Хитров Н. Б. Пятилетнее изменение засоленности почв и грунтов рисовых систем Прикаркинитской низменности после прекращения орошения / Хитров Н. Б., Роговнева Л. В. // Почвоведение. – 2021. – № 1. – С. 120–135.

43. Шеин Е. В. Гидрология почв агроландшафтов: количественное описание, методы исследования, обеспеченность почвенных запасов влаги / Шеин Е. В., Болотов А. Г., Дембовецкий А. В. // Почвоведение. – 2021. – № 9. – С. 1076–1084.
44. Симакова М. С. Некоторые проблемы классификации и диагностики почв России / Симакова М. С. // Бюл. Почв. ин-та. – 2016. – № 82. – С. 88–109.
45. Хитров Н. Б. Диагностические горизонты в классификации почв России / Хитров Н. Б., Герасимова М. И. // Почвоведение. – 2021. – № 8. – С. 899–910.
46. Хитров Н. Б. Предлагаемые изменения в классификации почв России: диагностические признаки и почвообразующие породы / Хитров Н. Б., Герасимова М. И. // Почвоведение. – 2022. – № 1 – С. 3–14.
47. Ревина Я. С. Почвы террасированных склонов и их классификационное положение / Ревина Я. С. // Ученые записки Крымского федерального университета имени В. И. Вернадского. География. Геология. – 2018. – Вып. 4 (70). – №3. – С. 173–179.
48. Клименко О. Е. Изменение свойств агрочерноземов сегрегационных Крыма под влиянием различных лесонасаждений / Клименко О. Е., Клименко Н. И. // Почвоведение. – 2021. – № 5. – С. 606–619.
49. Смирнова М. А. Влияние защитных лесных насаждений на локальное разнообразие почв (Белгородская область) / Смирнова М. А., Геннадиев А. Н., Чендев Ю. Г., Ковач Р. Г. // Почвоведение. – 2020. – № 9. – С. 1041–1052.

THE PROBLEMS OF USING RUSSIAN SOIL CLASSIFICATIONS FOR IDENTIFICATION AND DIAGNOSIS OF SOILS IN CRIMEA

Aleksashkin I. V.^{1,3}, Dubas V. V.^{1,2,3}, Plaskalnaya Y. I.³, Yakovenko Y. P.³

¹T. I. Vyazemsky Karadag Scientific Station – Nature Reserve of RAS – Branch of A. O. Kovalevsky Institute of Biology of the Southern Seas of RAS, Feodosia, Russian Federation

²A. O. Kovalevsky Institute of Biology of the Southern Seas of RAS, Sevastopol', Russian Federation

³V. I. Vernadsky Crimean Federal University, Simferopol, Russian Federation

E-mail: victoriadubas.VD@gmail.com

In this paper, we review the sources related to the 1977 USSR soil classification, as amended in 1997, and the new 2004 Russian soil classification, as amended in 2008. The new and old classifications are compared with each other, the advantages and disadvantages of each of them are determined. The classification of soils of the USSR is ecological and genetic, its important feature is its special attention to the influence of the water regime in the processes of soil formation and functioning of soils. Classification of soils of the USSR 1977 It is still popular among specialists in the field of soil science due to its convenience in application, in a large number of works on its application to the soils of individual regions. The 2004 classification of Russian soils is a substantial genetic one, which is the closest to the international classification of soils. An important difference between these two classification systems is that the USSR soil classification was compiled for agricultural soils (this explains the absence of permafrost soils in it), while the 2004 classification was also compiled for research purposes. The main criticism of the 1997 classification comes from the fact that its authors, in the opinion of many modern experts, attach unjustifiably great importance to hydrothermal factors in the formation of soil properties, which is not observed in the 2004 classification. The criticism of the new soil classification consists in its departure from the genetic aspect, that is, in comparison with the old classification, the theoretical basis of which is more based on the origin of the

described soil and the processes of soil formation, the new one suggests the rejection of consideration of ecological parameters in determining the type of soil. The problem of using the new classification of Russian soils in the identification of Crimean soils, especially agrogenic soils, is posed. Since the new classification uses the theory of soil genesis as its main theoretical basis, it is therefore essentially genetic and does not pay due attention to environmental factors affecting soils. It is determined that this principle is not quite suitable for classifying natural soils, but not for agrogenic ones. The Crimean Peninsula is a territory located at the junction of climatic zones, which determines the specificity of climatic conditions. It is noted that the agro-modified soils have different degrees of transformation, which is not reflected in the 2004 classification. It was determined that the 2004 classification does not include sod-carbonate soils as a taxon, despite the fact that these soils are zonal for Crimea, while in the rest of the Russian Federation this type of soil is intrazonal. Meadow-chnozem and chernozem-meadow soils are not represented by separate taxa, but are defined in the 2004 classification of soils of Russia as a hydrometamorphosed subtype of chernozems. It is concluded that the information on the agro-modified soils of the Crimean Peninsula is currently extremely fragmented, incomplete and fragmentary, which does not allow us to determine with sufficient accuracy, theoretically, the degree of compliance of the properties of the agro-modified soils of the peninsula with the definitions proposed in the new classification of soils of Russia in 2004. It is concluded that the new 2004 soil classification for the Crimean Peninsula needs to be amended.

Keywords: soil diversity, classification of soils, agrogenic soils, Crimean peninsula.

References

1. Dokuchaev V. V. *Selected papers*, 644 p. (USSR Academy of Science, 1949).
2. Egorov V. V., Fridland V. M., Ivanova E. N. et al. *The classification and diagnoses of soils of USSR*, 223 p. (Kolos, 1977).
3. Fedorov A. S., Suhanov P. A., Kasatkina G. A., Fedorova N. N., The new soils classification of Russia (2004), *The Papers of SPSU. Earth Sciences*, **1** (2014).
4. Shishov L. L., Tonkonogov V. D., Lebedev I. I., Gerasimova M. I. *The classification and diagnosis of soils of Russia*, 342 p. (Oikumena, 2004).
5. Aleksashkin I. V., Bobra T. V., Dubas V. V., The study of the inorganic component of the chernozems of foothill Belogorsky district of the Republic of Crimea by the method of FTIR spectroscopy, *Geopolitics and Ecogeodynamics of regions*, **2** (2020).
6. Dubas V. V., Aleksashkin I. V., Mosunov A. A., Yakimova K. V. Spectral researches of meadow black-earth soils of the Belogorsky district, Republic of Crimea, *Russian journal of biological physics and chemistry*, **2**, 5 (2020).
7. Dubas V. V., Aleksashkin I. V. Peculiarities of migration of heavy metals in agroecosystems of the eastern part of the slopes of Crimean mountains, *Proceedings of the T. I. Vyzemsky Karadag scientific station - Nature Reserve of the RAS*, **2(14)** (2020).
8. Dubas V. V., Aleksashkin I. V., Kalyagina V. O., Khizhnyak Yu. S. Ecological-geochemical state of soils under Crimean pine (*Pinus pallasiana*) plantings in the Karadag nature reserve, *Conference abstracts International Scientific and Practical Conference "Environmental Control Systems – 2024"*, **1** (2024).
9. Dubas V. V., Aleksashkin I. V., Kalyagina V. O., Andreenko T. I., Khizhnyak Yu. S. Carbon and nitrogen content in soils of the "nameless" stream valley, Pidmountary Crimea, *Scientific notes of V. I. Vernadsky Crimean Federal University*, **1 (10)** (2024).

10. Dubas V. V., Aleksashkin I. V., Plaskalnaya E. I. Geochemical characteristics of agrogenic soils under perennial plants of lavender (*Lavandula officinalis*), *Scientific notes of V. I. Vernadsky Crimean Federal University*, **4** (10) (2024).
11. Dubas V. V., Aleksashkin I. V., Kalyagina V. O., Khizhnyak Yu. S., Content of copper and zinc in crimean chernozems, *Scientific notes of V.I. Vernadsky Crimean Federal University*, **2** (10), 51 (2024).
12. Dubas V. V., Aleksashkin I. V., Specialtys of lead and zinc migration in agrozems of piethmount Crimea, *Scientific notes of V.I. Vernadsky Crimean Federal University*, **4** (8) (2022).
13. *Atlas. Autonomic Republic of Crimea*, (Institute of Geography of NAS of Ukraine, V. I. Vernadsky TNU).
14. Gerasimova M. I., Do we need the genus level in the russian soil classification system? *Dokuchaev Soil Bulletin*, **95** (2018).
15. Dragan N. A. *Soil resources of Crimea*, 208 p. (Dolya, 2004).
16. Lebedeva I. I., Ovechkin S. V., The carbonate profile of Eastern European chernozems, *Soil Science: aspects, problems, solutions*, **1** (2003).
17. *Field Soil Determinant of Russia*, (V. V. Dokuchaev Soil Science Institute, 2008).
18. Afanasieva T. V., Vasilenko T. V., Tereshina T. V., Sheremet B. V. *The Soils of Russia*, 380 p. (Mysl, 1979).
19. Gerasimova M. I., Principles, structure and taxonomic units in the russian and international (WRB) systems of soil classification, *Dokuchaev Soil Bulletin*, **79** (2015).
20. Shishov L. L., Tonkonogov V. D., Dobrovolskiy G. V. *The soil classification of Russia*, (Russian Academy of sciences, 1997).
21. Avetisyan M. G., The transformation of organic substance and biogenic elements of soils, that caused by antropogenic activity, *Geoecology*, **4** (2018).
22. Bochkareva E. O., The agrogenic transformation of soil, *ATPS*, **2** (2016).
23. Gerasimova M. I., Ananko T. V., Savitskaya N. V., Approaches to the introduction of human-modified soils in the updated version of the soil map of Russia, 1 : 2.5 m scale (by the example of Moscow oblast), *Eurasian Soil Science*, **1**, 53 (2020).
24. Syso A. I., Sokolov D. A., Siromlya T. I., Ermolov Yu. V., Makhatkov I. D., Anthropogenic Transformation of Soil Properties in Natural and Technogenic Taimyr Landscapes, *Eurasian Soil Science*, **5** (2022).
25. Kurganova I. N., Telesnina V. M., Lopes de Gerenyu V. O., Lichko V. I., Ovsepyan L. A., Change in Organic Matter Stocks, Microbial and Enzymatic Activity of Retic Albic Podzol of the Southern Taiga during Postagrogenic Evolution, *Eurasian Soil Science*, **7** (2022).
26. Borisov B. A., Efimov O. E., Eliseeva O. V., Organic Matter and Physical Properties of Postagrogenic Eroded Soddy-Podzolic Soil in Comparison with the Arable Analogue, *Eurasian Soil Science*, **7** (2022).
27. Artemyeva Z. S., Danchenko N. N., Kolyagin Yu. G., Varlamov E. B., Zasukhina E. S., Tsomaeva E. V., Kogut B. M., Chemical Structure of Organic Matter of Agrochernozems of Different Alocalization on the Slope, *Eurasian Soil Science*, **6** (2023).
28. Azarenko (Myasnikova) M. A., Kazeev K. Sh., Yermolayeva O. Yu., Kolesnikov S. I., Change of Vegetation Cover and Biological Properties of Chernozems in the Postagrogenic Period, *Eurasian Soil Science*, **11** (2020).
29. Bulysheva A. M., Khokhlova O. S., Bakunovich N. O., Rusakov A. V., Myakshina T. N., The Change in the Properties of Soils of Fallow Chronosequences in the Kursk Region and Comparison of Trends for Recovery of Fallow Soils in Different Areas of Forest-Steppe and Steppe Zones, *Eurasian Soil Science*, **8** (2021).
30. Sokolova N. A., Smolentseva E. N., Agrogenic Transformation of Soil Cover in Pre-Salair Drained Plane (Western Siberia), *The bulletin of Irkutsk State University, Series «Biology. Ecology»*, **36** (2021).
31. Konontseva E.V., Khludentsov J.G., Temerev S.V., Pochemin N. M., Strebkova A. S., Development of ecological state levels and rational use regimes of agricultural landscapes in the dry steppe of the Altai region, *The bulletin of Altai State University*, **12**, 218 (2022).
32. Lukin S. V., Dynamics of the Agroecological State of the Soils of the Central Chernozem Region during Long-Term Agricultural Us (on the Example of the Belgorod Region), *Eurasian Soil Science*, **12** (2023).

33. Kholodov V. A. et al., Influence of No-Till System on the Distribution of Organic Carbon and Nitrogen by Aggregate-Size Fractions in Typical, Ordinary, and Southern Chernozems, *Eurasian Soil Science*, **2** (2021).
34. Ergina E. I., Modern soil cover of the Crimean peninsula, *The Collection of materials of the All-Russian scientific conference with international participation dedicated to the 50th anniversary of the Institute of Soil Science and Agrochemistry SB RAS*, **1** (2018).
35. Ergina E. I., Gorbunov R. V., Tabunshchik V. A., Petlyukova E. A., Soil diversity of the Crimean peninsula, *Bulletin of higher educational institutions. North Caucasus region. Natural Science*, **1**, 217 (2023).
36. Cherniy S. G., Ergina E. I., To the question about eroded soils, *Geopolitics and ecogeodynamics of regions*, **1-2** (2010).
37. Dubas V. V., Aleksashkin I. V., Specialtys of lead and zinc migration in agrozeims of piethmount Crimea, *Scientific notes of V.I. Vernadsky Crimean Federal University*, **8 (74)**, 4 (2022).
38. Sukhacheva E. Yu., Revina Ya. S., Medium-Scale Soil Map of the Crimea Southern Coast, *European Soil Science*, 4 (2020).
39. Dragan N. A., The Factors of of resistance of Crimean soils to anthropogenic degradation, *Scientific notes of V.I. Vernadsky Crimean Federal University. Geography, Ecology*, **26 (65)**, 2 (2013).
40. Smirnova M. A., Kozlov D. N., Soil Properties as Indicators of Soil Moisture Regime Parameters (a Review), *Eurasian Soil Science*, **3** (2023).
41. Klimenko O. E., Yevtushenko A. P., Klimenko N. I., Changes in Salt Composition of Soils under Irrigation with Back Water in the Steppe Crimea, *Eurasian Soil Science*, **12** (2022).
42. Khitrov N. B., Rogovneva L. V., Five-Year-Long Change of Soil and Sediments Salinity at Rice Growing System in Karkinit Lowland after Irrigation Cease, *Eurasian Soil Science*, **1** (2021).
43. Shein E. V., Bolotov A. G., Dembovetskiy A. V., Soil Hydrology of Agricultural Landscapes: Quantitative Description, Research Methods, Availability of Soil Moisture Reserves, *Eurasian Soil Science*, **9** (2021).
44. Simakova M. S. Some problems in classification and diagnostics of soils in Russia, *Dokuchaev Soil Bulletin*, **82** (2016).
45. Khitrov N. B., Gerasimova M. I., Diagnostic horizons in the classification system of russian soils: version 2021, *Eurasian Soil Science*, **8**, 54 (2021).
46. Khitrov N. B., Gerasimova M. I., Diagnostic Properties and Soil Forming Materials in the Classification System of Russian Soils, *Eurasian Soil Science*, **1** (2022).
47. Revina Ya. S., Terraced slopes' soils and its classification position, *Scientific notes of V. I. Vernadsky Crimean Federal University. Geography, Ecology*, **3** (2018).
48. Klimenko O. E., Klimenko N. I., Change of Crimean Haplic Chernozems Properties under the Influence of Different Forestry, *Eurasian Soil Science*, **5** (2021).
49. Smirnova M. A., Gennadiev A. N., Chendev Yu. G., Kovach R. G., Influence of Forest Shelter Belts on Local Pedodiversity (Belgorod Oblast), *Eurasian Soil Science*, **9** (2020).

УДК 572.087

DOI 10.29039/2413-1725-2025-11-1-18-28

МОРФОФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ ОСОБЕННОСТИ ДЕВУШЕК ПЕДАГОГИЧЕСКОГО ВУЗА В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ТИПОВ ВЫСШЕЙ НЕРВНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ

Делагарди Э. Р., Головин М. С., Корощенко Г. А., Козлова А. П., Суботялов М. А.

*Новосибирский государственный педагогический университет, Новосибирск, Россия
E-mail: subotyalov@yandex.ru*

Приводятся данные исследования морфофункциональных показателей у девушек 17–18 лет разных типов высшей нервной деятельности (63 девушки, распределенные по типам: меланхолики, сангвиники, флегматики и холерики). Изучали длину и массу тела, обхваты грудной клетки, талии, бёдер, процент общего и внутреннего жира, кистевую и становую силы, частоту сердечных сокращений, систолическое и диастолическое артериальное давление. Осуществляли расчёт индексов: жировой, активной массы тела, Кетле, Пинье, Рорера, Эрисмана, кистевой силы. Выявлены значимые морфофункциональные различия у девушек в зависимости от типа высшей нервной деятельности. По результатам исследования сформирован морфофункциональный индивидуально-типологический «портрет» каждого типа высшей нервной деятельности.

Ключевые слова: физиология человека, тип высшей нервной деятельности, девушки, морфофункциональные особенности, обхватные показатели, антропометрические особенности.

ВВЕДЕНИЕ

Тенденцией последних десятилетий во всем мире стали все возрастающие требования к качеству получаемого образования и квалификации будущих выпускников вузов; учебная нагрузка возрастает, при этом дополнительные факторы (стресс, экологическое, шумовое и световое загрязнения) увеличивают риски преждевременного истощения адаптационных ресурсов организма. Данный фактор усиливается за счёт специфики педагогического вуза, предполагающей высокую скорость интеграции теоретических знаний в практическую деятельность и интенсивность межличностного взаимодействия, что приводит к постоянному психофизиологическому напряжению [1].

В этих условиях становятся всё более актуальными научно-аналитические исследования по вопросам здоровья молодежи, а наиболее перспективным – личностно-категориальная ориентация, которая делает возможным создание более выверенно и адресно направленных методик, учитывающих отличие морфофункциональных параметров представителей каждого из типов высшей нервной деятельности (ВНД).

Заинтересованность в распределении по типам Человека разумного – в зависимости от разницы в репрезентации анатомо-физиологических и нейрофизиологических качеств – берет своё начало в античности [2], однако развитие этой типологизации имело скачкообразный характер. Принятые во II в. н.э. положения Галена оставались почти неизменными на протяжении более 16 столетий, пока в XIX–XX вв. И. М. Сеченовым, И. П. Павловым и их учениками под теоретическое основание не были подведены практические исследования [3].

Индивидуально-типологический подход [4] можно с наибольшей плодотворностью использовать в организации педагогического процесса [5], в спортивном отборе, в психологии, в бизнес-коммуникациях и еще многих областях человеческой деятельности [6]. Некоторые исследования связывают скорость восстановления послеоперационных больных [7] и даже количество нарушений правил дорожного движения с типом ВНД [8].

Эта тема продолжает быть актуальной для последующего изучения в рамках индивидуально-типологического подхода и уточнения сведений о взаимосвязи типов ВНД и морфофункциональных свойств организма человека [9]. Нами не обнаружено исследований, посвященных изучению морфофункциональных особенностей девушек, обучающихся в условиях педагогического вуза, в связи с типом ВНД. Потребность в углубленном изучении вышеозначенного вопроса является основанием для выбора темы исследования.

Цель данной работы – анализ морфофункциональных особенностей девушек педагогического вуза в зависимости от типа ВНД. Для реализации поставленной цели необходимо было решить следующие задачи:

1. Изучить морфофункциональные показатели у девушек разных типов ВНД;
2. Сформировать морфофункциональный индивидуально-типологический «портрет» каждого типа ВНД.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В исследовании приняли участие 63 практически здоровых девушки 17–18 лет (студенты ФГБОУ ВО «Новосибирский государственный педагогический университет»). На реализацию исследования получено разрешение этического комитета Новосибирского государственного педагогического университета (№ 34 от 24.04.2019 г.). От каждого участника было получено информированное добровольное согласие на проведение обследования.

Для определения типа ВНД использовали личностный опросник Айзенка версии А (57 вопросов). По результатам тестирования девушек разделили на следующие типы ВНД: меланхолики (n=20), сангвиники (n=9), флегматики (n=14) и холерики (n=20). Исследовали морфофункциональные параметры: массу тела (МТ), длину тела (ДТ), обхват грудной клетки (ОГК), обхват талии (ОТ), обхват бёдер (ОБ). Измерения проводили по стандартизированным методикам [10]. Также были измерены процент общего и внутреннего жира методом биоимпедансного анализа на анализаторе Omron BF-508, кистевая и становая силы, частота сердечных сокращений (ЧСС), систолическое артериальное давление (САД), диастолическое артериальное давление (ДАД) (осциллометрическим методом на автоматическом анализаторе Omron-907).

Осуществляли расчет следующих показателей: жировая масса тела (ЖМТ) [$ЖМТ = (МТ \times \% \text{ жира}) / 100$] и активная масса тела (АМТ) [$АМТ = МТ - ЖМТ$], соотношение талии и бёдер (СТБ). Рассчитывали индексы: Кетле [$ИК = МТ \text{ (кг)} / ДТ \text{ (м}^2\text{)}$]; Пинье [$ИП = ДТ \text{ (см)} - (МТ \text{ (кг)} + ОГК \text{ (см)})$]; Робинсона (двойное произведение (ДП)) [$ДП = (ЧСС \times САД) / 100$]; Рорера [$ИР = М \text{ (кг)} / ДТ \text{ (м}^3\text{)}$]; Эрисмана [$ИЭ = (ОГК \text{ (см)} - ДТ \text{ (см)}) / 2$]; кистевой силы [$ИКС = ((0,5 \times (\text{сила пр.} + \text{сила лев. кистей}), \text{ кг}) : \text{масса тела, кг}) \times 100$], становой силы [$ИСС = \text{становая сила, кг} : \text{масса тела, кг}$], стении (ИС) [$ИС = ДТ \text{ (см)} / (2 \times МТ \text{ (кг)} + ОГК \text{ (см)})$]; Кердо [$ИК = (1 - ДАД / ЧСС) \times 100$].

Полученный материал обработан общепринятыми методами статистики. Статистическая обработка материала включала вычисление среднеарифметического значения, его ошибки. О значимости различий судили по величине t-критерия Стьюдента и считали их значимыми при $p \leq 0,05$. Нормальное распределение подтверждали по методу Шапиро-Уилка.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Анализ морфофункциональных показателей девушек в зависимости от типа ВНД позволил выявить ряд значимых различий рассматриваемых параметров (табл. 1).

ДТ отображает пластические процессы в человеческом организме. Этот показатель статистически значимо выше у сангвиников по сравнению с флегматиками и меланхоликами. МТ – это параметр, отображающий конституциональные особенности развития скелета и мускулатуры, а также процент общего и внутреннего жира в организме. Кроме того, в суммарном показателе МТ участвует сумма веса внутренних органов и жидкости. Показатель МТ статистически значимо выше у меланхоликов по сравнению с флегматиками.

Процент общего жира не имеет достоверных отличий, однако есть тенденция к повышению этого показателя у меланхоликов. Относительное количество внутреннего (висцерального) жира в организме человека устойчиво коррелирует со структурно-функциональными нарушениями со стороны сердечно-сосудистой системы, системы дыхания и нарушениями углеводного обмена [12–14]. Выявление взаимосвязи между уровнем висцерального жира и типом ВНД может служить в качестве прогностического маркера и быть использовано в дальнейшем при разработке практических здоровьесберегающих рекомендаций для представителей каждого типа ВНД. Результаты измерения уровня внутреннего жира свидетельствуют о том, что у всех обследуемых этот показатель в норме, однако меланхолики имеют статистически значимо самый высокий процент висцерального жира по сравнению с представителями других типов ВНД.

ЖМТ более, чем другие антропометрические показатели, отображает индивидуальные особенности образа жизни каждого отдельного человека. Вместе с тем, согласно некоторым исследованиям, тип ВНД непосредственно влияет на пищевое поведение [15], которое находится в тесной взаимосвязи с социально-экономическим статусом человека и выбранным стереотипом питания [16]. Некоторые авторы указывают на взаимосвязь основных черт темперамента и нарушений пищевого поведения [17].

Таблица 1
Антропометрические особенности девушек педагогического вуза в зависимости от типа ВНД ($M \pm m$)

Показатель	Меланхолики (31,7 %)	Сангвиники (14,4 %)	Флегматики (22,2 %)	Холерики (31,7 %)	Достоверность
ДТ, см	161,6 $\pm$ 1,3	166,3 $\pm$ 1,6	161,5 $\pm$ 1,0	163,2 $\pm$ 1,3	М-С* С-Ф*
МТ, кг	64,2 $\pm$ 2,9	59,3 $\pm$ 1,5	56,6 $\pm$ 2,0	56,8 $\pm$ 1,4	М-Ф*
ОГК, см	89,1 $\pm$ 1,5	84,2 $\pm$ 1,1	85,1 $\pm$ 1,2	85,0 $\pm$ 1,2	М-С* М-Ф* М-Х*
ОТ, см	74,8 $\pm$ 2,0	69,0 $\pm$ 1,5	68,7 $\pm$ 2,0	69,6 $\pm$ 1,2	М-С* М-Ф* М-Х*
ОБ, см	100,7 $\pm$ 1,9	92,5 $\pm$ 2,5	94,9 $\pm$ 1,3	96,0 $\pm$ 1,1	М-С* М-Ф* М-Х*
% общего жира	34,5 $\pm$ 2,0	31,9 $\pm$ 1,6	30,6 $\pm$ 1,6	31,6 $\pm$ 1,4	
% внутреннего жира	3,9 $\pm$ 0,3	3,0 $\pm$ 0,3	2,9 $\pm$ 0,2	3,3 $\pm$ 0,2	М-С* М-Ф*
ЖМТ, %	25,0 $\pm$ 2,2	19,1 $\pm$ 1,4	18,1 $\pm$ 1,5	17,1 $\pm$ 1,2	М-С* М-Ф* М-Х*
АМТ, %	38,5 $\pm$ 1,4	40,1 $\pm$ 0,6	38,1 $\pm$ 0,7	36,9 $\pm$ 1,1	С-Ф* С-Х*
СТБ, баллы	0,7 $\pm$ 0,02	0,8 $\pm$ 0,02	0,7 $\pm$ 0,01	0,7 $\pm$ 0,01	
Индекс Кетле, баллы	24,4 $\pm$ 1,1	21,5 $\pm$ 0,6	21,4 $\pm$ 0,7	21,8 $\pm$ 0,6	М-С* М-Ф* М-Х*
Индекс Пинье, баллы	14,7 $\pm$ 5,1	22,8 $\pm$ 2,7	20,8 $\pm$ 2,7	20,1 $\pm$ 2,7	С-Ф*
Индекс Рорера, баллы	14,4 $\pm$ 0,8	13,0 $\pm$ 0,4	13,2 $\pm$ 0,5	12,3 $\pm$ 0,4	М-С* М-Ф* М-Х*
Индекс Эрисмана, баллы	3,3 $\pm$ 2,4	1,0 $\pm$ 1,3	3,8 $\pm$ 1,1	3,4 $\pm$ 1,3	С-Ф* Ф-Х* М-Ф*

Примечание: * – различия значимы при $p \leq 0,05$, ** – различия значимы при $p \leq 0,01$, *** – различия значимы при $p \leq 0,001$.

Показатели уровня ЖМТ в группе обследуемых находятся в пределах нормы – от 17 до 25 процентов [18]. Это оптимальный вариант, дающий основу для осуществления крайне важных процессов: запасаения жиров в качестве резервной энергосубстанции, термоизоляции организма, синтеза многих гормонов и участия в обмене витаминов. Однако у представителей меланхолического типа ВНД выявлено достоверное отличие в показателе ЖМТ по сравнению с представителями остальных типов ВНД.

АМТ является необходимым показателем для оценки основного обмена веществ. Выявленные достоверные отличия у сангвиников свидетельствуют о высоком уровне основного обмена у представителей сангвинического типа ВНД и прогнозируют большее «сжигание» жировой ткани, что подтверждается низкими показателями ЖМТ.

Было выявлено, что обхватные показатели (ОГК, ОТ, ОБ) статистически значимо выше у меланхоликов, что демонстрирует большую плотность их телосложения. Эти данные подтверждаются индексами Кетле, Пинье и Рорера.

По мнению некоторых авторов, для качественного ранжирования уровня физического развития показатель МТ должен оцениваться в корреляции с ДТ [11]. Единая оценка массо-ростового соотношения была получена с помощью индекса Кетле – у меланхоликов он значимо выше, чем у представителей остальных типов ВНД.

Соотношение талии и бёдер соответствует возрастным особенностям и укладывается в рекомендованные показатели для женского пола. Статистически значимых отличий между группами выявлено не было.

На следующем этапе работы были оценены функциональные особенности девушек в зависимости от типа ВНД (табл. 2). Достоверно больший показатель индекса кистевой силы демонстрируют девушки флегматического типа, что свидетельствует о более высоких силовых показателях. Показатели становой силы и индекса становой силы статистически значимо не различались.

Определённый интерес представляло рассмотрение типологических особенностей показателей системы кровообращения. Сердечно-сосудистая система (ССС) выступает в качестве индикатора емкости адаптационных ресурсов организма, и качество ее функционирования – это основной критерий, по которому можно судить о гомеостазисе индивида.

Ряд авторов сообщает о влиянии типа ВНД на ЧСС и показатели артериального давления [19, 20]. По показателю ЧСС достоверных различий не выявлено, полученные данные соответствуют возрастнo-половой норме обследуемых. Статистически значимо высокие показатели САД и ДАД были выявлены у девушек-меланхоликов, что может свидетельствовать о предрасположенности к нейроциркуляторной дистонии гипертонического типа [21, 22].

О работе левого желудочка сердца, экономически рациональном функционировании сердечно-сосудистой системы можно судить по индексу Робинсона. Чем меньше величина ДП, тем экономичнее используются ресурсы сердечной мышцы. Также индекс Робинсона косвенно отражает коронарный

кровоток. Анализ данного показателя не выявил статистически значимых отличий между исследуемыми группами, но обнаружена тенденция к высокому показателю двойного произведения у меланхоликов, что может свидетельствовать о низкой степени экономичности деятельности системы кровообращения.

Таблица 2

Функциональные особенности девушек педагогического вуза в зависимости от типа ВНД ($M \pm m$)

Показатель	Меланхолики (31,7 %)	Сангвиники (14,4 %)	Флегматики (22,2 %)	Холерики (31,7 %)	Достоверность
Кистевой показатель	25,8 $\pm$ 1,1	27,6 $\pm$ 1,3	26,5 $\pm$ 0,6	26,3 $\pm$ 1,0	
Становая сила	45,6 $\pm$ 2,7	42,9 $\pm$ 3,0	44,0 $\pm$ 2,6	47,2 $\pm$ 3,1	
Индекс кистевой силы	42,7 $\pm$ 1,7	46,4 $\pm$ 1,9	48,0 $\pm$ 1,5	45,9 $\pm$ 2,1	М-Ф*
Индекс становой силы	0,7 $\pm$ 0,05	0,7 $\pm$ 0,09	0,8 $\pm$ 0,04	0,7 $\pm$ 0,06	
ЧСС, уд в мин.	73,8 $\pm$ 1,8	70,8 $\pm$ 2,8	75,2 $\pm$ 2,9	72,7 $\pm$ 1,6	
САД, мм рт. ст.	109,8 $\pm$ 2,2	105,1 $\pm$ 2,3	103,9 $\pm$ 1,4	107,7 $\pm$ 2,1	М-Ф*
ДАД, мм рт. ст.	67,0 $\pm$ 1,8	62,2 $\pm$ 1,4	61,8 $\pm$ 1,4	65,0 $\pm$ 1,4	М-С* М-Ф*
ДП, у.е.	81,4 $\pm$ 3,0	74,5 $\pm$ 3,5	76,8 $\pm$ 3,5	78,4 $\pm$ 2,7	
Индекс Кердо, у.е.	112,3 $\pm$ 3,8	113,9 $\pm$ 4,6	112,8 $\pm$ 7,2	112,9 $\pm$ 2,9	

Примечание: * – различия значимы при $p \leq 0,05$, ** – различия значимы при $p \leq 0,01$, *** – различия значимы при $p \leq 0,001$.

Кардиоваскулярная система, являясь активным компонентом механизмов адаптации, сама, в свою очередь, находится под значительным воздействием вегетативной нервной системы. Расчет пропорции влияний автономной нервной системы на работоспособность сердечной мышцы был сделан по индексу Кердо; не выявлено статистически значимых различий между группами обследуемых.

Итак, результаты исследования позволяют сформировать индивидуально-типологический морфофункциональный «портрет» представителей каждого типа ВНД (табл. 3).

Таблица 3

Индивидуально-типологический морфофункциональный «портрет» девушек педагогического вуза в зависимости от типа ВНД

Показатели	Типы высшей нервной деятельности			
	Меланхолики	Сангвиники	Флегматики	Холерики
<i>Антропометрия</i>	Высокие показатели МТ, обхватные показатели, ЖМТ. Максимальная плотность (крепость) телосложения.	Высокие показатели ДТ, низкие обхватные показатели. Низкая плотность (крепость) телосложения.	Низкие показатели ДТ и МТ, ЖМТ и АМТ. Минимальная плотность (крепость) телосложения.	Средние показатели ДТ, % общего и внутреннего жира. Средняя плотность (крепость) телосложения
<i>Функциональный статус</i>	Низкие силовые показатели. Высокие показатели САД, ДАД. Низкий уровень экономичност и сердечно-сосудистой системы.	Средние показатели САД, ДАД.	Высокие силовые показатели. Низкие показатели САД, ДАД.	Средние показатели САД, ДАД.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате исследования выявлены статистически значимые морфофункциональные различия у девушек в зависимости от типа ВНД, что позволило сформировать индивидуально-типологический «портрет», позволяющий охарактеризовать особенности физического здоровья представителей каждого типа ВНД. Полученные данные могут быть использованы в прикладных профессиональных сферах: в организации педагогического процесса, профориентации, спортивном отборе, психологии, бизнес-коммуникациях и лечебно-профилактической деятельности.

Проведенная оценка морфофункциональных показателей девушек разных типов ВНД позволила сделать следующие выводы:

1. У девушек разных типов ВНД выявлены статистически значимые различия по ряду морфофункциональных показателей.

2. Составлен индивидуально-типологический морфофункциональный «портрет» девушек, позволяющий охарактеризовать особенности физического здоровья представителей каждого типа ВНД.

Список литературы

1. Косолапова Л. А. Специфика образовательной деятельности педагогического вуза / Л. А. Косолапова // Высшее образование сегодня. – 2015. – № 2. – С. 19–25.
2. Суботялова А. М. Развитие представлений о конституциональных особенностях человека / А. М. Суботялова, А. П. Козлова, М. А. Суботялов // Человеческий капитал. – 2024. – № 1(181). – С. 18–25.
3. Костюк С. А. Фундаментальные основы психогенетики. Сообщение I / С. А. Костюк, С. В. Давидовский, Д. Д. Костюк, О. С. Полуян // Девиантология. – 2021. – Т. 5, № 1(8). – С. 58–64.
4. Бахтина С. В. Адаптация к школе детей с разными типами темперамента / С. В. Бахтина, В. М. Фишер // Инновации. Наука. Образование. – 2021. – № 25. – С. 1363–1367.
5. Тимченкова С. П. Влияние темперамента на успешность учебной деятельности учащихся / С. П. Тимченкова, О. А. Анисимова // Молодёжь и наука: актуальные проблемы педагогики и психологии. – 2016. – № 1. – С. 171–173.
6. Бирченко Н. С. Изучение взаимосвязи уровня адаптационных показателей организма и структуры темперамента иностранных студентов / Н. С. Бирченко, Е. А. Трутнева, Н. А. Фомина [и др.] // Психолого-педагогический поиск. – 2019. – № 1(49). – С. 191–200.
7. Chen C. Personality Traits Affect the Cost-Effectiveness of Total Knee Arthroplasty/ C. Chen, Y-Y. Shi, X. An, L. Gong, M-S. Tan, Z-Y. Fang, // Orthopaedic Surgery. – 2021 – Vol. 13. № 3(5). – P. 1025–1036.
8. Wen H. Effect of Music Listening on Physiological Condition, Mental Workload, and Driving Performance with Consideration of Driver Temperament / H. Wen, N. N. Sze, Q. Zeng, S. Hu // International Journal of Environmental Research and Public Health. – 2019. – № 16. – P. 2766.
9. Мурик С. Э. Влияние функционального состояния человека на проявление темперамента / С. Э. Мурик // Известия Иркутского государственного университета. Серия: Психология. – 2012. – Т. 1, № 2. – С. 70–83.
10. Ставицкая А. Б. Методика исследования физического развития детей и подростков / А. Б.Ставицкая, Д. И.Арон – М.: Медгиз. – 1959. – 75 с.
11. Wang F. Waist circumference, body mass index and waist to hip ratio for prediction of the metabolic syndrome in Chinese/ F. Wang, S. Wu, Y. Song et al. // Nutrition, Metabolism and Cardiovascular Diseases. – 2009. – Vol. 19. – P. 542.
12. Конради А. О. Ожирение, симпатическая гиперактивность и артериальная гипертензия – есть ли связь? / А. О. Конради // Артериальная гипертензия. – 2006. – Т. 12, № 2. – С. 131–140.
13. Соловьева А. В. Клиническое значение висцеральных депо жировой ткани / А. В. Соловьева, Д. Р. Ракита // Медицинский вестник Северного Кавказа. – 2017. – Т. 12, № 4. – С. 358–361.
14. Чумакова Г. А. Висцеральное ожирение как глобальный фактор сердечно-сосудистого риска / Г. А. Чумакова, Т. Ю. Кузнецова, М. А. Дружилов, Н. Г. Веселовская // Российский кардиологический журнал. – 2018. – Т. 23, № 5. – С. 7–14.
15. Проскурякова Л. А. Темперамент как психологическая и психофизиологическая детерминанта пищевого поведения / Л. А. Проскурякова, Е. Н. Лобыкина // Вестник Кемеровского государственного университета. – 2018. – № 1(73). – С. 153–159.
16. Цыганкова Д. П. Социально-экономические детерминанты пищевого поведения / Д. П. Цыганкова, О. Л. Барбараш // Российский кардиологический журнал. – 2021. – Т. 26, № 5. – С. 163–169.
17. Лисакова Е. В. Пищевое поведение человека в зависимости от типа темперамента / Е. В. Лисакова, Ю. А. Котова, Н. Б. Путилина // Прикладные информационные аспекты медицины. – 2019. – Т. 22, № 1. – С. 71–75.
18. Новицкая В. И. Состав тела и физическая работоспособность студентов 1-го курса спортивно-педагогического факультета спортивных игр и единоборств / В. И. Новицкая, А. В. Илютик // Мир спорта. – 2024. – № 1(94). – С. 41–45.

19. Абаджева А. А. Взаимосвязь типа темперамента и некоторых физиологических показателей организма / А. А. Абаджева, А. Е. Кари, А. С. Ховрина // *Forcipe*. – 2021. – Т. 4, № S1. – С. 576.
20. Аверьянова И. В. Показатели сердечно-сосудистой системы и кардиоритма у юношей г. Магадана с различными типами конституции / И. В. Аверьянова, А. Л. Максимов // *Вестник Мордовского университета*. – 2017. – № 27(3). – С. 397–409.
21. Алексеева Е. В. Нейроциркуляторная дистония в практике врача-кардиолога / Е. В. Алексеева, М. А. Половинкина, С. Н. Ачмиз, Г. С. Иванчура // *Вестник МУЗ ГБ № 2*. – 2013. – № 3(27). – С. 27–34.
22. Аббакумов С. А. Дифференциальная диагностика нейроциркуляторной дистонии с гиперкинетическим синдромом и гипертонической болезнью без поражения органов-мишеней / С. А. Аббакумов, В. Самойленко, Л. Стрижаков // *Врач*. – 2003. – № 2. – С. 26–28.

MORPHOFUNCTIONAL FEATURES OF GIRLS AT A PEDAGOGICAL UNIVERSITY DEPENDING ON THE TYPE OF HIGHER NERVOUS ACTIVITY

Delagardi E. R., Golovin M. S., Koroschenko G. A., Kozlova A. P., Subotyalov M. A.

*Novosibirsk State Pedagogical University, Novosibirsk, Russia
E-mail: subotyalov@yandex.ru*

Currently, scientific and analytical research on youth health is becoming more relevant, and the most promising is personality-categorical orientation, which makes it possible to create more precisely and specifically targeted methods that take into account the difference in morphofunctional parameters of representatives of each type of higher nervous activity. The purpose of this work is to analyze the morphofunctional characteristics of girls at a pedagogical university, depending on the type of higher nervous activity.

The purpose of this work is to analyze the morphofunctional characteristics of girls at a pedagogical university, depending on the type of higher nervous activity. To achieve this goal, it was necessary to solve the following tasks:

1. To study the morphofunctional parameters of girls of different types of higher nervous activity;
2. To form a morphofunctional individual-typological "portrait" of each type of higher nervous activity.

Material and methods of research. The article presents the data of the study of morphofunctional parameters in girls aged 17–18, differing in the type of higher nervous activity (a total of 63 girls, divided into 4 groups: melancholic, sanguine, phlegmatic and choleric). The following data were analyzed: body length, body weight, chest circumference, waist circumference, hip circumference, percentage of total and internal fat, wrist and back strength, heart rate, systolic blood pressure, diastolic blood pressure. The following indices were calculated: body fat mass, active body mass, waist-to-hip ratio, Quetelet, Pignet, double product, Rohrer, Erisman, wrist and back strength, sthenia, Kerdo.

Results and discussion. Based on the results of the study, a morphofunctional individual-typological "portrait" of each type of higher nervous activity was compiled.

Characteristics of melancholics: high body weight, girth, body fat, maximum body density (strength), low strength, high systolic and diastolic blood pressure, low efficiency, cardiovascular system.

Characteristics of sanguine people: high body length, low girth, low body density (strength), average systolic and diastolic blood pressure.

Characteristics of phlegmatic people: low body length and body weight, fat body weight and active body weight, minimum body density (strength).

Characteristics of choleric people: average body length, % of total and internal fat, average body density (strength), average systolic and diastolic blood pressure.

Conclusions. The study revealed statistically significant morphofunctional differences in girls depending on the type of higher nervous activity, which allowed us to form an individually typological "portrait" that allows us to characterize the physical health features of representatives of each type of higher nervous activity. The data obtained can be used in applied professional fields: in the organization of the pedagogical process, career guidance, sports selection, psychology, business communications, therapeutic and preventive activities, and even forecasting and preventing traffic violations.

The assessment of the morphofunctional parameters of girls of different types of higher nervous activity allowed us to draw the following conclusions:

1. Statistically significant differences in a number of morphofunctional parameters were revealed in girls of different types of higher nervous activity.

2. An individual typological morphofunctional "portrait" of girls has been compiled, which makes it possible to characterize the physical health features of representatives of each type of higher nervous activity.

Keywords: human physiology, type of higher nervous activity, girls, morphofunctional features, girth indicators, anthropometric features.

References

1. Kosolapova L. A. The specifics of educational activities of a pedagogical university, *Higher education today*, **2**, 19 (2015).
2. Subotyalova A. M. Kozlova A. P., Subotyalov M. A. The development of ideas about the constitutional features of man, *Human capital*, **1(181)**, 18 (2024).
3. Kostyuk S. A. Davidovsky S. V., Kostyuk D. D., Poluyan O. S. Fundamental principles of psychogenetics. Message I. *Deviant behavior*, **1(8)**, 58 (2021).
4. Bakhtina S. V., Fischer V. M. Adaptation to school of children with different types of temperament, *Innovatsii. Nauka. Obrazovanie*, **25**, 1363 (2021).
5. Timchenkova S. P., Anisimova O. A. The influence of temperament on the success of students' learning activities, *Molodezh i nauka: aktualnye problemy pedagogiki i psikhologii*, **1**, 171 (2016).
6. Birchenko N. S., Trutneva E. A., Fomina N. A., Vlasova L. A., Yakovleva A. V. Studying the relationship between the level of adaptive indicators of the body and the structure of temperament of foreign students, *Psychological and pedagogical search*, **1(49)**, 191 (2019).
7. Chen C., Shi Y.-Y., An X., Gong L., Tan M.-Sh., Fang Z.-Y. Personality Traits Affect the Cost-Effectiveness of Total Knee Arthroplasty, *Orthopaedic Surgery*, **13(3)**, 1025 (2021).
8. Wen H., Sze N. N., Zeng Q., Hu S. Effect of Music Listening on Physiological Condition, Mental Workload, and Driving Performance with Consideration of Driver Temperament, *International Journal of Environmental Research and Public Health*, **16**, 2766 (2019).
9. Murik S. E. Influence of human functional state on manifestation temperament, *The Bulletin of Irkutsk State University. Series «Psychology»*, **1(2)**, 70 (2012).

10. Stavitskaya A. B., Aron D. I. *Methods of studying the physical development of children and adolescents*, 75 p. (Medgiz, Moscow, 1959).
11. Wang F., Wu S., Song Y., Tang X., Marshall R., Liang M., Wu Y., Qin X., Chen D., Hu Y. Waist circumference, body mass index and waist to hip ratio for prediction of the metabolic syndrome in Chinese, *Nutrition, Metabolism and Cardiovascular Diseases*, **19**, 542 (2009).
12. Konradi A. O. Obesity, sympathetic hyperactivity and arterial hypertension – is there a connection?, *Arterial Hypertension*, **12(2)**, 131 (2006).
13. Solovyova A. V., Rakita D. R. The clinical significance of visceral adipose tissue depots, *Medical news of the North Caucasus*, **12(4)**, 358 (2017).
14. Chumakova G. A., Kuznetsova T. Y., Druzhilov M. A., Veselovskaya N. G. Visceral obesity as a global factor of cardiovascular risk, *Russian Journal of Cardiology*, **23(5)**, 7 (2018).
15. Proskuryakova L. A., Lobykina E. N. Temperament as a psychological and psychophysiological determinant of eating behavior, *Bulletin of Kemerovo State University*, **1(73)**, 153 (2018).
16. Tsygankova D. P., Barbarash O. L. Socio-economic determinants of eating behavior, *Russian Journal of Cardiology*, **26(5)**, 163 (2021).
17. Lisakova E. V., Kotova Y. A., Putilina N. B. Human eating behavior depending on the type of temperament, *Applied and IT research in medicine*, **22(1)**, 71 (2019).
18. Novitskaya V. I. Ilyutik A. V. Body composition and physical performance of 1st year students of the sports pedagogical Faculty of Sports games and martial arts, *Mir sporta*, **1(94)**, 41 (2024).
19. Abadzheva A. A., Kari A. E., Khovrina A. S. The relationship of the type of temperament and some physiological indicators of the body, *Forcipe*, **4(S1)**, 576 (2021).
20. Averyanova I. V., Maksimov A. L. Indicators of the cardiovascular system and cardiorhythm in young men of Magadan with various types of constitution, *Mordovia University Bulletin*, **27(3)**, 397 (2017).
21. Alekseeva E. V., Polovinkina M. A., Achmiz S. N., Ivanchura G. S. Neurocirculatory dystonia in the practice of a cardiologist, *Vestnik MUZ GB № 2*, **3(27)**, 27 (2013).
22. Abbakumov S. A., Samoylenko V., Strizhakov L. Differential diagnosis of neurocirculatory dystonia with hyperkinetic syndrome and hypertension without damage to target organs, *Vrach*, **2**, 26 (2003).

УДК 616.379-008.64: 57.084.1

DOI 10.29039/2413-1725-2025-11-1-29-40

БИОХИМИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ КРОВИ КРЫС ПОСЛЕ ПРИЕМА КУРСА ПРОБИОТИЧЕСКОГО МИКРОБНОГО КОНСОРЦИУМА НА ФОНЕ АЛЛОКСАН-ИНДУЦИРОВАННОГО ДИАБЕТА

Джелдубаева Э. Р., Ярмолук Н. С., Ржевская В. С., Туманянц К. Н., Назырова Л. Э.

*ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет им. В. И. Вернадского», Симферополь,
Республика Крым, Российская Федерация
E-mail: delviza@mail.ru*

Целью данной работы явился анализ биохимических показателей крови крыс после введения пробиотического микробного консорциума (ПМК) на фоне аллоксан-индуцированного диабета. Измерены уровни глюкозы, белков, ферментов печени, липидного обмена и воспалительных маркеров. Результаты исследования показали, что введение ПМК привело к незначительному снижению уровня глюкозы, частичному восстановлению функции печени (снижение АЛТ, АСТ) и почек (нормализация мочевины и креатинина), а также улучшению белкового и липидного обмена. Это свидетельствует о том, что ПМК оказывает гепатопротекторное и ренопротекторное действие. Данные подтверждают целесообразность использования пробиотиков в комплексной терапии диабета.

Ключевые слова: аллоксановый диабет, пробиотический микробный консорциум, биохимические показатели крови, крысы.

ВВЕДЕНИЕ

Сахарный диабет и его осложнения представляют одну из главных медико-социальных проблем XXI века. Данное заболевание сопровождается гипергликемией, нарушением обмена веществ, воспалительными процессами и поражением органов-мишеней (печень, почки, сердечно-сосудистая система и др.) [1–3]. На фоне изучения механизмов системных поражений органов при диабете особое внимание уделяется новым подходам к их профилактике и коррекции, которые могут стать эффективным дополнением к традиционной терапии.

Современные исследования показывают, что состояние микробиоты кишечника играет важную роль в регуляции углеводного обмена и системного воспаления [4, 5]. Одним из перспективных направлений является использование пробиотиков – микроорганизмов, которые способны модифицировать микрофлору, могут оказывать благоприятное воздействие на метаболические процессы, снижать уровень воспалительных цитокинов, корректировать инсулинорезистентность и уменьшать окислительный стресс [6]. Пробиотические микробные консорциумы (ПМК), состоящие из нескольких штаммов бактерий, демонстрируют более выраженный эффект по сравнению с монокомпонентными пробиотиками, что делает их особенно интересным объектом исследования.

Аллоксановый сахарный диабет является моделью, широко используемой в экспериментальной биологии и медицине для изучения патогенеза диабета и разработки методов лечения [7]. Аллоксан вызывает разрушение β -клеток поджелудочной железы, что приводит к развитию гипергликемии, аналогичной сахарному диабету 1 типа. Это сопровождается изменением биохимических показателей крови, включая повышение уровня глюкозы, нарушения липидного профиля и активности антиоксидантных систем [8]. Применение ПМК в таких условиях позволяет изучить их влияние на ключевые параметры метаболизма, что важно для понимания общего состояния организма.

Таким образом, изучение изменения биохимических показателей крови крыс с аллоксан-индуцированным диабетом под влиянием ПМК представляет актуальную и практически значимую задачу. Полученные результаты позволят лучше понять механизм действия ПМК и оценить их потенциал как средства комплексной терапии сахарного диабета.

В связи с вышеизложенным, целью данного исследования явилось выявление изменения биохимических показателей крови крыс после введения курса пробиотического микробного консорциума на фоне аллоксан-индуцированного диабета.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Работа выполнялась в Центре коллективного пользования научным оборудованием «Экспериментальная физиология и биофизика» при кафедре физиологии человека и животных и биофизики в рамках программы исследований № АААА-А21-121011990099-6 «Физиологические механизмы биологического действия факторов разной природы и интенсивности» ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет имени В. И. Вернадского».

Эксперименты проводились на белых половозрелых крысах-самцах линии *Wistar*, которые были специально выведены для лабораторных исследований. Общая выборка составила 30 здоровых крыс, массой 300-350 грамм.

Согласно государственному стандарту РФ «ГОСТ 33216-2014, Руководство по содержанию и уходу за лабораторными животными, Правила содержания и ухода за лабораторными грызунами и кроликами, Правила оборудования помещений и организации процедур» – испытуемые животные содержались в адекватных условиях, в соответствии с тезисами вышеприведённого государственного норматива. В клетках присутствовал свободный доступ к воде и гранулированному комбикорму со сбалансированным содержанием белкового, жирового и углеводного баланса компонентов. Поение и кормление проводилось подконтрольно, согласно внутреннему распорядку работы вивария.

Все применимые международные, национальные и/или институциональные принципы ухода и использования животных были соблюдены. Все процедуры, выполненные в исследованиях с участием животных, соответствовали этическим стандартам, утвержденным правовыми актами РФ, принципам Базельской декларации и рекомендациям этического комитета по биоэтике ФГАОУ ВО

«Крымский федеральный университет им. В. И. Вернадского» (протокол № 5 от 2022 г.).

Животных разделили на 3 экспериментальные группы по 10 особей (рис. 1).

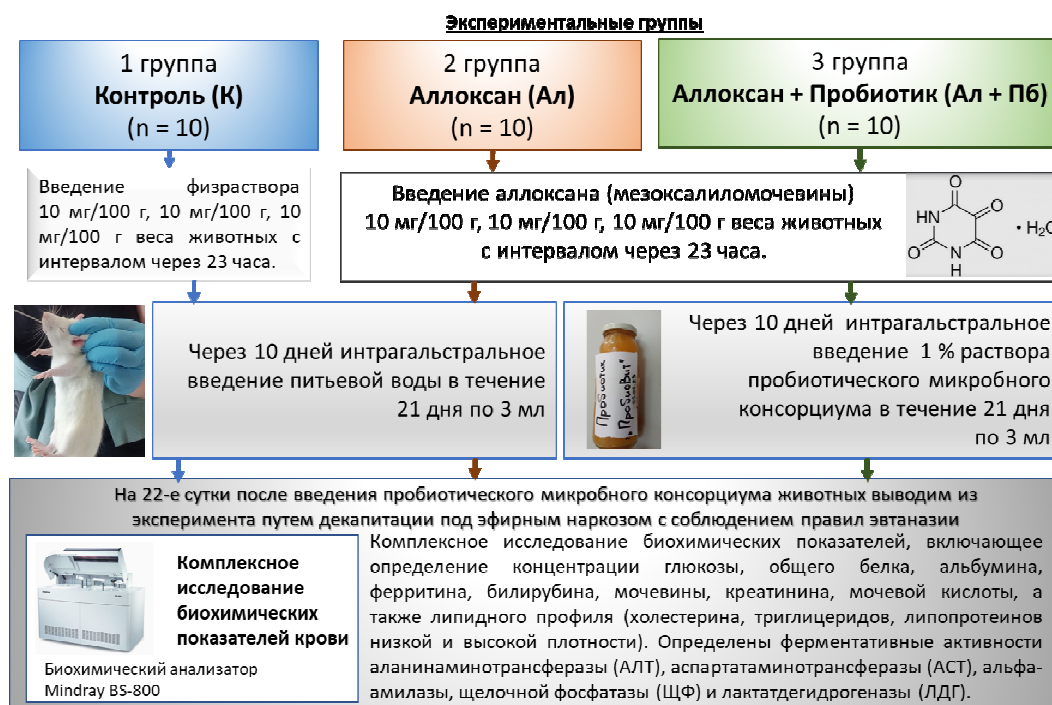


Рис. 1. План проведения экспериментального исследования.

В первой группе (Контроль, К) крысы содержались в стандартных условиях вивария, которым в течение 21 дня вводили по 3 мл питьевой воды.

У животных второй группы (Ал) за 10 дней до начала эксперимента был смоделирован аллоксановый диабет путем внутрибрюшинного введения аллоксана – моногидрата ($C_4H_2N_2O_4 \cdot H_2O$; компания «Диаэм», Россия) в дозировке по 100 мг/кг в течение трех дней [9]. Далее в течение 21 дня им вводили интрагастралью с использованием желудочного орального зонда по 3 мл питьевой воды.

Животным третьей группы (Ал+Пб) также был смоделирован аллоксановый диабет, после чего на 11-й день начали вводить интрагастралью 1 % раствор ПМК по 3 мл в течение последующего 21 дня.

Синтез тестируемого ПМК проводился на кафедре ботаники и физиологии растений и биотехнологий ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет имени В. И. Вернадского» под руководством Ржевской В. С. ПМК включал штаммы пробиотических микроорганизмов: *Lactobacillus parabuchneri* BKM B-3553D, *Lactobacillus plantarum* BKM B-3552D, *Lactobacillus acidophilus* BKM B-3563D, *Enterococcus faecium* BKM B-3551D, *Brettanomyces bruxellensis* BKM Y-3064D. Все

штаммы микроорганизмов депонированы в Всероссийской коллекции микроорганизмов. Микробный консорциум получали путем совместного культивирования молочнокислых бактерий, энтерококка и дрожжей в жидкой питательной среде MRS в биореакторе Minifors 2 (Minifors 2 HT, Швейцария) при температуре 32 °C и 50 об/ мин в течение 3-х суток. Учет численности микроорганизмов в консорциуме проводили методом предельных разведений. Биологическая концентрация бактерий микробного консорциума составила 1,3·10⁹ КОЕ.

На 22-е сутки животных выводили из эксперимента путем декапитации на гильотине («НПК Открытая наука, Россия») под эфирным наркозом. Кровь из шейных вен отбирали в вакуумные пробирки с разделительным гелем для сыворотки.

Биохимический анализ крови крыс провели автоматическим методом с использованием набора химических реактивов производства Mindray на анализаторе Mindray BS-800 (Shenzhen Mindray Bio-Medical Electronics Co., LTD; Китай)

Комплексное исследование биохимических показателей крови включало определение показателей углеводного (глюкоза, ммоль/л), белкового (общий белок, г/л; альбумин, г/л), азотистого обменов (мочевина, ммоль/л; креатинин, мкмоль/л; мочевая кислота, мкмоль/л), ферментов печени, поджелудочной железы и других органов (аланинаминотрансфераза (АЛТ), ед/л; аспартатаминотрансфераза (АСТ), ед/л; щелочная фосфатаза (ЩФ), ед/л; альфа-амилаза, ед/л; лактатдегидрогеназа (ЛДГ), ед/л), липидного обмена (холестерин, ммоль/л; триглицериды (ТГ), ммоль/л; липопротеины низкой плотности (ЛПНП), ммоль/л; липопротеины высокой плотности (ЛПВП), ммоль/л)

Статистическую обработку и графическое представление экспериментальных данных проводили с использованием программ GraphPad Prism 8 (версия 8.4.3 (686) (GraphPad Software, США) и Microsoft Excel 2010 (Microsoft Corporation, США). Проверку распределения данных на нормальность осуществляли с помощью критерия Шапиро-Уилка. Поскольку распределение данных в подавляющем большинстве случаев не соответствовало нормальному, значимость различий между группами оценивали с помощью непараметрического критерия Краскела-Уоллиса. Множественные апостериорные сравнения значений показателей между группами проводили с помощью критерия Данна. В описании сравнения значений показателей в разных группах животных использовались %, которые рассчитывались по значениям медианы показателей соответствующих групп. Критический уровень значимости статистических гипотез (p) в данном исследовании принимали равным 0,05.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Результаты исследования биохимических показателей крови крыс с аллоксан-индуцированным диабетом и после введения ПМК на фоне диабета показали значимые различия. У животных контрольной группы данные показатели находились в пределах нормативных значений [10] (табл. 1).

Таблица 1.

Биохимические показатели крови крыс в контроле (К), с аллоксан-индуцированным диабетом (Ал) и при дополнительном введении пробиотического микробного консорциума крысам на фоне аллоксанового диабета (Ал+Пр)

Показатели	Экспериментальные группы		
	К	Ал	Ал + Пр
Глюкоза, моль/л	5,17 (5,01; 5,17)	19,08 (16,97; 24,83) p < 0,04	15,08 (9,71; 17,72) p < 0,05
Мочевина, ммоль/л	7,65 (7,65; 8,47)	13,50 (10,39; 14,66) p < 0,05	15,51 (15,43; 17,48) p < 0,02
Креатинин, мкмоль/л	40,60 (37,60 40,60)	71,10 (69,30; 84,30) p < 0,05	42,40 (37,60; 69,30)
Общий белок, г/л	65,40 (65,40; 67,00)	57,40 (50,80; 61,80)	59,20 (54,70; 60,20)
Билирубин общий, мкмоль/л	1,05 (1,05; 1,58)	1,53 (0,99; 18,28)	1,45 (1,38; 1,53)
Аланинаминотрансфераза (АЛТ), ед/л.	161,60 (118,00; 161,60)	1053,30 (696,40; 1108,40) p < 0,05	256,70 (124,70; 296,60)
Аспартатаминотрансфераза (АСТ), ед/л.	521,80 (521,80; 558,30)	1077,50 (503,60; 2166,00)	236,20 (233,60; 1113,10)
Альфа-амилаза, ед/л.	614,00 (545,40; 714,00)	1358,88 (882,90; 1532,80)	1109,9 (1076,80; 1487,00)
Щелочная фосфатаза (ЩФ), ед/л.	248,40 (248,40; 706,20)	699,30 (515,40; 1218,10)	1021,00 (695,20; 1354,00)
Холестерин, моль/л	1,13 (1,13; 1,22)	1,26 (1,10; 1,31)	1,36 (1,25; 1,39)
Триглицериды (ТГ), ммоль/л	0,97 (0,97; 1,85)	0,91 (0,59; 1,06)	1,34 (1,22; 1,40)
Липопротеины низкой плотности (ЛПНП), ммоль/л	0,30 (0,20; 0,30)	0,36 (0,35; 0,48) p < 0,05	0,28 (0,19; 0,47)
Липопротеины высокой плотности (ЛПВП), ммоль/л	0,78 (0,43; 0,78)	0,66 (0,54; 0,81)	0,63 (0,54; 0,63)
Лактатдегидрогеназа (ЛДГ), ед/л.	3676,80 (2543,00; 3676,80)	1486,30 (1180,70; 2244,10)	1859,90 (1194,90; 3662,00)
Мочевая кислота, мкмоль/л	218,10 (218,10; 239,80)	280,40 (246,50; 312,30)	197,70 (186,60; 306,10)
Альбумин, г/л	32,40 (30,10; 32,40)	26,00 (20,00; 27,40) p < 0,05	22,20 (20,00; 24,90) p < 0,05

Примечание: Указаны медианы нижнего и верхнего квартилей (Me (Q25:Q75)). p<0,05 – достоверность различий по сравнению со значениями контрольной группы животных по критерию Данна.

Анализ биохимических показателей крови у крыс второй группы (Ал) показал значимое увеличение уровня глюкозы в 2,98 раз ($p < 0,05$) относительно контроля (рис. 2), что свидетельствует о том, что аллоксан вызывает разрушение β -клеток поджелудочной железы, приводя к резкому увеличению уровня глюкозы в крови и развитию гипергликемии, характерной для модели сахарного диабета [11]. Уровни общего белка и альбумина были ниже на 14,40 % ($p < 0,05$) и на 21,71 % ($p < 0,05$) по сравнению с контролем, что указывает на ухудшение белкового обмена и катаболизма при диабете, что может быть результатом протеинурии или метаболического дисбаланса [12].

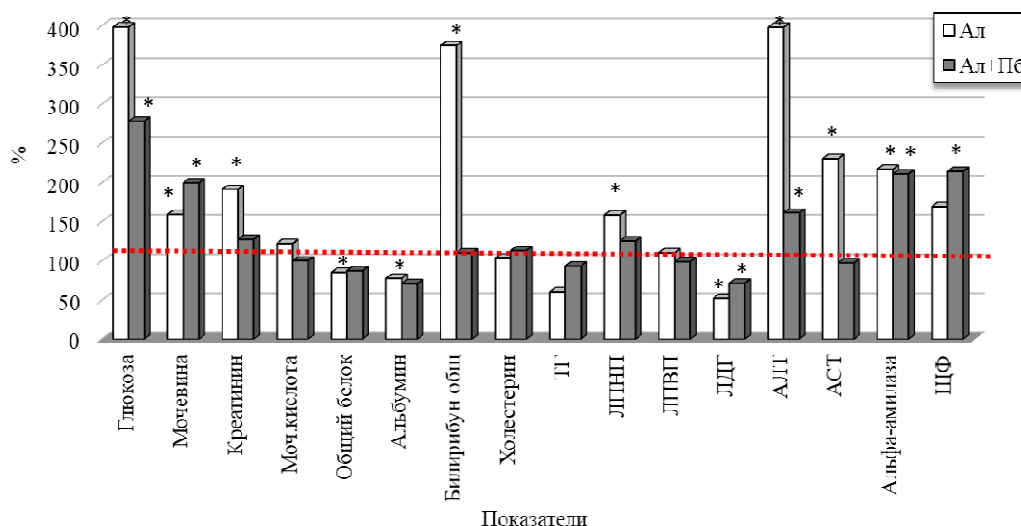


Рис. 2. Изменение биохимических показателей крови крыс с аллоксан-индуцированным диабетом (Ал) при введении пробиотического микробного консорциума (по сравнению с показателями контрольной группы животных, принятых за 100 %).

Показатели мочевины и креатинина увеличились на 59,43 % ($p < 0,05$) и 91,56 % ($p < 0,05$) относительно контроля, что указывает на нарушение азотистого обмена, снижение клубочковой фильтрации и почечной функции, что может быть вследствие развития диабетической нефропатии [13]. Также отмечается увеличение общего билирубина (на 387,25 %), АЛТ (на 402,47 %; $p < 0,05$) и АСТ (на 131,28 %, $p < 0,05$) относительно контроля, что указывает на выраженную печеночную дисфункцию. Так, в работе [14] показано, что при диабете наблюдается стеатогепатит, что сопровождается повреждением гепатоцитов и повышением печеночных ферментов.

Уровни холестерина и ЛПНП увеличились на 4,11 % и на 58,60 % ($p < 0,05$) по сравнению с контролем, а ЛДЛ снизился на 47,36 %. Нарушение липидного обмена

при диабете связано с инсулинорезистентностью, что приводит к повышению ЛПНП и снижению ЛПВП [15].

Таким образом, полученные данные у крыс второй группы (Ал) подтверждают успешное моделирование сахарного диабета с развитием характерных метаболических нарушений, включая гипергликемию, дисфункцию печени и почек, ухудшение белкового и липидного обмена, а также изменения воспалительных маркеров.

У крыс третьей группы (Ал+Пб), которым проводилось введение 21-суточного курса ПМК на фоне аллоксанового диабета, уровень глюкозы в крови был выше контроля на 178,39 % ($p < 0,05$), но ниже уровня группы Ал, что показывает незначительное гипогликемическое действие ПМК. Уровень мочевины и креатинина увеличился на 100,25 % ($p < 0,05$) и на 27,28 % ($p < 0,05$) по сравнению с показателями животных контрольной группы, что может быть связано с активным выведением азотистых продуктов распада и частичном восстановлении почечной функции. Показатель мочевой кислоты снизился до 230 мкмоль/л, что близко к контрольным значениям. Незначительное восстановление уровня общего белка (снижение на 12,34 % относительно контроля) свидетельствует о частичном восстановлении белкового метаболизма. Уровень альбумина на 28,43 % ($p < 0,05$) ниже контроля, что говорит о продолжающихся нарушениях. Уровень общего билирубина был выше контроля на 10,52 %, АЛТ – на 61,66 %, АСТ близок к контрольным значениям, подтверждая гепатопротекторное действие ПМК. Уровень α -амилазы незначительно снизился относительно значений у крыс группы Ал (на 111,24 % ($p < 0,05$) выше контроля), что указывает на частичное восстановление. Уровень ЩФ увеличился до 1021,00 ед/л, что указывает на продолжающиеся метаболические нарушения. Уровни холестерина и ЛПНП увеличились на 13,48 % и 25,33 % соответственно относительно контрольных значений. При введении крысам, больным сахарным диабетом, ПМК, наблюдается увеличение уровня ЛДГ до 1859,90 ед/л (что на 28,01 % ниже контроля), это указывает на частичное восстановление энергетического метаболизма.

Следовательно, введение ПМК незначительно снижает уровень глюкозы, демонстрируя слабый гипогликемический эффект. В литературе имеются данные о гипогликемическом эффекте пробиотиков, который связан с восстановлением состава кишечной микробиоты и увеличением выработки короткоцепочечных жирных кислот (КЖК), способствующих улучшению чувствительности к инсулину [16, 17]. Подобные результаты ранее были продемонстрированы в исследованиях, где использование пробиотиков *Lactobacillus acidophilus* и *Lactobacillus casei* способствовало снижению гипергликемии у животных при разных моделях диабета [16].

Введение ПМК частично восстанавливает уровень альбумина и общего белка, улучшая белковый обмен, что связано с нормализацией кишечной микробиоты, улучшающей усвоение питательных веществ. Данные согласуются с исследованиями [19], где пробиотики способствовали улучшению абсорбции аминокислот и коррекции белкового дисбаланса у животных с метаболическими нарушениями.

У крыс третьей группы снижен уровень АЛТ по сравнению со второй группой, что подтверждает гепатопротекторный эффект пробиотика. Однако эти показатели остаются выше нормы, что говорит о продолжающемся повреждении печени, но с тенденцией к восстановлению. Нормализация уровня билирубина (уменьшение до контрольных значений) также указывает на улучшение функции печени. Данные находят подтверждение в работе [20], в которой показано, что пробиотики способствуют уменьшению воспалительных процессов в печени при неалкогольной жировой болезни печени и диабете.

Введение ПМК частично восстанавливает уровень мочевины и креатинина, что говорит о ренопротекторном действии. Несмотря на то, что данные показатели остаются выше нормы, их снижение по сравнению с группой Ал свидетельствует о частичном восстановлении почечной функции. Влияние пробиотиков на почки может быть связано с улучшением детоксикационной функции кишечника, снижением эндотоксинов и воспалительного ответа [21]. Исследования Andrade-Oliveira et al. [22] показывают, что метаболиты пробиотических бактерий способствуют улучшению функции почек и уменьшению оксидативного стресса. Также показано, что введение ПМК снижает уровень ЛПНП и стабилизирует липидный профиль, что свидетельствует о восстановлении окислительных процессов в тканях.

Нормализация биохимических показателей частично обусловлена улучшением состава микрофлоры. ПМК способствует восстановлению численности бифидо- и лактобактерий, которые играют ключевую роль в метаболизме глюкозы, воспалительных процессах и защите слизистой кишечника.

Таким образом, введение ПМК в условиях аллоксан-индуцированного диабета у крыс оказывает многофакторное положительное влияние на метаболические процессы, проявляя слабое гипогликемическое, гепато- и ренопротекторное действие, а также способствует нормализации липидного и белкового обмена. Эти данные согласуются с ранее опубликованными исследованиями о роли пробиотиков в регуляции оси «кишечник-мозг-метаболизм», что подтверждает перспективность дальнейшего изучения их применения в комплексной терапии диабета для коррекции его осложнений и улучшения метаболического состояния организма.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

У животных с аллоксан-индуцированным диабетом наблюдается выраженная гипергликемия, дисфункция печени и почек, ухудшение белкового и липидного обмена, а также изменения воспалительных маркеров. Эти данные подтверждают успешное моделирование сахарного диабета.

Введение 21-суточного курса пробиотического микробного консорциума на фоне аллоксан-индуцированного диабета у крыс оказывает положительное влияние на ключевые метаболические показатели. Применение ПМК способствует частичному восстановлению функции печени и почек, а также нормализует липидный и белковый обмен. Эти данные согласуются с ранее опубликованными исследованиями о роли пробиотиков в регуляции оси «кишечник-мозг-метаболизм», подчеркивая перспективность пробиотиков в комплексной терапии диабета. Однако

для более глубокого понимания механизмов их действия необходимы дальнейшие исследования.

Работа выполнена на оборудовании ЦКП «Экспериментальная физиология и биофизика» в рамках инициативной темы № АААА-А21-121011990099-6 «Физиологические механизмы биологического действия факторов разной природы и интенсивности» ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет имени В. И. Вернадского».

Список литературы

1. Henning R. J. Type-2 diabetes mellitus and cardiovascular disease / R. J. Henning // *Future Cardiol.* – 2018. – V. 14(6). – P. 491–509. doi: <https://doi.org/10.2217/fca-2018-0045>
2. Дедов И. И. Сахарный диабет / И. И. Дедов, М. В. Шестакова, А. Ю. Майоров, М. Ш. Шамхалова // *Сахарный диабет.* – 2020. – Т. 23. – С. 42–114. doi: 10.14341/DM12505.
3. Кураева Т. Л. Распространенность факторов социального риска у детей и подростков с сахарным диабетом 1 типа (СД1) в России, их связь с недостаточным метаболическим контролем / Т. Л. Кураева, А. В. Карпушкина, Е. А. Андрианова [и др.] // *Сахарный диабет.* – 2024. – № 27(5). – С. 401–410. <https://doi.org/10.14341/DM12939>
4. Демидова Т. Ю. Абнормальная кишечная микробиота и нарушение инкретинового эффекта как причины развития сахарного диабета 2 типа / Т. Ю. Демидова, К. Г. Лобанова, Т. Н. Короткова, Л. Д. Харчилава // *Медицинский вестник Юга России.* – 2022. – Т. 13, № 1. – С. 24–42. doi: 10.21886/2219-8075-2022-13-1-24-42.
5. Демидова Т. Ю. Влияние кишечной микробиоты на развитие инсулинорезистентности / Т. Ю. Демидова, К. Г. Лобанова, Н. С. Шевцова, Т. Н. Короткова, А. С. Кочина // *Медицинский Совет.* – 2022. – Т. 10. – С. 84–95. doi: 10.21518/2079-701X-2022-16-10-84-95.
6. Парфенов А. И. Значение повышенной проницаемости кишечника в патогенезе внутренних болезней / А. И. Парфенов // *Терапевтический архив.* – 2024. – Т. 96, № 2. – С. 85–90. doi: 10.26442/00403660.2024.02.202587.
7. Gati M. A. Physiological and histological study of experimental diabetes mellitus by alloxan / M. A. Gati // *Int. J. Adv. Res.* – 2016. – Vol. 4, No. 3. – P. 1814–1818.
8. Биджиева Ф. А. Биохимические особенности аллоксан индуцированного сахарного диабета / Ф. А. Биджиева // *Медицинский алфавит.* – 2018. – Т. 31, № 2. – С. 12–14.
9. Данилова И. Г. Способ моделирования аллоксанового диабета / И. Г. Данилова, И. Ф. Гетте: Патент на изобретение № 2534411; заявл. 27.11.2014; опубл. 27.11.2014. – Бюл. № 33.
10. Макаров В. Г. Справочник. Физиологические, биохимические и биометрические показатели нормы экспериментальных животных / под ред. В. Г. Макарова, М. Н. Макаровой // СПб.: Изд-во «ЛЕМА». – 2013. – 116 с.
11. Lenzen S. The mechanisms of alloxan- and streptozotocin-induced diabetes. / S. Lenzen // *Diabetologia.* – 2008. – V. 51(2). – С. 216–226.
12. Reaven G. M. The insulin resistance syndrome: Definition and dietary approaches to treatment / G. M. Reaven // *Annual Review of Nutrition.* – 2005. – V. 25. – P. 391–406.
13. Kanwar Y. S. A glimpse of various pathogenetic mechanisms of diabetic nephropathy / Y. S. Kanwar, L. Sun, P. Xie, F. Y. Liu, S. Chen // *Annual Review of Pathology: Mechanisms of Disease.* – 2011. – V. 6. – P. 395–423.
14. Targher G. Nonalcoholic fatty liver disease: A novel cardiometabolic risk factor for type 2 diabetes and its complications / G. Targher, C. D. Byrne // *Diabetes Care.* – 2013. – V. 36, № 5. – P. 1257–1263.
15. Goldberg I. J. Triglycerides and heart disease: Still a hypothesis? / I. J. Goldberg, R. H. Eckel, R. McPherson // *Arteriosclerosis, Thrombosis, and Vascular Biology.* – 2011. – V. 31, № 8. – P. 1716–1725.
16. Yadav H. Antidiabetic effect of probiotic dahi containing *Lactobacillus acidophilus* and *Lactobacillus casei* in high fructose fed rats / H. Yadav, S. Jain, P. R. Sinha // *Nutrition.* – 2008. – V. 24, № 5. – P. 430–436.

17. Everard A. Diabetes, obesity and gut microbiota / A. Everard, P. D. Cani // Best Practice & Research Clinical Gastroenterology. – 2013. – V. 27, № 1. – P. 73–83.
18. Vallianou N. G. Probiotics and inflammation: A review of the evidence / N. G. Vallianou, T. Stratigou, G. S. Christodoulatos, M. Dalamaga // Frontiers in Nutrition. – 2020. – V. 7. – P. 42.
19. Hagihara M. The impact of probiotic *Clostridium butyricum* MIYAIRI 588 on murine gut metabolic alterations / M. Hagihara, R. Yamashita, A. Matsumoto [et al.] // Journal of Infection and Chemotherapy. – 2019. – V. 25, № 8. – P. 571–577. doi: 10.1016/j.jiac.2019.02.008.
20. Tarantino G. Metabolic syndrome and non-alcoholic fatty liver disease: Further evidence from the gut–liver axis link / G. Tarantino, C. Finelli, A. Hines // Expert Review of Gastroenterology & Hepatology. – 2019. – V. 13, № 5. – P. 473–484. doi: 10.1016/j.mce.2015.02.018.
21. Ranganathan N. Probiotic dietary supplementation in patients with stage 3 and 4 chronic kidney disease: A 6-month pilot scale trial / N. Ranganathan, E. A. Friedman, P. Tam [et al.] // Nutrients. – 2017. – V. 9, № 6. – P. 439. doi: 10.1185/03007990903069249.
22. Andrade-Oliveira V. Adipokines as drug targets in diabetes and underlying disturbances / V. Andrade-Oliveira, N. S. Câmara, P. M. Moraes-Vieira // J Diabetes Res. – 2015. – Article ID 681612. doi: 10.1155/2015/681612.

BIOCHEMICAL BLOOD PARAMETERS OF RATS AFTER A COURSE OF PROBIOTIC MICROBIAL CONSORTIUM ADMINISTRATION AGAINST THE BACKGROUND OF ALLOXAN-INDUCED DIABETES

Dzheldubaeva E. R., Yarmolyuk N. S., Rzhetskaya V. S., Tumanyants K. N., Nazyrova L. E.

*V. I. Vernadsky Crimean Federal University, Simferopol, Russian Federation
E-mail: delviza@mail.ru*

Diabetes mellitus is a complex metabolic disorder accompanied by chronic hyperglycemia and systemic damage to target organs, including the liver, kidneys, and cardiovascular system. One of the urgent challenges of modern experimental and clinical medicine is the search for new therapeutic agents that can complement standard approaches to the treatment and prevention of diabetes-related complications. In this context, special attention is given to the role of gut microbiota and the possibility of its targeted modulation through the use of probiotics.

The aim of the present study was to assess the effect of a probiotic microbial consortium (PMC), including strains of *Lactobacillus parabuchneri*, *L. plantarum*, *L. acidophilus*, *Enterococcus faecium*, and *Brettanomyces bruxellensis*, on the biochemical blood parameters of rats with alloxan-induced diabetes mellitus. The experiment was carried out on Wistar albino rats, which were divided into three groups: a control group, a diabetic group, and a diabetic group receiving a 21-day course of PMC after alloxan-induced diabetes modeling.

The obtained results showed that alloxan administration caused persistent hyperglycemia, disturbances in protein, nitrogen, and lipid metabolism, and a significant increase in hepatic enzyme activity, reflecting the systemic nature of metabolic shifts in diabetes. Administration of the PMC contributed to a reduction in blood glucose levels, partial restoration of total protein and albumin levels, normalization of creatinine, uric acid, and urea concentrations, as well as decreased alanine and aspartate aminotransferase

activity. Moreover, there was a trend towards improvement in lipid profiles, including cholesterol and low-density lipoprotein levels.

Thus, PMC administration in the context of alloxan-induced diabetes positively affects key biochemical parameters, demonstrating moderate hypoglycemic, hepatoprotective, and renoprotective effects. These findings support the advisability of using probiotics as an adjunctive therapy for correcting metabolic disturbances in diabetes mellitus. Further research is required to clarify the molecular mechanisms of PMC action and evaluate its therapeutic potential under conditions of chronic hyperglycemia.

Keywords: alloxan-induced diabetes, probiotic microbial consortium, biochemical blood parameters, rats.

References

1. Henning R. J. Type-2 diabetes mellitus and cardiovascular disease, *Future Cardiol.*, **14**(6), 491 (2018) doi: <https://doi.org/10.2217/fca-2018-0045>
2. Dedov I. I., Shestakova M. V., Mayorov A. Yu., Shamkhalova M. Sh. Diabetes mellitus, *Diabetes Mellitus*, **23**, 42 (2020). doi: 10.14341/DM12505.
3. Kuraeva T. L., Karpushkina A. V., Andrianova E. A., et al. Prevalence of social risk factors in children and adolescents with type 1 diabetes mellitus (DM1) in Russia, their association with insufficient metabolic control, *Diabetes Mellitus*, **27**(5), 401 (2024) <https://doi.org/10.14341/DM12939>
4. Demidova T. Y., Lobanova K. G., Korotkova T. N., Kharchilava L. D. Abnormal intestinal microbiota and violation of the incretin effect as the causes of diabetes mellitus type 2, *Medical Bulletin of the South of Russia*, **13**, 1, 24 (2022). doi: 10.21886/2219-8075-2022-13-1-24-42.
5. Demidova T. Yu., Lobanova K. G., Shevtsova N. S., Korotkova T. N., Kochina A. S. Influence of intestinal microbiota on the development of insulin resistance, *Medical Council.*, **10**, 84 (2022) doi: 10.21518/2079-701X-2022-16-10-84-95.
6. Parfenov A. I. Significance of increased intestinal permeability in the pathogenesis of internal diseases, *Therapeutic archive*, **96**, 2, 85 (2024) doi: 10.26442/00403660.2024.02.202587.
7. Gati M. A. Physiological and histological study of experimental diabetes mellitus by alloxan, *Int. J. Adv. Res.*, **4**, 3, 1814 (2016).
8. Bidzhieva F. A. Biochemical features of alloxan induced diabetes mellitus, *Medical Alphabet.*, **31**, 2, 12 (2018).
9. Danilova I. G., Gette I. F. *Method of modeling alloxan diabetes*, Patent for invention No. 2534411; avv. 27.11.2014; publ. 27.11.2014., Bulletin No. 33.
10. Makarov V. G. *Reference book. Physiological, biochemical and biometric indicators of the norm of experimental animals*, edited by V. G. Makarov, M. N. Makarova, 116 (St. Petersburg: Izdvo "LEMA". – 2013).
11. Lenzen S. The mechanisms of alloxan- and streptozotocin-induced diabetes, *Diabetologia*, **51**(2), 216 (2008).
12. Reaven G. M. The insulin resistance syndrome: Definition and dietary approaches to treatment, *Annual Review of Nutrition*, **25**, 391 (2005).
13. Kanwar Y. S., Sun L., Xie P., Liu F. Y., Chen S. A glimpse of various pathogenetic mechanisms of diabetic nephropathy, *Annual Review of Pathology: Mechanisms of Disease*, **6**, 395 (2011).
14. Targher G., Byrne C. D. Nonalcoholic fatty liver disease: A novel cardiometabolic risk factor for type 2 diabetes and its complications, *Diabetes Care*, **36**, 5, 1257 (2013).
15. Goldberg I. J., Eckel R. H., McPherson R. Triglycerides and heart disease: Still a hypothesis? *Arteriosclerosis, Thrombosis, and Vascular Biology*, **31**, 8, 1716 (2011).
16. Yadav H., Jain S., Sinha P. R. Antidiabetic effect of probiotic dahi containing *Lactobacillus acidophilus* and *Lactobacillus casei* in high fructose fed rats, *Nutrition.*, **24**, 5, 430 (2008).
17. Everard A., Cani P. D. Diabetes, obesity and gut microbiota, *Best Practice & Research Clinical Gastroenterology*, **27**, 1, 73 (2013).

18. Vallianou N. G., Stratigou T., Christodoulatos G. S., Dalamaga M. Probiotics and inflammation: A review of the evidence, *Frontiers in Nutrition.*, **7**, 42. (2020).
19. Hagihara M., Yamashita R., Matsumoto A. [et al.] The impact of probiotic *Clostridium butyricum* MIYAIRI 588 on murine gut metabolic alterations, *Journal of Infection and Chemotherapy.*, **25**, **8**, 571 (2019). doi: 10.1016/j.jiac.2019.02.008.
20. Tarantino G., Finelli C., Hines A. Metabolic syndrome and non-alcoholic fatty liver disease: Further evidence from the gut–liver axis link, *Expert Review of Gastroenterology & Hepatology.*, **13**, **5**, 473 (2019). doi: 10.1016/j.mce.2015.02.018.
21. Ranganathan N., Friedman E. A., Tam P., et al. Probiotic dietary supplementation in patients with stage 3 and 4 chronic kidney disease: A 6-month pilot scale trial, *Nutrients.*, **9**, **6**, 439 (2017). doi: 10.1185/03007990903069249.
22. Andrade-Oliveira V., Câmara N. S., Moraes-Vieira P. M. Adipokines as drug targets in diabetes and underlying disturbances, *J Diabetes Res.*, Article ID 681612 (2015) doi: 10.1155/2015/681612.

УДК 612.1:612.656

DOI 10.29039/2413-1725-2025-11-1-41-52

АНАЛИЗ ФУНКЦИОНАЛЬНОГО СОСТОЯНИЯ СЕРДЕЧНО-СОСУДИСТОЙ СИСТЕМЫ СОВРЕМЕННЫХ СТУДЕНТОВ

Кретова И. Г., Ведясова О. А., Беляева О. В., Павленко С. И.

*Самарский национальный исследовательский университет имени академика С. П. Королева,
Самара, Россия
E-mail: igkretova@gmail.com*

Изучены половозрастные особенности частоты пульса (ЧП), артериального давления (АД), систолического (СОК) и минутного объемов крови (МОК), реакции системы кровообращения (РССС) на физическую нагрузку, времени задержки дыхания на вдохе (ВЗД) и адаптационного потенциала (АП) у студентов в возрасте от 16 до 20 лет. Показано, что ЧП у юношей и девушек существенно не различалась, тогда как уровень АД во всех возрастных группах был выше у юношей. СОК и МОК имели более высокие значения у девушек, у каждой пятой студентки отмечалось низкое ВЗД. У большинства студентов выявлены неудовлетворительные показатели РССС на физическую нагрузку, у студентов старшего возраста отмечены повышенные значения АП. Полученные результаты свидетельствуют о неблагоприятной тенденции напряжения функционального состояния сердечно-сосудистой системы обследованных студентов, что указывает на необходимость динамического контроля параметров кровообращения у молодых людей в период обучения в вузе.

Ключевые слова: сердечно-сосудистая система, функциональное состояние, адаптационный потенциал системы кровообращения, студенты.

ВВЕДЕНИЕ

Одной из наиболее актуальных проблем современной физиологии человека и медицины во всем мире остаются болезни сердечно-сосудистой системы, заболеваемость и смертность от которых, в первую очередь от ишемической болезни сердца и артериальной гипертензии, особенно среди лиц трудоспособного возраста, занимают лидирующие позиции [1, 2]. К сожалению, кардиоваскулярные болезни помолодели [3–5]. Согласно некоторым исследованиям, первые морфологические признаки атеросклероза (мышечно-эластические утолщения интимы артерий) обнаруживаются уже у новорожденных, признаки 1 стадии атеросклеротического процесса – у детей с 3 до 5 лет независимо от пола и условий жизни [6]. К 10 годам липидные пятна занимают около 10 % поверхности аорты, к 25 годам – 30–50 %, что может привести к раннему развитию таких осложнений атеросклеротического поражения сосудов, как инсульты и инфаркт миокарда [6, 7].

В научной литературе представлено большое количество работ, посвященных изучению функционального состояния сердечно-сосудистой системы у детей и подростков. Студенческая молодежь как особая социально-демографическая группа, находящаяся в периоде завершения морфофункционального созревания

организма, вовлеченная в интенсивную умственную работу и имеющая при этом большое количество факторов риска здоровья и низкую информированность о них, в значительной степени исключена из систематического глубокого медико-биологического обследования [8]. Однако известно, что процесс адаптации молодых людей в период обучения в вузе сопровождается напряжением всех систем организма и требует особого внимания [2, 8]. У студентов выявляются доклиническое, но достаточно выраженное, поражение атеросклеротическим процессом стенки аорты [2], нарушения липидного обмена [8], у 30 % обучающихся медицинских вузов отмечается артериальная гипертензия [9]. Согласно российским национальным рекомендациям, с учетом очень высокого риска развития патологий сердца и сосудов у молодых лиц, кардиоваскулярную профилактику следует начинать уже по достижении ими 18-летнего возраста [10], который совпадает с началом обучения в вузе и резким увеличением частоты возникновения стрессовых ситуаций. Для сохранения оптимального функционального состояния организма студентов несомненное значение имеют профилактические мероприятия, основанные на результатах мониторинга параметров деятельности сердечно-сосудистой системы [2, 9, 11].

Цель исследования – изучение параметров гемодинамики и адаптационного потенциала сердечно-сосудистой системы у юношей и девушек, обучающихся в Самарском университете.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Проведена оценка функционального состояния сердечно-сосудистой системы 164 юношей и 844 девушек в возрасте от 16 до 20 лет, обучающихся в Самарском национальном исследовательском университете имени академика С.П. Королева. Все испытуемые были разделены на 5 возрастных групп (16, 17, 18, 19 и 20 лет), в каждой из которых сопоставляли регистрируемые физиологические показатели у юношей и девушек. Они не занимались профессиональным спортом, не имели хронических заболеваний сердечно-сосудистой, дыхательной и пищеварительной систем, не страдали сахарным диабетом и другими нарушениями обменных процессов, что выявлялось на основе устного опроса. Работа выполнена в соответствии с принципами биомедицинской этики, изложенными в Хельсинкской декларации, и одобрена комиссией по биоэтике Самарского университета (протокол № 3 от 25. 12. 2023).

Состояние сердечно-сосудистой системы определяли по частоте пульса (ЧП, уд/мин), уровню артериального давления (АД, мм рт. ст.), в том числе систолического (САД), диастолического (ДАД) и пульсового (ПАД) в покое с помощью автоматического тонометра SE-4400 (Корея). Для характеристики гемодинамики рассчитывали систолический объем крови (СОК, мл) по формуле Старра и минутный объем крови (МОК, мл/мин). Степень адаптации системы кровообращения оценивали по адаптационному потенциалу (АП, усл. ед.), предложенному Р. М. Баевским и А. П. Берсеновой [12]. Кроме того, определяли время задержки дыхания на вдохе (ВЗД, с) в пробе Штанге [13] и реакцию сердечно-сосудистой системы на наклоны туловища (РССС, усл. ед.) в бельгийском

тесте [14]. Измерения показателей у испытуемых проводились в первой половине дня через 2 часа после завтрака.

Для статистической обработки полученных результатов использовали пакеты программ Statistica 6.1. Оценку выборок на нормальность распределения проводили по Колмогорову-Смирнову. Все данные в статье представлены как среднее значение $\pm$ стандартная ошибка среднего. Для определения значимости различий анализируемых параметров между юношами и девушками разных возрастных групп использовали t-тест Стьюдента. Корреляционный анализ проводили путем расчета коэффициента корреляции r по Спирмену. Различия считали статистически значимыми при $p < 0,05$.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Результаты проведенного исследования показали, что практически во всех возрастных группах средние значения ЧП у девушек и юношей существенно не различались, за исключением группы 18-летних студентов, где средняя ЧП у девушек была выше (на 10,3 %, $p < 0,05$), чем у молодых людей (табл. 1). Анализ ЧП у студентов разного пола без учета возраста показал, что склонность к брадикардии встречалась одинаково часто как у юношей (6,6 %), так и у девушек (6,3 %), в то время как тахикардия у юношей обнаруживалась несколько реже, чем у девушек (25,8 % и 30,3 % соответственно).

В работе выявлены более высокие значения АД у юношей по сравнению с женским контингентом во всех возрастных группах, что может быть связано с более высокой распространенностью социальных факторов риска гипертонии у молодых мужчин. Показатели САД в пределах возрастной нормы обнаружены у 85,1 % юношей и 83,3 % девушек, а соответствующий возрасту уровень ДАД наблюдался только у 61,1 % студентов и 76,6 % студенток ($p < 0,001$). Склонность к понижению САД отмечена у 2,4 % юношей и 13,5 % девушек ($p < 0,001$), повышенные значения САД, наоборот, чаще встречались у юношей, чем у девушек (12,6 % и 3,4 %, $p < 0,001$). У значительного числа студентов каждой гендерной группы выявлено увеличение ДАД (38,9 % юношей и 23,6 % девушек, $p < 0,001$).

Как известно, прогностическим показателем риска развития заболеваний сердечно-сосудистой системы является ПАД, нормальными значениями которого считается уровень от 35 до 55 мм рт. ст. [15, 16]. В нашем исследовании такие значения наблюдались у большинства студентов. В единичных случаях в группе 16-летних девушек и 18-летних юношей уровень ПАД достигал 60 мм рт. ст. В целом же анализ пульсового давления показал, что в 16, 17, 18 и 19 лет у обследованных юношей и девушек значения ПАД практически одинаковы, тогда как в 20-летнем возрасте средний уровень ПАД у юношей был выше, чем у девушек (табл. 1).

Важнейшими гемодинамическими показателями, отражающими сократительную функцию миокарда, служат значения СОК и МОК. Исследование систолической функции желудочков сердца выявило более высокие значения СОК у девушек практически во всех возрастных группах, однако только у 19-летних студентов гендерные различия данного показателя были достоверными (табл. 1). Более высокие показатели МОК также отмечены у девушек, что отчасти может быть

связано с наличием у многих из них склонности к тахикардии. Разница в уровне МОК у девушек и юношей варьировала от 2,3 % в 16-летнем возрасте до 11,4% в 19 лет. Средние величины СОК и МОК у обследованных студентов сопоставимы с данными, полученными в других регионах России [17, 18].

Таблица 1
Показатели состояния сердечно-сосудистой системы у студентов в зависимости от возраста и пола

Пара метр	Возраст в годах									
	16		17		18		19		20	
	Ю (12)	Д (69)	Ю (94)	Д (519)	Ю (17)	Д (110)	Ю (11)	Д (23)	Ю (30)	Д (123)
ЧП, уд/мин	73,3 ±3,5	72,7 ±1,4	73,4 ±1,0	74,0 ±0,4	66,1 ±2,4	72,9 ±1,0 **	77,1 ±3,3	77,3 ±2,1	73,6 ±1,7	74,5 ±0,9
САД, мм рт.ст.	117,0 ±2,3	111,3 ±1,2 **	114,3 ±1,2	108,5 ±0,4 ***	116,5 ±2,4	106,5 ±1,0 ***	115,4 ±3,9	107,8 ±1,9 *	118,0 ±2,2	108,4 ±0,9 ***
ДАД, мм рт.ст.	75,5 ±1,3	70,3 ±1,2 *	72,5 ±0,9	68,6 ±0,4 ***	73,5 ±2,8	68,6 ±0,8 *	77,2 ±2,3	67,8 ±1,6 **	73,5 ±1,5	68,4 ±0,7 **
ПАД, мм рт.ст.	41,2 ±2,9	40,9 ±1,3	41,7 ±1,2	39,9 ±0,4	43,0 ±3,1	37,7 ±1,0	38,1 ±3,5	40,0 ±1,5	44,5 ±1,8	40,0 ±0,8 *
СОК, мл	65,7 ±2,0	68,6 ±1,2	67,3 ±1,0	68,6 ±0,4	67,9 ±3,1	66,8 ±0,8	61,3 ±2,4	67,8 ±1,4 *	66,1 ±1,3	67,1 ±0,7
МОК, мл/мин	4858 ±341	4971 ±127	4942 ±100	5070 ±43	4563 ±247	4867 ±90	4679 ±161	5276 ±205 *	4867 ±151	4998 ±77

Примечание: Ю – юноши; Д – девушки (в скобках указано количество студентов); *($p<0,05$), **($p<0,01$), ***($p<0,001$) – статистически значимые различия между юношами и девушками одного возраста.

При измерении ВЗД на вдохе (проба Штанге) выявлено, что у девушек во всех обследованных возрастных группах этот показатель достоверно ниже, чем у юношей (табл. 2), что, по-видимому, связано с анатомо-физиологическими особенностями мужчин и большей их физической тренированностью. Неудовлетворительные результаты по ВЗД (менее 39 с) были отмечены у 4,8 % юношей и 21,9 % девушек. Особенно низкие показатели выявлены у 16–18-летних девушек: каждая десятая в этих группах задерживала дыхание на вдохе менее 30 с. Удовлетворительные показатели ВЗД (40–49 с) наблюдались у 10,8 % юношей и 30,2 % девушек ($p<0,001$) указанного возраста. Хороший результат (ВЗД более 50 с)

независимо от возраста продемонстрировали подавляющее большинство юношей (84,4 %) и только половина (52,1 %) девушек, причем преимущественно в возрасте 20 лет. В целом, максимальное ВЗД при проведении пробы Штанге в разные возрастные периоды у представителей мужского пола отмечалось в 1,2–1,6 раза чаще, чем у девушек.

Исследование РССС на наклоны туловища (бельгийский тест) выявило, что у большинства студентов этот показатель составляет 0,9–1,2 усл. ед., что соответствует представлениям о неудовлетворительном состоянии сердечной мышцы [14]. Только у 10 % 16- и 18-летних юношей и девушек РССС имеет значения менее 0,3 усл. ед., что соответствует оценке «отличное состояние сердца». Средние значения РССС у обследованных групп студентов представлены в табл. 2.

Что касается адаптационного потенциала, то его средние значения у большинства студентов обоего пола в разные возрастные периоды укладывались в границы «удовлетворительной адаптации», отражая в целом достаточные функциональные возможности системы кровообращения (табл. 2). Однако следует отметить, что по мере взросления наблюдалась неблагоприятная динамика АП. Так, у юношей в 16 лет значения АП находились в пределах 1,6–2,1 усл. ед., а в 20 лет варьировали в интервале 1,8–2,6 усл. ед. Такие значения АП могут свидетельствовать о напряженном состоянии механизмов адаптации системы кровообращения у молодых мужчин на старших курсах обучения. У девушек средние значения АП в основном были ниже, возрастная динамика АП была не столь выражена. Так, разброс данного показателя в 16 лет составлял 1,5–2,2 усл. ед. и практически столько же в 20 лет (1,5–2,3 усл. ед.).

Таблица 2
Показатели адаптационных возможностей сердечно-сосудистой системы у студентов в зависимости от возраста и пола

Пара метр	Возраст в годах									
	16		17		18		19		20	
	Ю (12)	Д (69)	Ю (94)	Д (519)	Ю (17)	Д (110)	Ю (11)	Д (23)	Ю (30)	Д (123)
ВЗД, с	61,4 ±3,3	46,8 ±1,8 ***	63,4 ±1,9	49,4 ±0,6 ***	62,0 ±3,5	48,7 ±1,4 **	71,1 ±7,0	49,5 ±3,8 *	66,5 ±4,2	52,1 ±1,3 ***
РССС, усл. ед.	1,1 ±0,2	1,0 ±0,1	0,8 ±0,1	0,9 ±0,1	0,7 ±0,1	0,9 ±0,1	1,2 ±0,2	0,8 ±0,1	1,0 ±0,1	1,0 ±0,1
АП, усл. ед.	2,0 ±0,1	1,8 ±0,1 *	2,1 ±0,1	1,7 ±0,1 ***	2,1 ±0,1	1,8 ±0,0 *	2,2 ±0,1	1,9 ±0,2	2,4 ±0,1	2,0 ±0,1 *

Примечание: Ю – юноши; Д – девушки (в скобках указано количество студентов); *($p < 0,05$), **($p < 0,01$), ***($p < 0,001$) – статистически значимые различия между юношами и девушками одного возраста.

Зависимость изученных параметров кровообращения и коэффициентов, отражающих адаптационные возможности организма студентов, от их возраста подтверждается результатами корреляционного анализа. Так, у юношей выявлена положительная корреляционная связь возраста с ВЗД на вдохе ($r=0,17$; $p<0,002$), с РССС на нагрузку ($r=0,11$; $p<0,05$), с САД ($r=0,12$; $p<0,05$), ДАД ($r=0,15$; $p<0,001$) и АП ($r=0,18$; $p<0,001$); отрицательная корреляция установлена между возрастом и СОК ($r=-0,11$; $p<0,001$). У девушек отмечены положительные корреляционные связи возраста с ВЗД в пробе Штанге ($r=0,088$; $p<0,01$) и АП ($r=0,087$; $p<0,01$), отрицательная корреляция выявлена между возрастом и СОК ($r=-0,195$; $p<0,001$) и МОК ($r=-0,065$; $p<0,05$).

Из полученных результатов следует, что параметры кровообращения у студентов зависят от их функционального состояния, возраста и пола. Так, показано, что средние значения ЧП находились в пределах возрастной нормы, при этом существенных различий между юношами и девушками обнаружено не было, хотя склонность к учащенному сердцебиению чаще выявлялась в группе девушек. В частности, тахикардия встречалась практически у каждой третьей девушки и каждого четвертого юноши. Эти различия, скорее всего, связаны с гендерными особенностями вегетативной регуляции сердца, доминированием адренергических влияний на кардиоритм у женщин [12, 19]. Анализ гемодинамики позволяет говорить о тенденции роста у лиц юношеского возраста уровней кровяного давления, при этом повышенные цифры САД и ДАД мы регистрировали в 3,7 и в 1,6 раза соответственно чаще у юношей, чем у девушек. Полученные данные могут свидетельствовать об увеличении периферического сопротивления сосудов току крови, что опасно в плане ухудшения кровоснабжения различных тканей и, в первую очередь, миокарда [20]. Известно, что повышение артериального давления, даже в пределах нормальных значений, является одним из факторов риска сердечно-сосудистых заболеваний [21]. Поскольку артериальную гипертензию следует корректировать уже на ранних стадиях, то требуется систематический контроль уровня САД и ДАД у молодых людей, что будет способствовать снижению вероятности прогрессирования заболевания.

Наши результаты соответствуют данным, полученным другими авторами. Так, в сравнительном исследовании, проведенном в ряде российских городов, выявлены повышенные средние значения САД у студентов из Архангельска, Саранска, Самары [22]. Среди первокурсников Ставропольского государственного медицинского университета артериальная гипертензия (прегипертензия) регистрировалась у каждого шестого-седьмого студента, причем повышенные значения АД в четыре раза чаще наблюдались среди юношей [23]. Повышение уровня АД в анамнезе отмечается у 30 % студентов медицинских вузов [9], при этом рост заболеваемости студентов гипертонической болезнью увеличивается по мере обучения в вузе с первого по шестой курс [2]. Однако в литературе имеется и противоположное мнение. Например, в работе В. А. Анзорова и С. В. Морякиной [24] выявлена тенденция к снижению величин САД и ДАД у студенток Чеченского государственного университета по мере их взросления (с 1 по 4 курс).

Что касается оценки резервных возможностей организма, то одной из наиболее показательных функциональных проб, используемых с этой целью, является проба Штанге. Данная проба позволяет по ВЗД определять устойчивость организма к смешанной гипоксии и гиперкапнии, а также общий уровень тренированности человека. Чем продолжительнее ВЗД, тем выше устойчивость кардио-респираторной системы организма к гипоксическому состоянию. Результаты изучения ВЗД при вдохе показали, что у большинства студентов Самарского университета данный показатель превышает 40 с и укладывается в границы физиологической нормы для взрослых людей (40–50 с). Вместе с тем, обращает внимание, что у определенной части испытуемых ВЗД находится на неудовлетворительном уровне, что в первую очередь относится к девушкам (21,93 % студенток) и позволяет констатировать низкий уровень резервного потенциала организма представительниц женского контингента, обучающихся в вузе. Одной из причин сниженного уровня адаптационных возможностей девушек является то, что они гораздо реже, чем юноши, посещают фитнес-клубы, спортивные секции, занимаются спортивной ходьбой или бегом [25], что может вызывать детренированность и снижение устойчивости организма к гипоксии.

О низком уровне тренированности сердечно-сосудистой системы у испытуемых свидетельствуют и результаты бельгийского теста, согласно которым небольшая физическая нагрузка (20 наклонов туловища) у большинства студентов сопровождалась выраженной тахикардией. Такая реакция характерна для лиц с недостаточной физической активностью. В отличие от этого, у тренированных людей интенсивность и длительность изменений пульса в данном тесте меньше, поскольку систематические тренировки способствуют улучшению коронарного и периферического кровообращения, повышают физическую работоспособность и резервные возможности организма. Чем более тренированы сердце и сосуды, тем меньше интенсивность и продолжительность изменений пульса, что позволяет рекомендовать бельгийский тест к использованию для ранней диагностики сердечной недостаточности [26].

Интегральными показателями, характеризующими состояние системы кровообращения, являются СОК и МОК [17]. В нашем исследовании средние показатели СОК не превышали референсных значений, как у юношей, так и у девушек. Однако практически во всех обследованных возрастных группах, за исключением 18-летних студентов, показатель СОК был выше у девушек. Что касается МОК, то выявлены гендерные различия во всех возрастных группах, то есть его величина всегда была выше у представительниц женского пола.

У большинства обследованных нами студентов функциональные резервы организма, обеспечивающие его адаптацию в условиях учебного процесса, находятся на удовлетворительном уровне. Об этом свидетельствуют показатели АП, которые практически во всех возрастных группах у юношей и девушек не превышали или были чуть больше двух условных единиц. Полученные данные несколько отличаются от результатов обследования студентов других вузов, где у значительного количества обучающихся (45,3 %) выявляется неудовлетворительный уровень адаптационных возможностей [27].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Результаты проведенного исследования свидетельствуют об определенных сдвигах функционального состояния кардиоваскулярной системы у студентов в процессе обучения. Значительный риск в отношении здоровья представляют выявленные у юношей и девушек нарушения сердечного ритма (тахикардия), увеличение артериального давления крови (прегипертензия/гипертензия), тенденция снижения резервных возможностей системы кровообращения. В то же время, очевидно, что для поддержания оптимальных параметров функционального состояния организма, способности противостоять воздействиям различных факторов, в том числе интенсивным информационным и психоэмоциональным нагрузкам, сопровождающим вузовское обучение, требуется наличие значительного объема физиологических резервов. С целью восстановления и сохранения резервных возможностей, ограничения и устранения неблагоприятных изменений в уровне соматического здоровья студентов, необходимы динамическое наблюдение за показателями сердечно-сосудистой системы и коррекция выявляемых нарушений, проведение профилактических мероприятий, воспитание у молодежи здорового образа жизни.

Список литературы

1. Шляхто Е. В. Система управления сердечно-сосудистыми рисками: предпосылки к созданию, принципы организации, таргетные группы / Е. В. Шляхто, Н. Э. Звартау, С. В. Виллевалде [и др.] // Российский кардиологический журнал. – 2019. – № 11. – С. 69–82. DOI:10.15829/1560-4071-2019-11-69-82.
2. Евсеева М. Е. Проспективный анализ основных факторов риска и сосудистого статуса у студентов за время обучения в медицинском ВУЗе / М. Е. Евсеева, М. В. Ерёмин, О. В. Сергеева [и др.] // Российский кардиологический журнал. – 2023. – Т. 28, № 2. – С. 20–26. DOI:10.15829/1560-4071-2023-5143.
3. Nilsson P. Early vascular ageing – a concept in development / P. Nilsson // Eur. Endocrinology. – 2015. – V. 11, No 1. – P. 26–31. DOI:10.17925/EE.2015.11.01.26.
4. Pälve K. S. Association of physical activity in childhood and early adulthood with carotid artery elasticity 21 years later: the cardiovascular risk in Young Finns Study / K. S. Pälve, K. Pahlkala, C. G. Magnusson [et al.] // J. Am. Heart Assoc. – 2014. – V. 3, No 2. – P. 000594. doi:10.1161/JAHA.113.000594.
5. Андреев Е. Ю. Ишемическая болезнь сердца у лиц молодого возраста: распространенность и сердечно-сосудистые факторы риска / Е. Ю. Андреев, И. С. Явлов, М. М. Лукьянов [и др.] // Кардиология. – 2018. – Т. 58, № 10. – С. 53–58. DOI: 10.18087/cardio.2018.10.10184.
6. Копылова О. В. Профилактика сердечно-сосудистых заболеваний на протяжении жизни. Часть II: детский и подростковый периоды / О. В. Копылова, А. И. Ершова, А. Н. Мешков [и др.] // Кардиоваскулярная терапия и профилактика. – 2021. – Т. 20, № 6. – С. 107–116. DOI:10.15829/1728-8800-2021-2896.
7. Стражеско И. Д. Взаимосвязь между различными структурно-функциональными характеристиками состояния артериальной стенки и традиционными факторами кардиоваскулярного риска у здоровых людей разного возраста. Часть 2 / И. Д. Стражеско, О. Н. Ткачева, Д. У. Акашева [и др.] // Рациональная фармакотерапия в кардиологии. – 2016. – Т. 12, № 3. – С. 244–252. DOI:10.20996/1819-6446-2016-12-3-244-252.
8. Фоменко С. Е. Метаболические изменения в организме студентов под действием учебной нагрузки, профилактика нарушений / С. Е. Фоменко, Н. Ф. Кушнерова, В. Г. Спрыгин // Физиология человека. – 2021. – Т. 47, № 6. – С. 56–64. DOI: 10.31857/S0131164621040032
9. Кочергина А. М. Факторы сердечно-сосудистого риска у студентов медицинских вузов России. Многоцентровое исследование / А. М. Кочергина, Д. Ю. Седых, О. А. Рубаненко [и др.] //

- Профилактическая медицина. – 2022. – Т. 25, № 9. – С. 70–76. <https://doi.org/10.17116/profmed20222509170>
10. Бойцов С. А. Кардиоваскулярная профилактика 2022. Российские национальные рекомендации / С. А. Бойцов, Н. В. Погосова, А. А. Аншелес [и др.] // Российский кардиологический журнал. – 2023. – Т. 28, № 5. – С. 119–249. <https://doi.org/10.15829/1560-4071-2023-5452>
11. Сетко Н. П. Гигиеническая оценка функциональных резервов и адаптационных возможностей студентов / Н. П. Сетко, Е. В. Булычева, Е. Б. Бейлина // Гигиена и санитария. – 2017. – Т. 96, № 2. – С. 166–170. <https://www.rjhas.ru/jour/article/view/763>
12. Баевский Р. М. Оценка адаптационных возможностей организма и риск развития заболеваний / Р. М. Баевский, А. П. Берсенева – М.: Медицина, 1997 – 236 с.
13. Лешко В. Н. Методы контроля за функциональным состоянием организма студента: методические рекомендации / В. Н. Лешко, Н. В. Карпеева – Рязань: РГУ, 2006. – 18 с.
14. Соколова В. С. Биоритмы и их влияние на эффективность тренировочного процесса и результаты соревнований спортсменов-биатлонистов / В. С. Соколова, П. А. Дворников // Современные проблемы науки и образования. – 2015. – № 4. <https://science-education.ru/ru/article/view?id=21251>
15. Davies J. I. Pulse wave analysis and pulse wave velocity: a critical review of their strengths and weaknesses / J. I. Davies, A. D. Struthers // J. Hypertens. – 2003. – V. 21, No 3. – P. 463–472.
16. Вахмистрова Т. К. Пульсовое давление у здоровых подростков / Т. К. Вахмистрова, О. А. Харченко, Т.Н. Балицкая [и др.] // Российский кардиологический журнал. – 2022. – Т. 27, S6. – С. 6–7.
17. Прокопьев Н. Я. Систолический (ударный) и минутный объем крови у студентов юношеского возраста г. Тюмени на начальном этапе обучения / Н. Я. Прокопьев, Е. А. Семизоров, Е. С. Гуртовой // Мир инноваций. – 2023. – Т. 3, № 26. – С. 50–55.
18. Частоедова И. А. Особенности показателей гемодинамики у студентов с разным порогом вкусовой чувствительности к поваренной соли и типом вегетативного тонуса: когортное наблюдательное исследование / И. А. Частоедова // Кубанский научный медицинский вестник. – 2023. – Т. 30, № 3. – С. 76–84. <https://doi.org/10.25207/1608-6228-2023-30-3-76-84>.
19. Шлык Н. И. Сердечный ритм и тип регуляции у детей, подростков и спортсменов / Н. И. Шлык. – Ижевск: Изд-во «Удмуртский университет», 2009. – 259 с.
20. Антонова А. А. Анализ состояния сердечно-сосудистой системы студентов / А. А. Антонова, Г. А. Яманова, Н. С. Сайпулаева [и др.] // Международный научно-исследовательский журнал. – 2022. – Т. 117, № 3. – С. 98–101. DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2022.117.3.016>.
21. Чулков В. С. Первичная профилактика сердечно-сосудистых заболеваний: акцент на коррекцию поведенческих факторов риска / В. С. Чулков, Е. С. Гаврилова, Вл. С. Чулков [и др.] // Российский кардиологический журнал. – 2021. – Т. 26, S3. – С. 67–72. DOI: 10.15829/1560-4071-2021- 4278.
22. Синева И. М. Сравнительный анализ уровня физического развития студентов разных городов России / И. М. Синева, М. А. Негашева, Ю. М. Попов // Вестник Московского университета. Серия ХХIII. Антропология. – 2017. – № 4. – С. 17–27. DOI: 10.32521/2074-8132.2017.4.017-027.
23. Евсеева М. Е. Факторы риска и сосудистое ремоделирование, как показатели кардиоваскулярного благополучия студентов. Результаты вузовской диспансеризации на базе центра студенческого здоровья СтГМУ / М. Е. Евсеева // Международный научно-исследовательский журнал. – 2015. – Т. 39, № 8, Часть 3. – С. 101–116.
24. Анзоров В. А. Кардиореспираторная система студентов при адаптации к учебе в вузе / В. А. Анзоров, С. В. Морякина // Кардиометрия. – 2021. – № 18. – С. 74–78. DOI: 10.18137/cardiometry.2021.18.8286.
25. Копейкина Е. Н. Двигательная активность студентов в современных условиях / Е. Н. Копейкина, В. Л. Кондаков, Л. Н. Волошина [и др.] // Физическая культура. Спорт. Туризм. Двигательная рекреация. – 2023. – Т. 8, № 3. – С. 106–112. DOI: 10.47475/2500-0365-2023-8-3-106-112. <http://library.csu.ru/rbooks2/view2?code=vch/sport/008/03/017>
26. Сережина Е. К. Эффективность пробы с наклоном корпуса вперед (bendingtest) и спектральной следящей эхокардиографии в диагностике сердечной недостаточности с сохранной фракцией выброса / Е. К.Сережина, А. Г. Обрезан // Кардиология: новости, мнения, обучение. – 2022. – Т. 10, № 1. – С. 22–28. DOI: <https://doi.org/10.33029/2309-1908-2022-10-1-22-28>

27. Павлова О. Н. Анализ адаптационного потенциала сердечно-сосудистой системы студентов, обучающихся на медицинских специальностях / О. Н. Павлова, Д. С. Громова, Е. В. Макарова-Горбачёва [и др.] // Вестник медицинского института «РЕАВИЗ». Реабилитация, Врачи, Здоровье. – 2023. – Т. 13, № 6. – С. 34–37. <https://doi.org/10.20340/vmi-rvz.2023.6.PHYS.3>.

ANALYSIS OF THE FUNCTIONAL STATE OF THE CARDIOVASCULAR SYSTEM OF MODERN STUDENTS

Kretova I. G., Vedyasova O. A., Belyaeva O. V., Pavlenko S. I.

Samara National Research University, Samara, Russia

E-mail: igkretova@gmail.com

Modern students are at high risk of developing cardiovascular diseases, which is largely due to psycho-emotional overload during their studies at university and low awareness in terms of maintaining health. In this regard, monitoring of blood circulation parameters is relevant, which is necessary to assess the level of adaptive capabilities of students' organisms.

The aim of the study is to examine the parameters of hemodynamics and the adaptive potential of the cardiovascular system in young men and women studying at Samara University.

Students of Samara University (164 boys and 844 girls, aged 16–20 years) were examined. The heart rate (HR), systolic blood pressure (SBP), diastolic blood pressure (DBP), and pulse pressure were studied at rest. The breath-holding time (BHT) was determined in the Stange test, and the cardiovascular response to trunk bends (CRB) was determined in the Belgian test. The systolic blood volume (SBV), minute blood volume (MBV), and adaptation potential (AP) were calculated.

It was found that the average values of the HR in girls and boys in all age groups did not differ significantly, with the exception of the group of 18-year-old students, where the HR in girls was higher. Higher values of SBP and DBP were found in young men compared to young women, who often had a tendency to decrease SBP. Higher values of SBV and MBV were noted in girls. The BHT during inspiration in most students was within the physiological norm, however, in 22 % of female students the BHT was unsatisfactory, which reflects their low level of resistance to hypoxia. The CRB indicator varied in the range of 0,9–1,2 conventional units, which is an unsatisfactory result and, in combination with increased AP values, indicates a tendency to activate the adaptive mechanisms of the circulatory system in students, especially in senior students.

The obtained data indicate certain shifts in the functional state of the cardiovascular system in students during the learning process. Significant health risks are posed by the heart rhythm disturbances (tachycardia) detected in young men and women, increased blood pressure (prehypertension/hypertension), and a tendency to reduce the reserve capacity of the circulatory system. At the same time, it is obvious that in order to maintain optimal parameters of the functional state of the organism, the ability to withstand the effects of various factors, including intense information and psycho-emotional stress that

accompany university education, a significant amount of physiological reserves is required. In aims to restore and maintain reserve capacity, limit and eliminate unfavorable changes in the level of somatic health of students, dynamic monitoring of cardiovascular system indicators and correction of detected disorders, implementation of preventive measures, and education of young people in a healthy lifestyle are necessary.

Keywords: cardiovascular system, functional state, adaptive potential of the circulatory system, students.

References

1. Shlyakhto E. V., Zvartau N. E., Villevalde S. V., Yakovlev A. N., Soloveva A. E., Alieva A. S., Avdonina N. G., Medvedeva E. A., Fedorenko A. A., Kulakov V. V., Karlina V. A., Endubaeva G. V., Zaitsev V. V., Soloviev A. E. Cardiovascular risk management system: prerequisites for developing, organization principles, target groups. *Russian Journal of Cardiology*, **24**, **11**, 69 (2019). DOI:10.15829/1560-4071-2019-11-69-82
2. Evseev M. E., Eremin M. V., Sergeeva O. V., Simkhes E. V., Barabash I. V., Kudryavtseva V. D., Kruchkov M. C. Prospective analysis of the major risk factors and vascular status in students during the period of education at a medical university. *Russian Journal of Cardiology*, **28**, **2**, 20 (2023). doi:10.15829/1560-4071-2023-5143.
3. Nilsson P. Early vascular ageing – a concept in development. *Eur. Endocrinology*, **11**, **1**, 26 (2015). DOI:10.17925/EE.2015.11.01.26.
4. Pälve K. S., Pahkala K., Magnussen C. G., Koivisto T., Juonala M., Kähönen M., Lehtimäki T., Rönnemaa T., Viikari J. S. A., Raitakari O. T. Association of physical activity in childhood and early adulthood with carotid artery elasticity 21 years later: the cardiovascular risk in Young Finns Study. *J. Am. Heart Assoc.*, **3**, **2**, 000594 (2014). DOI:10.1161/JAHA.113.000594.
5. Andreenko E. Yu., Yavelov I. S., Loukianov M. M., Vernohaeva A. N., Drapkina O. M., Boytsov S. A. Ischemic Heart Disease in Subjects of Young Age: Current State of the Problem: Prevalence and Cardiovascular Risk Factors. *Kardiologiia*, **58**, **10**, 53 (2018). DOI: 10.18087/cardio.2018.10.10184
6. Kopylova O. V., Ershova A. I., Meshkov A. N., Kontsevaya A. V., Drapkina O. M. Life-long prevention of cardiovascular disease. Part II: childhood and adolescence. *Cardiovascular Therapy and Prevention*, **20**, **6**, 107 (2021). DOI:10.15829/1728-88002021-2896
7. Strazhesko I. D., Tkacheva O. N., Akasheva D. U., Dudinskaya E. V., Agaltsov M. V., Kruglikova A. S., Brailova N. V., Pykhtina V. S., Plokhova E. V., Sharashkina N. V., Isaykina O. Yu., Vygodin V. A., Boytsov S. A. Correlations of different structural and functional characteristics of arterial wall with traditional cardiovascular risk factors in healthy people of different age. Part 2. *Rational Pharmacotherapy in Cardiology*, **12**, **3**, 244 (2016). DOI: http://dx.doi.org/10.20996/1819-6446-2016-12-3-244-252
8. Fomenko S. E., Kushnerova N. F., Sprygin V. G. Metabolic Changes in the Organism of Students under the Impact of the Study Load, Prevention of Disturbances. *Human Physiology*, **47**, **6**, 56 (2021). DOI: 10.31857/S0131164621040032)
9. Kochergina A. M., Sedykh D. Yu., Rubanenko O. A., Batluk T. I., Vishniak D. A., Efremova E. V., Tolmacheva A. A., Benimetskaya K. S. Cardiovascular risk factors in Russian medical students. A multicenter study. *The Russian Journal of Preventive medicine*, **25**, **9**, 70 (2022). <https://doi.org/10.17116/profmed20222509170>
10. Boytsov S. A., Pogossova N. V., Ansheles A. A., Badtieva V. A., Balakhonova T. V., Barbarash O. L., Vasyuk Yu. A., Gambaryan N. G., Gendlin G. E., Golitsyn S. P., Drapkina O. M., Drozdova L. Yu., Yezhov M. V., Ershova A. I., Zhirov I. V., Karpov Yu. A., Kobalava Zh. D., Kontsevaya A. V., Litvin A. Yu., Lukyanov M. M., Martsevich S. Yu., Matskeplishvili S. T., Metelskaya V. A., Meshkov A. N., Mishina I. E., Panchenko E. P., Popova A. B., Sergienko I. V., Smirnova M. D., Smirnova M. I., Sokolova O. Yu., Starodubova A. V., Sukhareva O. Yu., Ternovoy S. K., Tkacheva O. N., Shalnova S. A., Shestakova M. V. Cardiovascular prevention 2022. Russian national

- guidelines. *Russian Journal of Cardiology*, **28**, **5**, 119 (2023). <https://doi.org/10.15829/1560-4071-2023-5452>
11. Setko N. P., Bulycheva E. V., Beilina E. B. Hygienic estimation of functional reserves and adaptive capabilities of students. *Hygiene and Sanitation*, **96**, **2**, 166 (2017). DOI: <https://www.rjhas.ru/jour/article/view/763>
 12. Baevsky R. M., Berseneva A. P. *Assessment of the adaptive capabilities of the organism and the risk of developing diseases*, 236 p. (M.: Medicine; 1997).
 13. Leshko V. N., Karpeeva N. V. *Methods of monitoring the functional state of a student's body: methodological recommendations*, 18 p. (Ryazan: RGU, 2006).
 14. Sokolova V. S., Dvornikov P. A. Biorhythms and their influence on the effectiveness of the training process and the results of competitions of biathletes. *Modern problems of science and education*, **4** (2015) <https://science-education.ru/ru/article/view?id=21251>
 15. Davies J. I., Struthers A. D. Pulse wave analysis and pulse wave velocity: a critical review of their strengths and weaknesses. *J. Hypertens*, **21**, **3**, 463 (2003).
 16. Vakhmistrova T. K., Kharchenko O. A., Balitskaya T. N., Bondarenko E. A., Vakhmistrova A. V. Pulse pressure in healthy adolescents. *Russian Journal of Cardiology*, **27**, **S6**, 6 (2022).
 17. Prokopiev N. Ya., Semizorov E. A., Gurtovoy E. S. Systolic (shock) and minute blood volume in youth students in the city of Tyumen at the initial stage of learning. *World of innovation*, **3**, **26**, 50 (2023).
 18. Chastoyedova I. A. Hemodynamic Parameters in Students with Different Thresholds of Salt Sensitivity and Type of Autonomic Tone: An Observational Cohort Study. *Kuban Scientific Medical Bulletin*, **30**, **3**, 76 (2023). <https://doi.org/10.25207/1608-6228-2023-30-3-76-84>
 19. Shlyk N. I. *Heart rhythm and type of regulation in children, adolescents and athletes*, 259 p. (Izhevsk: Publishinghouse "Udmurt University", 2009).
 20. Antonova A. A., Yamanova G. A., Saipulaeva N. S., Saipulaeva L. S. Analysis of the state of the cardiovascular system of students. *International Research Journal*, **117**, **3**, 98 (2022). <https://doi.org/10.23670/IRJ.2022.117.3.016>
 21. Chulkov V. S., Gavrilova E. S., Chulkov V. I., Pankova E. D., Lenets E. A., Tkachenko P. E. Primary prevention of cardiovascular disease: focus on improving behavioral risk factors. *Russian Journal of Cardiology*, **26**, **S3**, 67 (2021). DOI:10.15829/1560-4071-2021-4278
 22. Sineva I. M., Negasheva M. A., Popov Yu. M. Comparative analysis of the level of physical development of students in different cities of Russia. *Bulletin of Moscow University. Series XXIII. Anthropology*, **4**, 17 (2017). DOI: 10.32521/2074-8132.2017.4.017-027
 23. Evsevieva M. E. Risk factors and vascular remodeling as indicators of cardiovascular well-being of students. Results of university medical examination at the Student Health Center of StSMU. *International Research Journal*, **39**, **8**, 101 (2015).
 24. Anzorov V., Moryakina S. Cardiorespiratory system in female students when adapting to university studies. *Cardiometry*, **18**, 74 (2021). DOI: 10.18137/cardiometry.2021.18.8286
 25. Kopeikina E. N., Kondakov V. L., Voloshina L. N., Bocharova V. I. Assessment of the volume of students' motor activity in modern conditions. *Physical Education. Sport. Tourism. Motor Recreation*, **8**, **3**, 106 (2023). DOI: 10.47475/2500-0365-2023-8-3-106-112
 26. Serezhina E. K., Obrezan A. G. Efficiency of bending test and spectral tracking echocardiography in diagnosis of heart failure with preserved ejection fraction. *Cardiology: News, Opinions, Training*, **10**, **1**, 22 (2022). DOI: <https://doi.org/10.33029/2309-1908-2022-10-1-22-28>
 27. Pavlova O. N., Gromova D. S., Makarova-Gorbacheva E. V., Budaev A. I., Khalitova Yu. A. Analysis of the adaptation potential of the cardiovascular system of students studying in medical specialties. *Bulletin of the Medical Institute "REAVIZ". Rehabilitation, Doctor and Health*, **13**, **6**, 34 (2023). <https://doi.org/10.20340/vmi-rvz.2023.6.PHYS.3>

УДК 631.461

DOI 10.29039/2413-1725-2025-11-1-53-66

ЗАПАСЫ УГЛЕРОДА В ПОЧВАХ И БИОМАССЕ ДРЕВОСТОЯ МОЛОДЫХ И СРЕДНЕВОЗРАСТНЫХ ЛЕСОВ ТАТАРСТАНА

**Кулагина В. И., Александрова А. Б., Рязанов С. С., Шагидуллин Р. Р.,
Гордеева К. А., Сунгатуллина Л. М., Рупова Э. Х.**

*Институт проблем экологии и недропользования АН РТ, Казань, Россия
E-mail: viksoil@mail.ru*

Определены запасы органического углерода в почвах, биомассе древостоя и других компонентах лесных экосистем на примере биотопов Республики Татарстан, расположенных на дерново-подзолистых почвах. Установлено, что запасы углерода в биомассе древостоя молодняков естественного происхождения составляют 8,5–50,8 т/га, искусственного 123,0 т/га, средневозрастных лесов 102,6–173,4 т/га. Доля биомассы древостоя от общих запасов экосистемы составляет от 20,4 % до 91,4 %. Запасы углерода в слое почв 0–30 см колеблются от 5,5 до 38,9 т/га, что составляет от 4,1 % до 73,7 % общих запасов. В березняке 10-летнего возраста соотношение запасов углерода в древостое и почве составляет 3:10, в березняке 25 летнего возраста оно изменяется на 11:2, в молодом сосняке естественного происхождения примерно 2:1, в искусственных посадках сосны того же возраста 22:1.

Ключевые слова: почва, древостой, запасы углерода, лесные экосистемы, компоненты биогеоценоза.

ВВЕДЕНИЕ

Повышение точности оценки объема поглощения парниковых газов лесными экосистемами остается актуальной проблемой, о чем свидетельствует содержание утвержденного 22 октября 2022 г. распоряжением правительства РФ инновационного проекта государственного значения «Единая национальная система мониторинга климатически активных веществ». Проект предусматривает достичь повышения точности оценки за счет уточнения качественных и количественных характеристик лесов и учета вклада почв. Уточнение об учете вклада почв не случайно. По сравнению с почвами сельскохозяйственных угодий почвы лесных экосистем изучены недостаточно. Не на все лесные участки имеются крупномасштабные почвенные карты, еще чаще отсутствуют аналитические данные [1–4]. О дефиците аналитических данных для лесных почв косвенно свидетельствует способ составления справочных данных по запасам углерода, приведенных в «Методических указаниях по количественному определению объема поглощения парниковых газов» [5]. Основой справочных данных послужила информация примерно по 1000 почвенным разрезам из 300 литературных источников [1, 2]. Прделана, безусловно, очень большая и полезная работа. Однако это говорит об отсутствии материалов систематического обследования почв лесных территорий, по крайней мере, на момент

составления справочных таблиц. Кроме того, тысяча разрезов на всю территорию Российской Федерации – это небольшое количество.

Справочные данные позволяют получить общее представление о запасах почвенного углерода на занятых лесом участках в пределах каждого из 12 выделенных на территории России макрорегионов, однако часто не совпадают с запасами углерода в почвах конкретного лесного массива [4, 6–8]. По результатам первого этапа Государственной инвентаризации лесов (ГИЛ), завершившегося в 2020 г., запас углерода в почвах также не рассчитывался [9]. Соответственно, информации о соотношении запасов углерода в почвах и фитомассе лесов также в настоящее время немного [10]. Выявление соотношения запасов углерода в почвах и биомассе древостоя молодняков и средневозрастных лесов позволит уточнить направление потоков углерода в лесных экосистемах в период развития, наиболее продуктивный для декарбонизации атмосферы.

В международных системах расчета основное внимание уделяется «управляемым лесам», однако секвестрация углерода весьма успешно осуществляется и естественными лесами, которые почему-то незаслуженно предлагают игнорировать при расчетах [11]. Пополнение базы данных по запасам углерода в почвах и других компонентах лесных экосистем необходимо для увеличения точности определения и позволит добиться признания на международном уровне реальной поглощающей способности российских лесов.

Цель данной работы определить запасы углерода в биомассе древостоя и в почвах молодых и средневозрастных лесов Республики Татарстан, их соотношение для лесов разного породного состава и происхождения.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Полевые исследования проводились весной и летом 2024 г. на 6 пробных площадках (рис. 1), занятых сосняками, березняками, осинником и дубняком в возрасте от 10 до 40 лет.

В Республике Татарстан по данным на 2023 г. осинники занимают 235,3 тыс. га или 20,4 % площади лесов РТ, березняки 203,7 тыс. га (17,6 %), сосняки 181,3 тыс. га или (15,7 %), дубняки 160,1 тыс. га (13,8 %) [12].

Пробные площадки закладывались на участках с лесами преобладающих пород. Более подробные сведения о пробных площадках представлены в табл.1.

Формула древостоев не приводится, так как леса во всех случаях представлены одной породой без примесей.

Леса трех пробных площадок появились путем зарастания залежей, одной – представляют собой искусственные посадки. Осинник и дубняк – древостой естественного происхождения, но не на залежи.

Размер пробных площадок колебался от 0,024 га до 0,259 га, определялся густотой древостоя и необходимостью охватить замерами количество деревьев, достаточное для репрезентативной выборки (120–200 штук).

На пробной площадке подсчитывалось количество деревьев, замерялся диаметр каждого дерева на высоте 130 см. Для тонкомеров ступени толщины составляли 1 см, для деревьев диаметром больше 8 см – 2 см. Объем древесины определялся по

объемным таблицам, в том числе по объемным таблицам тонкомеров. Обычно деревья менее 8 см диаметром относят не к древостою, а к подросту, но нас наиболее интересовали запасы углерода именно в молодых лесах, где такие деревья образуют первый ярус.

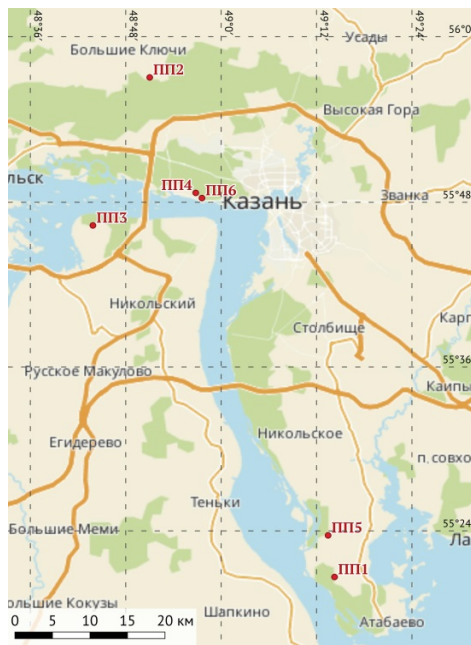


Рис. 1. Места расположения пробных площадок.

Таблица 1

Характеристика пробных площадок

№ пробной площадки	Место расположения	Преобладающая порода
ПП1	Охранная зона Саралинского участка Волжско-Камского заповедника, залежь	Сосна обыкновенная (<i>Pinus sylvestris</i>)
ПП2	Охранная зона Раифского участка Волжско-Камского заповедника, залежь	Береза повислая (<i>Betula pendula</i>)
ПП3	Севернее н.п. Иннополис, залежь	Береза повислая (<i>Betula pendula</i>)
ПП4	Близ ст. Новое Аракчино, искусственные посадки	Сосна обыкновенная (<i>Pinus sylvestris</i>)
ПП5	Охранная зона Саралинского участка Волжско-Камского заповедника, близ с. Тетеево	Осина (<i>Populus tremula</i>)
ПП6	Близ ст. Новое Аракчино	Дуб высокоствольный (<i>Quercus petraea</i>)

Запасы углерода в биомассе древостоя определялись по формуле:

$$C_{Pij} = V_{ij} \times K_{Pij}, \quad (1)$$

где C_{Pij} – запас углерода в биомассе древостоев группы возраста i преобладающей породы j , тонн С; V_{ij} – объемный запас стволовой древесины насаждений группы возраста i преобладающей породы j , м³/га; K_{Pij} – конверсионный коэффициент для расчета запаса углерода в биомассе древостоев группы возраста i преобладающей породы j , т/м³ [5].

Запас углерода в валеже и пнях рассчитывался по формуле:

$$C_v = V_v \times \rho_v \times 0,5, \quad (2)$$

где C_v – запас углерода в валеже, т/га; V_v – объем валежа (или пней), м³; ρ_v – плотность валежа, см³; 0,5 – коэффициент пересчета массы валежа на углерод.

Лесная подстилка отбиралась при помощи рамки. Расчет запасов углерода проводился умножением абсолютно сухого веса пробы на коэффициент 0,4.

На каждой из пробных площадок закладывали 1 глубокий почвенный разрез, 2 полуямы и 2 прикопки. Образцы отбирали по генетическим горизонтам. Содержание органического вещества определяли по методу И.В. Тюрина (ГОСТ 26213–91), объемный вес – методом режущего кольца (ГОСТ 5180–2015).

Запасы углерода подсчитывались для слоев 0–20 см, 0–30 см, 0–50 см, 1 м. Запасы углерода для слоя 0–20 см приводятся во многих работах, так как этот слой примерно соответствует мощности пахотного горизонта, кроме того, в дерново-подзолистых, светло-серых и серых лесных почвах гумусовый горизонт помещается в пределах данного слоя [10, 13]. Слой 0–30 см рекомендован ФАО ООН для учета запасов органического углерода в почвах мира [13, 14], этот же слой рекомендован «Методическими указаниями по количественному определению объема поглощения парниковых газов» (2017). Слой 0–50 см – обычно применяется для определения динамики запасов углерода при смене вида землепользования [13]. Считается, что в метровой толще для большинства почв нечерноземной зоны сосредоточен практически весь запас органического углерода.

Запасы углерода в отдельных горизонтах рассчитывались по формуле:

$$C = \text{OrgV} \times h \times V_{\text{вес}} \times 0,58, \quad (3)$$

где C – запасы углерода, т/га; OrgV – содержание органического вещества, %; h – мощность горизонта, см; $V_{\text{вес}}$ – объемный вес, г/см³; 0,58 – коэффициент пересчета органического вещества на углерод.

Далее запасы в отдельных горизонтах суммировались для получения запасов в расчетном слое. Лесная подстилка при расчете мощности слоев не учитывалась.

За общие запасы углерода экосистемы условно принималась сумма запасов углерода в биомассе древостоя, запасов углерода мертвой древесины (сухостой+валеж), почвы и подстилки.

Оценка статистической значимости разницы проводилась с использованием различных непараметрических и параметрических критериев и способов обработки данных.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Запасы углерода в биомассе древостоя

Минимальные запасы углерода в биомассе древостоя отмечены в березняке пробной площадки №2 (ПП2), самосевом занявшем залежь в охранной зоне Раифского участка Волжско-Камского государственного природного биосферного заповедника (табл. 2). Средний возраст деревьев – менее 10 лет. Согласно таблице временных интервалов возрастных групп насаждений [5] относится к молоднякам I класса возраста. Все деревья имеют диаметр от 1 до 5 см, при этом преобладают экземпляры диаметром 1–2 см – 71 % от общего количества. Благодаря этому, несмотря на значительную густоту леса, объем древесины и запасы углерода в биомассе древостоя невелики (табл. 2). На момент обследования сухостой и валеж в этом лесу отсутствовал.

Таблица 2

Густота древостоя и запасы углерода в биомассе древостоя и мертвой древесине

№ пробной площадки	Преобладающая порода, возраст	Густота древостоя, штук/га	Запасы углерода, т/га		
			в биомассе древостоя	в сухостое	в валеже
ПП1	Сосняк, молодняк II класса возраста	513	50,8	0	0
ПП2	Березняк, молодняк I класса возраста	13136	8,5	0	0
ПП3	Березняк средневозрастной	1764	173,4	0	0
ПП4	Сосняк, молодняк II класса возраста	2279	123,0	0,05	0
ПП5	Осинник, молодняк II класса возраста	4917	45,7	2,43	0,05
ПП6	Дубняк средневозрастной	273	102,6	6,97	0,42

Максимальные запасы углерода в биомассе древостоя обнаружены в березняке близ н.п. Иннополис (ПП3). Средний возраст деревьев около 25 лет. Временные интервалы возрастных групп березняков короткие, для молодняков I и II классов возраста – по 10 лет, продолжительность периода среднего возраста – 30 лет [5]. Таким образом, березняк на залежи в районе н.п. Иннополис (ПП3) относится к средневозрастным. Запасы углерода в биомассе древостоя в 20,5 раз больше, чем в молодняке I класса возраста (табл. 2). Проведенные исследования позволили подтвердить сведения о том, что наиболее значительный прирост биомассы, а, следовательно, и секвестрация углекислого газа, происходит в молодняках и средневозрастных лесах [15]. Густота древостоя в березняке средневозрастном на порядок ниже, чем в молодняке, но средний диаметр деревьев составляет 11 см.

Сухостой и валеж в пределах пробной площадки не обнаружены.

Количество деревьев на единицу площади в 10-летнем березняке согласуется с приводимыми в литературе данными – интервалу от 8000 до 18000 штук/га [16]. При такой густоте со временем количество деревьев на единицу площади уменьшится за счет внутривидовой конкуренции. В случае управляемых лесов рекомендуется прореживание при помощи рубок ухода. Плотность средневозрастного березняка соответствует оптимуму для данной древесной породы, то есть укладывается в интервал от 1600 до 2500 деревьев на гектар [17].

Продолжительность жизни сосны обыкновенной больше, чем березы повислой. Соответственно, временные интервалы возрастных групп продолжительнее и составляют для каждого класса молодняков сосны по 20 лет [5]. Исследованные сосняки относились к одной группе – молодняки II класса возраста (табл.2), однако имели разное происхождение. Сосняк в охранной зоне заповедника (ПП1) – результат зарастания залежи. Средний возраст деревьев 25–30 лет. Сосняк близ станции Новое Аракчино (ПП4) представлял собой искусственные посадки возрастом около 25 лет. Густота древостоя в искусственных посадках в 4 раза, а запасы углерода в биомассе древостоя в 2,5 раза выше, чем в лесу естественного происхождения (табл. 2). То есть проведенные исследования подтверждают сведения о том, что биомасса древесины, так называемых, управляемых лесов выше, чем естественных [11, 18]. По крайней мере, это утверждение верно для молодняков II класса возраста. Однако в искусственных посадках, в отличие от биоценоза естественного происхождения, обнаружен сухостой. Причиной, по-видимому, является недостаток света для отдельных деревьев и более жесткая конкуренция в искусственных посадках.

Возраст осинника (ПП5) в охранной зоне Саралинского участка заповедника около 10–15 лет. Молодые деревья заняли неудобный для обработки склоновый участок. Средний диаметр деревьев – 5–6 см. Несмотря на густоту древостоя, запасы углерода в биомассе сравнительно невелики – занимают промежуточное положение между запасами березняка I возраста и естественного сосняка II возраста. При этом часть запасов углерода, поглощенного растениями, уже переместилась в состав сухостоя и валежа (табл. 2).

Дубняк средневозрастный близ станции Новое Аракчино интересен для исследования, так как представлен одной породой без примесей. Возраст 40–50 лет. К сожалению, подрост дуба обнаружено не было, а усыхающие и мертвые деревья имелись, как и значительное количество пней. Запасы углерода в биомассе древостоя в 1,7 раза ниже, чем у березняка средневозрастного. Это свидетельствует об угнетенном состоянии дубняка и согласуется с литературными данными о состоянии дубняков Татарстана [19]. Одной из причин угнетения и отсутствия подрост дуба, возможно, является периодическая рекреационная нагрузка. Другой причиной являются климатические условия, не очень благоприятные для дубовых лесов: низкие зимние температуры и засушливый летний период [19].

Запасы углерода в почвах

Проведенные исследования позволили установить, что почвы исследованных пробных площадок согласно «Классификации и диагностике почв СССР» (1977) относятся к дерново-подзолистым.

Содержание гумуса в гумусовом горизонте колеблется от 0,4 % в почве под сосняком пробной площадки №4 (ПП4) до 4,1 % под дубняком пробной площадки (ПП6).

Запасы углерода в почвах последовательно возрастали по мере увеличения расчетного слоя (рис. 2).

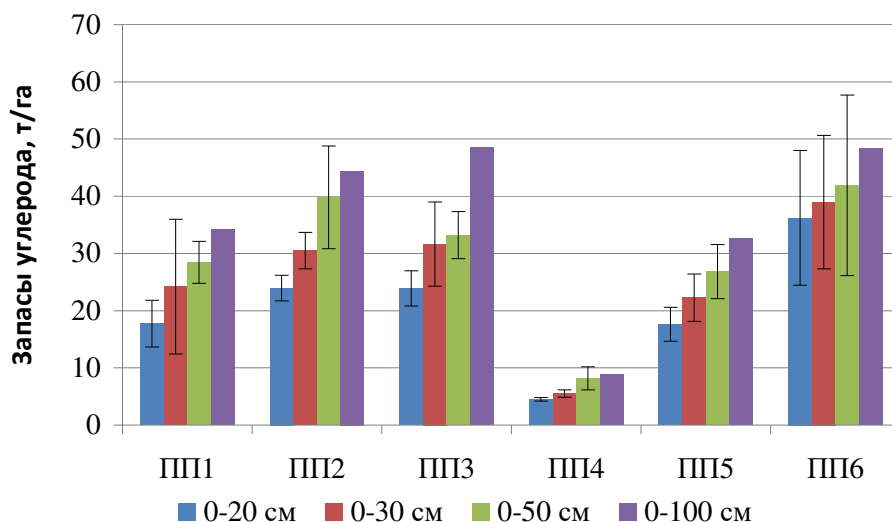


Рис. 2. Запасы органического углерода почв пробных площадок в различных расчетных слоях ($M \pm \sigma$). Условные обозначения см. в таблице 1.

Примерно половина запасов органического углерода исследованных почв сосредоточена в верхнем двадцатисантиметровом слое (табл. 3), что в целом характерно для дерново-подзолистых почв.

Таблица 3

Доля запасов органического углерода в разных слоях
от запаса в метровой толще, %

Площадка Глубина, см	ПП1	ПП2	ПП3	ПП4	ПП5	ПП6
0-20 см	51,9	54,0	49,3	51,2	54,2	74,9
0-30 см	71,0	68,7	65,3	62,9	68,3	80,7
0-50 см	83,4	89,7	68,5	92,9	82,4	86,7

Запасы углерода в слое почвы 0–30 см колеблются от 5,5 т/га до 39,0 т/га (рис. 2). При этом данные, представленные в таблице 3, показывают, что при расчете углерода на рекомендуемый 30-сантиметровый слой почвы остаются не учтенными 19–38 % запасов метровой толщи. Полученные результаты согласуются с обобщенными данными для почв Республики Татарстан [7].

Минимальные запасы углерода обнаружены в почвах под посадками сосны (молодняк II возраста) близ станции Новое Аракчино (ПП4), что, по-видимому, связано с тем, что почвы данной пробной площадки имеют наиболее легкий среди исследованных почв гранулометрический состав – песчаный. Гранулометрический состав остальных почв – от супеси до легкого суглинка.

Сравнение со справочными данными, приведенными в «Методических указаниях по количественному определению объема поглощения парниковых газов» (2017) позволило установить, что справочные данные завышены по сравнению с результатами реальных натурных исследований. Так, запасы углерода в почвах под сосняками, относящимися к молоднякам II класса возраста, согласно справочным данным должны составлять 71,5 т/га. Реальные запасы составили 5,5 и 24,2 т/га. Под березняками I класса возраста по справочным данным – 75,8 т/га, по реальным – 30,5 т/га, под осинником – 66,4 т/га и 22,3 т/га, под дубняком 49,0 т/га и 38,9 т/га соответственно. Зато полученные результаты хорошо согласуются с данными, полученными для дерново-подзолистых почв Раифского участка Волжско-Камского заповедника, расположенного на территории Республики Татарстан, где средние запасы углерода в почвах под сосняками составляли 20,3 т/га, под березняками 31,4 т/га [3].

Статистическая обработка результатов с применением Tukey HSD test показала значимую разницу по запасам углерода между почвами под сосняком искусственной посадки (ПП4) и почвами всех остальных исследованных пробных площадок в слоях 0–20 см, 0–30 см, 0–50 см.

Запасы углерода в почве дубняка (ПП6), наоборот, статистически значимо больше запасов в почвах осинника и обоих сосняков в слоях 0–20 см и 0–30 см. Для слоя 0–50 см статистически значимая разница наблюдалась только с почвой сосняка искусственной посадки.

Общие запасы углерода в экосистеме и доля основных компонентов

Проведенные исследования показали, что максимальные запасы углерода сосредоточены в экосистеме березняка средневозрастного (ПП3), минимальные – в березняке-молодняке I возраста (ПП2). Запасы этих двух лесных экосистем отличаются в 4 раза (табл. 4).

Таблица 4

Общие запасы органического углерода в экосистемах пробных площадок

Пробная площадка	ПП1	ПП2	ПП3	ПП4	ПП5	ПП6
Запасы, т/га	80,2	41,4	208,4	134,6	72,3	151,4

Общие запасы углерода в экосистеме сосняка искусственного происхождения (ПП4) в 1,7 раза выше, чем естественного сосняка того же возраста (ПП1).

Запасы в дубняке средневозрастном (ПП6) в 1,4 раза меньше, чем березняке средневозрастном (ПП3). Запасы углерода в экосистеме осинника (ПП5) занимают

промежуточное положение между запасами молодого березняка и сосняка естественного происхождения.

Обнаружена сильная прямая корреляционная зависимость между общими запасами углерода и запасами углерода в биомассе древостоя – коэффициент корреляции равен 0,98. При этом далеко не на всех учетных площадках на долю углерода в биомассе древостоя приходится большая часть запасов углерода экосистемы (рис. 3). Углерод биомассы древостоя составляет от 20,4 % до 91,4 % от общих запасов, доля почв (слой 0–30 см) – от 4,1 % до 73,7 %.



Рис. 3. Структура запасов органического углерода экосистемы, %.

Доля почв уменьшается с возрастом леса. В березняке 10-летнего возраста соотношение запасов углерода в древостое и почве составляет 3:10, в березняке 25-летнего возраста оно изменяется на 11:2 за счет прироста биомассы древостоя.

Полученные результаты согласуются с данными Е. Н. Наквасиной с соавторами для хронорядов залежей, зарастающих лесом, в Архангельской области [10]. При этом подтверждаются данные Д. Г. Замолотчикова с соавторами и том, что прирост запасов углерода в почве идет медленнее, чем в других пулах, и вклад почв в ежегодное поглощение углерода в среднем составляет не более 12 %, в то время как на долю пула фитомассы приходится 77 % [20].

В молодом сосняке естественного происхождения соотношение запасов углерода в системе биомасса древостоя : почва составляет примерно 2:1, в искусственных посадках сосны того же возраста 22:1 (рис.3). Такие отличия обусловлены не только разницей в запасах фитомассы (они отличаются всего в 2,5 раза), но и разницей в содержании углерода в почвах.

В молодом осиннике соотношение запасов углерода в биомассе древостоя и почве такое же, как в молодом сосняке естественного происхождения – 2:1, в дубняке средневозрастном – 5:2.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Исследования запасов углерода в экосистемах молодых и средневозрастных лесов разного происхождения на дерново-подзолистых почвах в Республике Татарстан показали, что общие запасы органического углерода в изученных экосистемах могут отличаться в пять раз. Основной вклад в общие запасы вносят биомасса древостоя и почвы. Доля подстилки и мертвой древесины в сумме составляет не более 6,5 %.

Запасы углерода в дерново-подзолистых почвах пробных площадок ниже справочных, но даже в этом случае они составляют 4,1 %–73,7 % от общих запасов углерода экосистемы. Уточнение запасов углерода в почвах залесенных территорий необходимо продолжить. Возможно, следует создать региональные базы данных по запасам углерода почв, учитывающие не только породный и возрастной состав леса, но и таксономическую принадлежность почв.

Углерод биомассы древостоя составляет от 20,4 % до 91,4 % от общих запасов. В естественных березняках при переходе от молодняков I класса возраста к средневозрастным лесам запасы углерода в биомассе древостоя увеличиваются в 20,5 раз. В связи с разной скоростью прироста соотношение запасов углерода в биомассе древостоя и почвах изменяется от 3:10 в молодом березняке до 11:2 в средневозрастном. Полученные результаты показывают, что молодые и средневозрастные леса естественного происхождения активно участвуют в декарбонизации атмосферы, при этом основной сток углерода происходит именно в фитомассу. Запасы углерода в почве более консервативны – увеличиваются медленно, но и сохраняются дольше.

Соотношение запасов углерода в биомассе древостоя и почвах молодого осинника и средневозрастного дубняка близки к значениям для естественных лесов других пород того же возраста.

Запасы углерода в биомассе древостоя искусственной сосновой посадки в 2,5 раза выше, чем сосняке естественного происхождения такого же возраста (25 лет). Однако для научно обоснованных выводов о вкладе естественных и искусственно посаженных лесов в секвестрацию углерода необходимы дополнительные исследования лесов разного возраста и породного состава.

Комплексное изучение запасов углерода во всех компонентах лесных экосистем позволит увеличить точность определения общих запасов и добиться признания на международном уровне учета реального вклада наших лесов в декарбонизацию атмосферы.

Список литературы

1. Честных О. В. Распределение запасов органического углерода в почвах лесов России / О. В. Честных, Д. Г. Замолодчиков, А. И. Уткин, Г. Н. Коровин // Лесоведение. – 1999. – №2. – С. 13–21.
2. Честных О. В. Общие запасы биологического углерода и азота в почвах лесного фонда России / О. В. Честных, Д. Г. Замолодчиков, А. И. Уткин // Лесоведение. – 2004. – № 4. – С. 30–42.
3. Кулагина В. И. Запасы органического углерода в почвах Раифского участка Волжско-Камского заповедника / В. И. Кулагина, А. Б. Александрова, С. С. Рязанов, Р. Р. Шагидуллин, А. А. Андреева, Т. Г. Кольцова // Ученые записки Крымского федерального университета имени В. И. Вернадского. Биология. Химия. – 2023. – Т.9, № 1. – С. 143–158.
4. Кулагина В. И. Запасы углерода, содержание гумуса и азота в почвах Саралинского и Раифского участков Волжско-Камского заповедника / В. И. Кулагина, А. Б. Александрова, С. С. Рязанов, Р. Р. Шагидуллин, Л. М. Сунгатуллина, К. А. Гордеева // Ученые записки Крымского федерального университета имени В. И. Вернадского. Биология. Химия. – 2024. – Т. 10, № 1. – С. 145–158.
5. Методические указания по количественному определению объема поглощения парниковых газов. Утв. Распоряжением Минприроды России от 30.06.2017 №20-р.
6. Кузнецова А. И. Запасы углерода в песчаных почвах сосновых лесов на западе России / А. И. Кузнецова, Н. В. Лукина, А. В. Горнов, М. В. Горнова, Е. В. Тихонова, В. Э. Смирнов, М. А. Данилова, Д. Н. Тебенькова, Т. Ю. Браславская, В. А. Кузнецов, Ю. Н. Ткаченко, Н. В. Геникова // Почвоведение. – 2020. – № 8. – С. 959–969.
7. Иванов Д. В. Предварительные оценки запасов углерода в почвах лесных экосистем Республики Татарстан / Д. В. Иванов, А. Б. Александрова // Российский журнал прикладной экологии. – 2022. – № 2 (30). – С. 56–60.
8. Осипов А. Ф. Запасы углерода в почвах лесов Красноярского края: анализ роли типа почвы и древесной породы / А. Ф. Осипов, В. В. Старцев, А. С. Прокушкин, А. А. Дымов // Теоретическая и прикладная экология. – 2023. – № 1. – С. 67–74.
9. Филипчук А. Н. Аналитический обзор количественных и качественных характеристик лесов Российской Федерации: итоги первого цикла государственной инвентаризации лесов / А. Н. Филипчук, Н. В. Малышева, Т. А. Золина, С. В. Федоров, А. М. Бердов, В. Н. Косицын, А. Н. Югов, П. С. Кинигопуло // Лесохозяйственная информация. – 2022. – №1. – С. 5–34.
10. Наквасина Е. Н. Динамика запасов углерода при формировании лесов на постагрогенных землях / Е. Н. Наквасина, Ю. Н. Шумилова // Известия вузов. Лесной журнал. – 2021. – №1 – С. 46–59.
11. Булаткин Г. А. Оценка влияния управляемых лесов на баланс углекислого газа в атмосфере земли / Г. А. Булаткин // Жизнь Земли. – 2021. – Т.43, №1. – С. 54–66.
12. Государственный доклад «О состоянии природных ресурсов и об охране окружающей среды Республики Татарстан в 2023 году» // Министерство экологии и природных ресурсов Республики Татарстан: сайт.URL: <https://eco.tatarstan.ru/gosdoklad-2023.htm> (дата обращения: 2.09.2024). Режим доступа: свободный.
13. Чернова О. В. Оценка запасов органического углерода лесных почв в региональном масштабе/ О. В. Чернова, И. М. Рыжова, М. А. Подвезенная // Почвоведение. – 2020. – №3. – С. 140–150.

14. Soil Organic Carbon: the hidden potential // Food and Agriculture Organization of the United Nations Rome. Italy. FAO. 2017. 77 p. <http://www.fao.org/documents/card/en/c/ed16dbf7-b777-4d07-8790-798604fd490a/>
15. Целитан И. А. Структура и рост насаждений, формирующихся на гарях и вырубках в Красноярском Приангарье / И. А. Целитан, В. А. Соколов, И. М. Данилин // Сибирский лесной журнал. – 2021. – №4. – С. 34–47.
16. Dreimanis V. A. Die Bewirtschaftung von Birkenbeständen in Lettland / V. A. Dreimanis // Forst und Holz. – 2002. – Vol. 57, No. 15/16. – P. 465–470.
17. Ветчинникова Л. В. Пространственная и возрастная структура популяций березы повислой и карельской березы / Л. В. Ветчинникова, А. Ф. Титов // Труды Карельского научного центра РАН. – 2021. – №11. – С.22–38.
18. Луганский Н. А. Сравнительная производительность искусственных и естественных древостоев / Н. А. Луганский, О. В. Шипицина // Лесной вестник. – 2008. – №3. – С.50–54.
19. Ульданова Р. А. Продуктивность дубовых насаждений прибрежных Территорий реки Волги / Р. А. Ульданова, А. Т. Сабилов // Российский журнал прикладной экологии. – 2021. – №3 – С.11–22.
20. Замолодчиков Д. Г. Бюджет углерода управляемых лесов Российской Федерации в 1990-2050 гг. Ретроспективная оценка и прогноз / Д. Г. Замолодчиков, В. И. Грабовский, Г. Н. Коровин, М. Л. Гитарский, В. Г. Блинов, В. В. Дмитриев, В. А. Курц // Метеорология и гидрология. – 2013. – № 10. – С. 73–92.

CARBON STOCKS IN SOILS AND STAND BIOMASS OF YOUNG AND MID-AGED FORESTS OF TATARSTAN

***Kulagina V. I., Alexandrova A. B., Ryazanov S. S., Shagidullin R. R., Gordeeva K. A.,
Sungatullina L. M., Rupova E. H.***

*Research Institute for Problems of Ecology and Mineral Wealth Use of Tatarstan Academy of
Sciences, Kazan, Republic of Tatarstan, Russia
E-mail: viksoil@mail.ru*

Improving the accuracy of estimating greenhouse gas absorption remains an urgent problem. Identification of the ratio of carbon stocks in soils and stand biomass of young and mid-aged forests will allow clarifying the direction of carbon fluxes in forest ecosystems during the development period most productive for atmospheric decarbonization. Increasing the accuracy of carbon stocks in components of forest ecosystems is necessary to recognize the real absorption capacity of Russian forests at the international level. The purpose of this study was to determine the carbon stocks in stand biomass and soils of young and mid-aged forests in the Republic of Tatarstan, as well as their ratio for forests of different species composition and origin. The studies were conducted on 6 sample plots in the most common forest stands aged 10 to 40 years. Organic carbon stocks in soils, stand biomass and other components of forest ecosystems located on sod-podzolic soils were determined. Total carbon stocks, the share of individual components and the ratio of stocks in stand biomass and soils were calculated. It was found that carbon stocks in the biomass of young stands of natural origin ranged from 8.5 to 50.8 t/ha, while in artificial stands they were 123.0 t/ha, and in mid-aged forests – 102.6–173.4 t/ha. Maximum carbon stocks were found in the biomass of stands of mid-aged birch forest, minimum - in young birch forest. Total organic carbon stocks in

the studied ecosystems can vary by up to five times and range from 41.4 t/ha to 208.4 t/ha. The share of stand biomass in the structure of total ecosystem stocks ranged from 20.4 % to 91.4 %. Carbon stocks in sod-podzolic soils of the sample sites varied from 5.5 t/ha to 38.9 t/ha. This was lower than the reference values, but even in this case, soil carbon stocks account for 4.1 % to 73.7 % of the total ecosystem carbon stocks. Clarification of carbon stocks in soils of forested areas should be continued. Perhaps, regional databases on soil carbon stocks should be created, taking into account not only the species and age composition of the forest, but also the taxonomic affiliation of soils. In a 10-year-old birch forest the ratio of carbon stocks in the stand and soil was 3:10, in a 25-year-old birch forest it changed to 11:2, in a young pine forest of natural origin it was about 2:1, in artificial pine plantations of the same age it was 22:1. In natural birch forests, during the transition from young forests of age class I to mid-aged forests, carbon stocks in stand biomass increased by 20.5 times. The results obtained demonstrate the active participation of young and mid-aged natural forests in atmospheric decarbonization, with the main carbon sink at this stage of forest ecosystem development occurring in phytomass. Carbon stocks in soil are more conservative. The ratio of carbon stocks in stand biomass and soils of young aspen and middle-aged oak forests was close to the values for natural forests of other species of the same age. Carbon stocks in stand biomass of artificial pine planting was 2.5 times higher than in natural pine forest of the same age (25 years). Further research is required to draw scientifically grounded conclusions on the contribution of natural and planted forests to carbon sequestration.

Keywords: soil, forest stand, carbon reserves, forest ecosystems, components of biogeocenosis.

References

1. Chestnykh O. V., Zamolodchikov D. G., Utkin A. I., Korovin G. N. Distribution of organic carbon reserves in soils of Russian forests, *Russian Journal of Forest Science*, **2**, 13 (1999).
2. Chestnykh O. V., Zamolodchikov D. G., Utkin A. I. Reserves of biological carbon and nitrogen in soils of Russian forest fund, *Russian Journal of Forest Science*, **4**, 30 (2004).
3. Kulagina V. I., Alexandrova A. B., Ryazanov S. S., Shagidullin R. R., Andreeva A. A., Koltcova T. G. Organic carbon stocks in the soils of the Raifa section of the Volzhsko-Kamsky reserve, *Scientific Notes of V.I. Vernadsky Crimean Federal University. Biology. Chemistry*, **1**, 143 (2023).
4. Kulagina V. I., Alexandrova A. B., Ryazanov S. S., Shagidullin R. R., Sungatullina L. M., Gordeeva K. A. Organic carbon stocks, humus and nitrogen contents in the soils of the Saralinsky and Raifa sections of the Volzhsko-Kamsky reserve, *Scientific Notes of V.I. Vernadsky Crimean Federal University. Biology. Chemistry*, **1**, 145 (2024).
5. Guidelines for the quantitative determination of the volume of absorption of greenhouse gases. Approved By order of the Ministry of Natural Resources of Russia dated June 30, 2017 №. 20-p.
6. Kuznetsova A. I., Lukina N. V., Gornov A. V., Gornova M. V., Tikhonova E. V., Smirnov V. E., Danilova M. A., Tebenkova D. N., Braslavskaya T. Yu., Kuznetsov V. A., Tkachenko Yu. N., Genikova N. V. Carbon Stock in Sandy Soils of Pine Forests in the West of Russia, *Eurasian Soil Science*, **8**, 1056 (2020).
7. Ivanov D. V., Alexandrova A. B. Preliminary estimations of carbon stocks in soils of forest ecosystems of the Republic of Tatarstan, *Russian Journal of Ecosystem Ecology*, **2(30)**, 56 (2022).
8. Osipov A. F., Startsev V. V., Prokushkin A. S., Dymov A. A. Carbon stocks in forest soils of the Krasnoyarsk Region: analysis of soil and tree species role, *Theoretical and Applied Ecology*, **1**, 67 (2023).

9. Filipchuk A. N., Malysheva N. V., Zolina T. A., Fedorov S. V., Berdov A. M., Kositsyn V. N., Yugov A. N., Kinigopulo P. S. Analytical Review of the Quantitative and Qualitative Characteristics of Forests in the Russian Federation: Results of the First Cycle of the State Forest Inventory, *Forestry information*, **1**, 5 (2022).
10. Nakvasina E. N., Shumilova Yu. N. Dynamics of Carbon Stocks in the Formation of Forests on Post-Agrogenic Lands, *Russian Forestry Journal*, **1**, 46 (2021).
11. Bulatkin G. A. Influence of the managed forests on CO₂ balance in Earth's atmosphere, *Life of the Earth*, **1**, 54 (2021).
12. State report "On the state of natural resources and environmental protection of the Republic of Tatarstan in 2023" URL: <https://eco.tatarstan.ru/gosdoklad-2023.htm>
13. Chernova O. V., Ryzhova I. M., Podvezennaya M. A. Assessment of organic carbon stocks in forest soils on a regional scale, *Eurasian Soil Science*, **3**, 339 (2020).
14. Soil Organic Carbon: the hidden potential // Food and Agriculture Organization of the United Nations Rome. Italy. FAO. 2017. 77 p. <http://www.fao.org/documents/card/en/c/ed16dbf7-b777-4d07-8790-798604fd490a/>
15. Tselitan I. A., Sokolov V. A., Danilin I. M. Structure and growth of the stands, formed in burns and cuttings in Krasnoyarsk Priangar'e, *Siberian journal of forest science*, **4**, 34 (2021).
16. Dreimanis V. A. Die Bewirtschaftung von Birkenbeständen in Lettland, *Forst und Holz*, **15/16**, 465 (2002).
17. Vetchinnikova L. V., Titov A. F. Spatial and structure of silver birch and curly birch population, *Proceedings of the Karelian Scientific Center of the Russian Academy of Sciences*, **11**, 22 (2021).
18. Lougansky N. A., Shipitsyna O. V. Comparative productivity of artificial and natural forest stands, *Forestry Bulletin*, **3**, 50 (2008).
19. Uldanova R. A., Sabirov A. T. Productivity of oak plants in the coastal territories of the Volga River, *Russian Journal of Ecosystem Ecology*, **3**, 11 (2021).
20. Zamolodchikov D. G., Grabovskii V. I., Korovin G. N., Gitarskii M. L., Blinov V. G., Dmitriev V. V., Kurz W. A. Carbon budget of manager forests in the Russian Federation in 1990-2050: Post-evaluation and forecasting, *Russian Meteorology and Hydrology*, **10**, 701 (2013).

УДК 796.012.33

DOI 10.29039/2413-1725-2025-11-1-67-78

АДАПТАЦИОННЫЕ МЕХАНИЗМЫ КАРДИОРЕСПИРАТОРНОЙ СИСТЕМЫ СТУДЕНТОК 18–20 ЛЕТ ПРИ ФУНКЦИОНАЛЬНОМ ТРЕНИНГЕ С ПОДВЕСНЫМИ ПЕТЛЯМИ

Лобастова К. Ю.¹, Кислякова С. С.²

¹*Южно-Уральский Государственный университет, Челябинск, Россия*

²*Уральский государственный университет физической культуры, Челябинск, Россия*

E-mail: kristina.lobastova94@mail.ru

В результате проведенных исследований была выявлена устойчивость к гипоксии у девушек 18–20 лет, занимающихся функциональным тренингом с подвесными петлями, по показателям проб Штанге и Генчи. Значительно улучшилась работоспособность сердца студенток экспериментальной группы по значениям пробы Руфье-Диксона, систолического и диастолического артериального давления, частоты сердечных сокращений. Произошло достоверное снижение индекса Робинсона на 10,8 у.е. ($p \leq 0,001$), что демонстрировало улучшение симпатической и парасимпатической регуляции в сердечно-сосудистой системе у студенток вследствие занятий по функциональному тренингу с подвесными петлями. Также были выявлены достоверные улучшения значений индекса Баевского, значений индекса функциональных изменений по Адамовичу и значение индекса Богомазова, что свидетельствует об улучшении адаптационных механизмов занимающихся.

Ключевые слова: кардиореспираторная система, адаптационные механизмы, функциональная подготовленность, функциональный тренинг с подвесными петлями, студентки 18–20 лет.

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время актуальными являются вопросы научного обоснования физиологических механизмов адаптации студентов при различных физических нагрузках в новых видах фитнеса. Одним из популярных фитнес-направлений для обучающихся высших учебных заведений стал функциональный тренинг с подвесными петлями, который является эффективным средством для проработки мышц всего тела с использованием собственного веса. Функциональный тренинг с подвесными петлями заключается в одновременном выполнении силовых упражнений умеренной зоны физиологической мощности, исключающий осевую нагрузку на позвоночный столб [1–3]. Данный вид фитнеса позволяет выполнять физическую нагрузку во всех режимах мышечной работы (статический, динамический преодолевающий, динамический уступающий и комбинированный), используя одно устройство, в отличие от других видов функционального тренинга с использованием стандартных тренажеров.

Адаптационная деятельность организма человека к физическим нагрузкам является одним из основополагающих направлений современной физиологии [4].

Ввиду физиологических особенностей женского организма, обуславливающих процессы адаптации к мышечной деятельности, которые характеризуются морфофункциональными перестройками кардиореспираторной системы, особенно актуальным является изучение организма девушек 18–20 лет при адаптации к физическим нагрузкам. Необходимо отметить, что физическая нагрузка при занятиях функциональным тренингом на подвесных петлях является стрессовым фактором, что приводит к напряжению систем регуляции мышечной деятельности. В настоящее время достаточно подробно рассмотрены вопросы механизмов адаптации девушек в спортивной деятельности. Однако недостаточно изученным являются влияние функционального тренинга с подвесными петлями на компенсаторно-адаптационные реакции кардиореспираторной системы студенток. Поэтому перспективным направлением является исследование адаптации организма девушек, занимающихся новыми видами фитнеса.

Цель исследования: изучение адаптационных механизмов кардиореспираторной системы студенток 18–20 лет при функциональном тренинге с подвесными петлями.

Задачи исследования:

1) Определить показатели адаптационных механизмов кардиореспираторной системы девушек 18–20 лет, занимающихся функциональным тренингом с подвесными петлями и стандартной физической культурой.

2) Выявить динамику изменения адаптационных механизмов кардиореспираторной системы девушек 18–20 лет, занимающихся функциональным тренингом с подвесными петлями.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Исследование осуществилось в научно-исследовательском центре ФГАОУ ВО «ЮУрГУ (НИУ)» города Челябинска. Контрольная группа (n=20) состояла из студенток 18–20 лет, которые занимались по обычной программе физического воспитания в вузе. В основную группу (n=20) входили студентки 18–20 лет, занимающиеся подвесными петлями. Занятия проводились два раза в неделю по два академических часа в течение полугодия. Студентки относились к 1-й и 2-й группам здоровья. Исследование проходило в два этапа. На I этапе было проведено первичное обследование студенток изучаемых групп. На II этапе исследования было проведено повторное обследование студенток спустя 6 месяцев после внедрения тренинга на подвесных петлях.

В нашем исследовании для изучения кардиореспираторной системы использовались измерения длины тела и массы тела, жизненной емкости легких (ЖЕЛ), артериального давления систолического (САД), артериального давления диастолического (ДАД), частоты сердечных сокращений (ЧСС), окружности грудной клетки (ОГК), частоты дыхания (ЧД). На основании проведенных измерений рассчитывались должная жизненная емкость легких (ДЖЕЛ), жизненный индекс (ЖИ), индекс Богомазова, ударный объем крови (УОК), минутный объем крови (МОК), индекс Робинсона, индекс Кремптона, индекс Хильдебранта, индекс функциональных изменений (ИФИ), адаптационный потенциал по Р. М. Баевскому. Также проводились пробы Руфье-Диксона, Штанге, Генчи.

Для определения достоверности различий параметров использовался пакет прикладных программ Microsoft Office Excel и t-критерий Стьюдента для несвязанных совокупностей. Статистическую значимость показателей считали при 0,05, 0,01 и 0,001 уровнях значимости.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

В таблице 1 представлены показатели кардиореспираторной системы студентов 18–20 лет. В процессе исследования не было обнаружено статистически значимых отличий значений длины тела в изучаемых группах, которые соответствовали физиологической норме для данного возраста. Показатель средней длины тела в экспериментальной группе в начале эксперимента был равен 163,2 см, в контрольной группе – 164,15 см. На II этапе исследования значение средней длины тела в группе, которая занималась функциональным тренингом с подвесными петлями, составил 163,55 см.

Изучение массы тела является маркером физического статуса студентов, который позволяет выявить возможные отклонения в функциональном состоянии занимающихся и вносить соответствующие коррективы в учебный процесс по физическому воспитанию [5, 6]. При адаптации к функциональной тренировке с подвесными петлями показатель массы тела статистически достоверно изменился на 5,16 кг ($p \leq 0,05$) в экспериментальной группе.

В нашем исследовании показатель окружности грудной клетки в исследуемых группах на всех этапах исследования соответствовал физиологической норме. Как известно, объем легких зависит от параметров окружности грудной клетки и оказывает влияние на тип телосложения [7]. Средние значения окружности грудной клетки составляли в среднем в экспериментальной группе 84,4 см, соответственно в группе контроля – 85,6 см. Достоверное изменение окружности грудной клетки наблюдалось на II этапе, где указанный параметр снизился на 1,6 см ($p \leq 0,05$) в экспериментальной группе.

Таблица 1
Показатели функционального состояния кардиореспираторной системы
студентов 18–20 лет

Параметры	I этап		II этап	
	КГ	ЭГ	КГ	ЭГ
Длина тела (см)	164,15±1,85	163,2±1,37	164,35±1,90	163,55±1,36
Масса тела (кг)	59,72±1,84	58,5±1,71	60,4±1,76	54,56±1,05*
Окружность грудной клетки (см)	85,45±0,56	84,94±0,53	85,75±0,45	83,85±0,43*
ЖЕЛ (мл)	2750±74,62	2705±76,44	2770±72,59	2695±72,73

Продолжение таблицы 1

ДЖЕЛ (мл)	2716,29±72,69	2679,51±53,65	2723,61±74,81	2697,44±53,45
Частота дыхания (кол-во раз в мин)	19,45±0,72	19,2±0,55	19,9±0,50	17,55±0,40*
Проба Генчи (сек)	26,25±0,75	27,2±0,69	25,95±0,61	28,85±0,65*
Проба Штанге (сек)	50,35±1,94	50,05±1,12	51,45±1,54	54,95±1,05*
Жизненный индекс (мл/кг)	46,41±1,23	46,65±1,35	46,32±1,47	49,43±1,03
Индекс Богомазова (у.е.)	85,11±2,46	85,83±1,60	86,00±1,86	93,11±1,53**
САД (мм.рт.ст.)	123,65±1,68	122,05±1,74	120,35±2,44	117,2±2,11*
ДАД (мм.рт.ст.)	78,2±1,90	77,8±1,60	74,65±2,04	71,95±1,72*
ЧСС (уд/мин)	77,7±1,68	76,65±1,69	76,6±1,72	72,55±1,18*
УОК (мл)	66,79±1,59	66,42±1,18	69,01±1,32	70,37±0,99
МОК (л/мин)	5193,33±178,60	5083,97±130,82	5280,89±143,43	5103,24±101,14
Проба Руфье-Диксона (у.е.)	14,06±1,02	13,07±0,71	12,54±1,18	10,73±0,80*
Индекс Хильдебранта (у.е.)	4,08±0,16	4,04±0,14	4,17±0,23	4,16±0,14
Индекс Робинсона (у.е.)	95,96±2,17	93,64±2,60	92,19±2,80	85,18±2,38***
АП по Баевскому (у.е.)	2,25±0,04	2,21±0,05	2,17±0,06	2,02±0,05***
ИФИ (у.е.)	0,50±0,02	0,51±0,02	0,53±0,02	0,60±0,02***

Примечание:

* – достоверность различий между показателями контрольной и экспериментальной групп при 0,05

** – достоверность различий между показателями контрольной и экспериментальной групп при 0,01

*** – достоверность различий между показателями контрольной и экспериментальной групп при 0,001

Жизненная емкость легких служит для оценки внешнего дыхания обучающихся физической культурой [8]. ЖЕЛ в нашем исследовании мы определяли с помощью метода спирометрии. По завершению эксперимента величина ЖЕЛ студенток экспериментальной группы достоверно значимо снизилась на 4,16 кг ($p \leq 0,05$), а прирост показателя составил 7 % ($p \leq 0,05$) по сравнению с девушками, занимающимися два раза в неделю физической культурой.

Так, по завершению исследования мы определили, что показатели ЖЕЛ у студенток обеих групп достоверно не изменились ($p > 0,05$). Средняя величина ЖЕЛ у студенток контрольной группы составляла 2760 мл, у студенток основной группы – 2700 мл. Для определения нормы ЖЕЛ у обучающихся 18–20 лет также рассчитывалась должная жизненная емкость легких, учитывающая половозрастные и весовые показатели. Физиологически нормальное отклонение ЖЕЛ от ДЖЕЛ составляет до 15 %. Отклонение ЖЕЛ от ДЖЕЛ свыше 20 % свидетельствует о недостаточном развитии дыхательной системы [8]. Показатели ДЖЕЛ в исследуемых группах не имели статистически значимых отличий. Диапазон изменений ДЖЕЛ в основной группе варьировался от $2679,51 \pm 53,65$ до $2697,44 \pm 53,45$ мл, в контрольной группе – $2716,29 \pm 72,69$ до $2723,61 \pm 74,81$ мл. Соотношение ЖЕЛ к ДЖЕЛ в обеих группах не превышало 15 %, что говорит о достаточном развитии дыхательной системы девушек 18–20 лет.

Необходимым маркером оценки функции внешнего дыхания служит жизненный индекс, определяемый по соотношению ЖЕЛ к массе тела. Средние показатели ЖИ среди девушек контрольной группы составляли 46,4 мл/кг. В то время как средний показатель ЖИ девушек основной группы был 48 мл/кг. Достоверно значимых отличий в изучаемых группах не было обнаружено. Однако у основной группы наблюдалась тенденция к увеличению ЖИ на II этапе исследования. Необходимо отметить, что данные изменения находились в пределах референсных значений для девушек 18–20 лет.

Одним из информативных показателей оценки функционального состояния дыхательной системы занимающихся считается частота дыхания. Нами выявлено достоверное снижение ЧД на II этапе исследования в основной группе. Урежение ЧД составило 1,9 раз в минуту ($p \leq 0,05$). Это указывает на положительные сдвиги в легочной системе студенток 18–20 лет в процессе занятий функциональным тренингом с подвесными петлями.

Для определения устойчивости организма к гипоксии использовали пробы Штанге и Генчи. В основной группе среднегрупповые показатели пробы Генчи достоверно увеличились на 2,6 секунды ($p \leq 0,05$) в сравнении с контрольной группой. Результаты пробы Штанге показали, что у девушек экспериментальной группы произошло достоверное повышение изучаемого параметра на 4,6 секунд ($p \leq 0,05$). Изменение данных показателей выявляет устойчивость организма студенток 18–20 лет, тренирующихся по системе функционального тренинга с подвесными петлями, к гипоксии, а также улучшение общего состояния кислородо-обеспечивающих систем в целом [9].

После проведения проб Штанге и Генчи был рассчитан индекс Богомазова, который является интегральным показателем оценки систем кровообращения и

дыхания [10]. В самом начале исследования показатели индекса Богомазова соответствовали пограничному состоянию резервных возможностей кардиореспираторной системы студенток и составляли в контрольной группе 85,11 у.е., а в основной группе – 85,83 у.е. После внедрения в учебный процесс функционального тренинга с подвесными петлями в основной группе значения индекса Богомазова статистически значительно повысились на 7,3 у.е. ($p \leq 0,01$), что свидетельствует об улучшении состояния кардиореспираторной системы студенток 18–20 лет.

Считается, что силовые нагрузки, применяемые в учебном процессе, могут оказывать влияние на функциональное состояние сердечно-сосудистой системы студенток. Оценка реакции организма студенток 18–20 лет на физическую нагрузку измерялась по показателям частоты сердечных сокращений, а также систолического и диастолического артериального давления [11–14]. В контрольной группе указанные параметры в процессе наблюдения фактически не изменились. Частота сердечных сокращений в группе, занимающихся функциональным тренингом с подвесными петлями, достоверно снизилась в основной группе на 5,15 уд/мин ($p \leq 0,05$) по сравнению с группой контроля. Выявленный факт урежения сердцебиения указывает на экономизацию сердечной функции девушек, которые занимались функциональным тренингом с подвесными петлями. Подобная тенденция наблюдалась в отношении систолического и диастолического артериального давления. Так, систолическое артериальное давление уменьшилось в группе эксперимента на 6,5 мм.рт.ст. ($p \leq 0,05$), а диастолическое артериальное давление – на 6,3 мм.рт.ст. ($p \leq 0,05$). Достоверные изменения в значениях давления демонстрируют позитивные сдвиги в деятельности кардиореспираторной системы в ответ на включение в процесс физического воспитания вуза специальной тренировочной программы функционального тренинга с подвесными петлями.

Генеральными показателями центральной гемодинамики считаются ударный и минутный объемы крови, которые находятся в тесной взаимосвязи с артериальным давлением и частотой сердечных сокращений. Систематическая нагрузка способствует изменению деятельности гемодинамических величин, степень которых может зависеть от половозрастных особенностей, тренировочного стажа, состояния здоровья и специфики тренировочного режима [11–13]. В нашем исследовании средние значения параметра ударного объема крови находились в пределах диапазона в основной группе от 66,42 мл до 70,37 мл; в контрольной группе – от 66,79 мл до 69,01 мл. В то время как диапазон значений минутного объема крови составлял в основной группе 5083,97 – 5103,24 мл/мин; в контрольной группе – от 5193,33 мл/мин до 5280,89 мл/мин. Значения ударного и минутного объемов крови в обследованном контингенте на протяжении всего эксперимента находились в пределах референсных значений и не имели достоверных отклонений.

Для оценивания состояния функциональной реактивности сердечно-сосудистой системы студенток была применена проба Руфье-Диксона. На начальном этапе исследования девушки обеих групп имели удовлетворительный уровень реактивности сердца. Значительные изменения показателей пробы произошли на II

этапе в основной группе и составили 3,3 у.е. ($p \leq 0,05$), достигнув среднего уровня реактивности сердечно-сосудистой системы.

Таким образом, достоверное снижение значений пробы Руфье-Диксона совместно с выявленным урежением ЧСС, а также понижение артериального давления, увеличение времени задержки дыхания в пробах Штанге и Генчи указывают на рост толерантности к гипоксии. Данный факт означает прогрессирование адаптационных возможностей девушек, занимающихся подвесным тренингом.

Индекс Хильдебранта был использован в качестве маркера нарушений регуляторной функции в кардиореспираторной системе. По мнению С. Я. Классиной повышение индекса на фоне снижения частоты дыхания может быть использовано в качестве прогноза в отношении отказа от интенсивной физической нагрузки занимающимся [15]. Средние значения индекса Хильдебранта в группе контроля и в группе эксперимента были 4,1 у.е., что говорит о нормальных межсистемных взаимоотношениях сердечно-сосудистой и дыхательной систем. После применения функционального тренинга с подвесными петлями не было значительных различий в индексе, что свидетельствует об адекватности использования физических нагрузок для студенток 18–20 лет.

Для анализа состояния регуляции сердечно-сосудистой системы применялся индекс Робинсона. Считается, что чем ниже индекс Робинсона, тем выше максимальные аэробные возможности человека, которые отражают хороший уровень соматического здоровья [11, 16]. Первоначально уровень соматического здоровья студенток обеих групп выходил за пределы нормальных величин. Так, в контрольной группе он составил 95,96 у.е., а в экспериментальной группе – 93,64 у.е. Однако, на II этапе произошло достоверное снижение данного маркера в экспериментальной группе на 10,8 у.е. ($p \leq 0,001$). Среднее значение индекса было 85,18 у.е., что соответствовало нормальному функциональному состоянию кардиореспираторной системы. Такое снижение индекса Робинсона показывает, что функциональный тренинг с подвесными петлями способствует улучшению симпатической и парасимпатической регуляции в сердечно-сосудистой системе девушек 18–20 лет.

Проведенный мониторинг адаптационного потенциала по Баевскому позволил нам выявить статистически значимые улучшения в динамике учебного процесса студенток экспериментальной группы на 0,23 у.е. ($p \leq 0,001$). В группе контроля достоверных изменений не обнаружено ($p > 0,05$). Следует отметить, что уровень адаптационного потенциала девушек обеих групп находился в пределах нормы и соответствовал удовлетворительному уровню адаптации.

Далее мы рассчитали индекс функциональных изменений по Адамовичу, который отражает механизмы адаптации системы кровообращения [5]. На первоначальном этапе исследования не было выявлено статистически значимых отличий между изучаемыми группами. На втором этапе исследования произошло увеличение индекса в экспериментальной группе на 0,1 у.е. ($p \leq 0,001$). Механизмы адаптации были устойчивые на протяжении всего исследования. Возможное изменение ИФИ в экспериментальной группе может быть связано с мобилизацией

внутренних резервов организма ввиду специфики функционального тренинга с подвесными петлями.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Выявлены изменения морфометрических показателей слизистой тонкого кишечника у крыс при введении пробиотика как при изолированном введении, так и на фоне модели дисбиоза.

Проведенное исследование позволило нам выявить различные механизмы адаптации кардиореспираторной системы студенток к тренингу на подвесных петлях. Были выявлены статистически значимые изменения в дыхательной системе у девушек основной группы по показателям проб Штанге и Генчи, а также ЧД. Параметры пробы Генчи достоверно изменились на 2,6 секунды ($p \leq 0,05$), а показатели пробы Штанге – на 4,6 секунд ($p \leq 0,05$). Урежение ЧД составило 1,9 раз в минуту ($p \leq 0,05$). Изменение данных параметров свидетельствует о толерантности к гипоксии во время выполнения упражнений и улучшении кислородтранспортной функции организма девушек в целом. Наблюдалось достоверное снижение индекса Робинсона на 10,8 у.е. ($p \leq 0,001$), что указывает на преобладание парасимпатического контура регуляции вегетативной нервной системы при адаптации организма девушек, занимающихся на подвесных петлях.

На II этапе исследования улучшилась функциональная реактивность сердечно-сосудистой системы студенток основной группы по показателям пробы Руфье-Диксона ($p \leq 0,05$). Также произошли достоверные изменения в значениях САД в основной группе на 6,5 мм.рт.ст. ($p \leq 0,05$), ДАД – на 6,3 мм.рт.ст. ($p \leq 0,05$), ЧСС – на 5,15 уд/мин ($p \leq 0,05$) по сравнению с группой контроля. Полученные результаты полностью согласуются с представлениями об экономизации сердечно-сосудистой системы, формирующейся в процессе долговременной адаптации к функциональному тренингу.

Уровень адаптационного потенциала девушек основной группы по индексу Баевского находился в пределах возрастной нормы и соответствовал удовлетворительному уровню адаптации ($p \leq 0,001$). Согласно показателям индекса Богомазова ($p \leq 0,01$) и ИФИ по Адамовичу ($p \leq 0,001$), функциональные возможности сердечно-сосудистой системы девушек основной группы были хорошими, а механизмы адаптации устойчивыми, действие физической нагрузки компенсировалась мобилизацией внутренних резервов организма.

В связи с этим, необходимо продолжить дальнейшие исследования влияния тренинга с подвесными петлями на функциональное состояние девушек с целью поиска эффективных сочетаний различных тренировочных режимов для развития долговременной адаптации в данном фитнес-направлении.

Список литературы

1. Andrejeva J. The effect of TRX suspension trainer and BOSU platform after reconstruction of anterior cruciate ligament of the knee joint / J. Andrejeva, A. Grisanina, G. Sniepienė [et al.] // Pedagogy of Physical Culture and Sports. – 2022. – No. 26 (1). – P. 47–56.

2. Vural F. Can different variations of suspension exercises provide adequate loads and muscle activations for upper body training / F. Vural, B. Erman, I. Ranisavljev [et al.] // PLoS One. – 2023. – No. 18 (9). – P. 1–14.
3. Люн К. Тренировки с подвесными ремнями / К. Люн, Л. Чоу; [Пер. с англ. под ред. В. М. Боженова]. – Минск : Попурри, 2016. – 144 с.
4. Грабовская Е. Ю. Физиология адаптационных процессов (курс лекций) / Е. Ю. Грабовская. – Симферополь : ФГАОУ ВО «КФУ им. В. И. Вернадского», 2020. – 106 с.
5. Komici K. Impact of Body Composition Parameters on Lung Function in Athletes / K. Komici, F. D'Amico, S. Verderosa [et al.] // Nutrients. – 2022. – No. 14 (3844). – P. 1–11.
6. Khatoon Z. Level of cardiovascular fitness and it's relationship with physical activity and body mass index in young adults of Islamabad / Z. Khatoon, M. A. Afridi, Taqdees-e-Maryam [et al.] // Journal of the Pakistan Medical Association. – 2021. – No. 71 (8). – 1950–1953.
7. Тятенкова Н. Н. Физическое развитие и компонентный состав тела студенток в условиях пандемии / Н. Н. Тятенкова, А. С. Спивак, А. М. Брагина [и др.] // Ученые записки КФУ им. В. И. Вернадского. Серия «Биология. Химия». – 2022. – Т. 8 (74). – № 2. – С. 228–235.
8. Суюндикова Ж. Т. Функциональное состояние дыхательной системы студенток Костанайского государственного педагогического института / Ж. Т. Суюндикова, А. А. Галым // Вестник КГПИ. – 2017. – № 3 (47). – С. 79–84.
9. Гросс Е. Р. Функциональные изменения систем организма у студенток высшего учебного заведения под влиянием физкультурно-спортивных занятий различной направленности / Е. Р. Гросс, А. Л. Оганджанов // Вестник МГПУ. Серия: «Естественные науки». – 2021. – № 4 (44). – С. 60–88.
10. Корженевский А. Н. Повышение эффективности физической подготовки студентов с учетом данных комплексного контроля состояния основных функциональных систем организма / А. Н. Корженевский, Е. И. Корженевская, Л. Ф. Колокатова [и др.] // Вестник спортивной науки. – 2014. – № 4. – С. 59–65.
11. Мирошников А. Б. Влияние высокоинтенсивной аэробной работы на окислительные способности рабочих мышц и артериальное давление у спортсменов силовых видов спорта: рандомизированное контролируемое поперечное исследование / А. Б. Мирошников, А. Д. Форменов, С. Н. Манидичев [и др.] // ВНМТ. – 2019. – Т. 26. – № 4. – С. 115–121.
12. Щанкин А. А. Гемодинамика и физическая нагрузка / А. А. Щанкин, Г. И. Щанкина, Н. Н. Арбузов // Science Time. – 2016. – №11 (35). – С. 558–564.
13. Тишутин Н. А. Анализ состояния и реактивности гемодинамических показателей у спортсменов в ответ на дозированную физическую нагрузку / Н. А. Тишутин, О. Н. Малах, Т. Ю. Крестьянинова // ВПГУ. Серия: Е. Педагогические науки. Физкультура и спорт. – 2020. – №7. – С. 141–145.
14. Xu H. Study on the accuracy of cardiopulmonary physiological measurements by a wearable physiological monitoring system under different activity conditions / Xu H, Chu W, Liu X [et al.] // Sheng Wu Yi Xue Gong Cheng Xue Za Zhi. – 2020. – № 37 (1). – P. 119–128.
15. Классина С. Я. Индекс Хильдебрандта как прогностический критерий отказа от интенсивной физической нагрузки / С. Я. Классина // Наука и спорт: современные тенденции. – 2019. – Т. 7, № 2. – С. 68–73.
16. Петрова Т. Н. Сравнительная характеристика функциональных возможностей кардиореспираторной системы у студентов-спортсменов / Т. Н. Петрова, В. К. Таланцева, О. В. Шиленко [и др.] // Известия ТулГУ. Физическая культура. Спорт. – 2022. – №1. – С. 100–106.

ADAPTATION OF THE CARDIORESPIRATORY SYSTEM OF FEMALE STUDENTS AGED 18–20 YEARS TO TRX FUNCTIONAL TRAINING

Lobastova K. Yu.¹, Kislyakova S. S.²

¹*South Ural State University, Chelyabinsk, Russia*

²*Ural State University of Physical Culture, Chelyabinsk, Russia*

E-mail: kristina.lobastova94@mail.ru

The purpose of the study: to study the adaptive mechanisms of the cardiorespiratory system of female students aged 18–20 years during functional training with suspension loops.

Research objectives:

1. To determine the indicators of the adaptive mechanisms of the cardiorespiratory system of girls aged 18–20 years engaged in functional training with suspension loops and standard physical education.

2. To identify the dynamics of changes in the adaptive mechanisms of the cardiorespiratory system of girls aged 18–20 years engaged in functional training with suspension loops.

Research methods: 40 female students aged 18–20 years of the Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education "SUSU (National Research University)" in Chelyabinsk took part in this study. In our study, to study the cardiorespiratory system, we used measurements of body length and weight, vital capacity (VC), systolic blood pressure (SBP), diastolic blood pressure (DBP), heart rate (HR), chest circumference (CWC), and respiratory rate (RR). Based on the measurements, we calculated the expected vital capacity (EVC), vital index (VI), Bogomozov index, stroke volume (SV), minute volume (MOC), Robinson index, Crempston index, Hildebrandt index, functional change index (FCI), and adaptation potential according to R. M. Baevsky. Ruffier-Dixon, Stange, and Genchi tests were also conducted.

Results of the study: The conducted study allowed us to identify various mechanisms of adaptation of the cardiorespiratory system of female students to training on hanging loops. Statistically significant changes in the respiratory system of girls of the main group were revealed according to the parameters of the Stange and Genchi tests, as well as respiratory rate. The parameters of the Genchi test significantly changed by 2.6 seconds ($p \leq 0.05$), and the parameters of the Stange test – by 4.6 seconds ($p \leq 0.05$). The decrease in respiratory rate was 1.9 times per minute ($p \leq 0.05$). The change in these parameters indicates tolerance to hypoxia during exercise and an improvement in the oxygen transport function of the girls' body as a whole. A reliable decrease in the Robinson index by 10.8 units ($p \leq 0.001$) was observed, which indicates the predominance of the parasympathetic regulation circuit of the autonomic nervous system during the adaptation of the girls' body training on hanging loops. At the second stage of the study, the functional reactivity of the cardiovascular system of the female students of the main group improved according to the Ruffier-Dixon test ($p \leq 0.05$). There were also reliable changes in the values of SBP in the main group by 6.5 mmHg ($p \leq 0.05$), DBP – by 6.3 mmHg ($p \leq 0.05$), HR – by 5.15 bpm ($p \leq 0.05$) compared to the control group. The obtained results are fully consistent with the

ideas about the economization of the cardiovascular system formed in the process of long-term adaptation to functional training. The level of adaptation potential of the girls of the main group according to the Baevsky index was within the age norm and corresponded to a satisfactory level of adaptation ($p \leq 0.001$). According to the Bogomozov index ($p \leq 0.01$) and the Adamovich IFI ($p \leq 0.001$), the functional capabilities of the cardiovascular system of the girls in the main group were good, and the adaptation mechanisms were stable, the effect of physical activity was compensated by the mobilization of the body's internal reserves.

Conclusion: In connection with the obtained results, it is necessary to continue further research on the influence of training with suspension loops on the functional state of girls in order to find effective combinations of different training modes for the development of long-term adaptation in this fitness area.

Keywords: cardiorespiratory system, adaptive mechanisms, functional condition, functional training with suspension loops, female students 18–20 years old.

References

1. Julija Andrejeva, Anastasija Grisanina, Grazina Sniepiene, Asta Mockiene, Dainora Strazdauskaite. The effect of TRX suspension trainer and BOSU platform after reconstruction of anterior cruciate ligament of the knee joint. *Pedagogy of Physical Culture and Sports*, **26** (1), 47 (2022).
2. Vural F., Erman B., Ranisavljev I., Yuzbasioglu Y., Copic N., Aksit T., Dopsaj M., Ozkol M. Z. Can different variations of suspension exercises provide adequate loads and muscle activations for upper body training? *PLoS One*. **18** (9), 1 (2023).
3. Leung K., Chou L., Bazhenov V. M. (transl. by). *Trenirovki s podvesnymi remnyami [Training with suspension straps]*. 144 p. (Minsk: Popurri, 2016).
4. Grabovskaya E. Yu. *Physiology of adaptation processes (course of lectures)*. 106 p. (V. I. Vernadsky Crimean Federal University. Simferopol, 2020).
5. Komici K., D'Amico F., Verderosa S., Piomboni I., D'Addona C., Picerno V., Bianco A., Caiazzo A., Bencivenga L., Rengo G. et al. Impact of Body Composition Parameters on Lung Function in Athletes. *Nutrients*. **14** (3844), 1 (2022).
6. Khatoun Z., Afridi M. A., Taqdees-e-Maryam, Gull A., Farheen H. Level of cardiovascular fitness and its relationship with physical activity and body mass index in young adults of Islamabad. *Journal of the Pakistan Medical Association*, **71** (8), 1950 (2021).
7. Tyatenkova N. N., Spivak A. I., Bragina A. Jr., Teplyakova O. N., Uvarova Yu. E. Physical development and body composition of female students in a pandemic. *Scientific Notes of V.I. Vernadsky Crimean Federal University. Biology. Chemistry*, **8** (74), 2, 228 (2022).
8. Suyundikova Zh. T., Galym A. A. The functional state of the respiratory system of students of Kostanay State Pedagogical Institute. *PUBLISHERS of Kostanay State Pedagogical Institute*, **3** (47), 79 (2017).
9. Gross E. R. Ogandzhanov A. L. Functional changes of body systems in female students of a higher educational institution under the influence of physical culture and sports activities of various orientations. *MCU Journal of Natural Sciences*, **4** (44), 60 (2021).
10. Korzhenevsky A. N., Korzhenevskaya E. I., Kolokatova L. F., Vorobyov A. A. Improving the effectiveness of physical training of students, taking into account the data of complex control of the state of the main functional systems of the body. *The scientific theoretical journal «Sports science bulletin»*, **4**, 59 (2014).
11. Miroshnikov A. B., Formenov A. D., Manidichev S. N., Agapkin S. N., Smolensky A. V. The effect of high-intensity aerobic work on the oxidative abilities of working muscles and blood pressure in athletes of power sports: a randomized controlled cross-sectional study. *Journal of New Medical Technologies*. **26**, 4, 115 (2019).
12. Shchankin A. A., Shchankina G. I., Arbuzov N. N. Hemodynamics and physical activity. *Science Time*. **11** (35), 558 (2016).

13. Tishutin N. A., Malakh O. N., Krestyaninova T. Yu. Analysis of the state and reactivity of hemodynamic parameters in athletes in response to dosed physical activity. *The Journal «Physical culture and health»*. No. 7, p. 141-145 (2020).
14. Xu H, Chu W, Liu X, Zhang S, Yang Z, Zheng J, Gao X, Zhang Z, Cao D. Study on the accuracy of cardiopulmonary physiological measurements by a wearable physiological monitoring system under different activity conditions. *Sheng Wu Yi Xue Gong Cheng Xue Za Zhi*. 37 (1), p. 119-128 (2020).
15. Klassina S. Ya. Hildebrandt index as a prognostic criterion for refusing intense physical activity. *Science and sport: modern tendencies*, **7, 2**, 68 (2019).
16. Petrova T. N., Talantseva V. K., Shilenko O. V., Pinchuk T. V. Comparative characteristics of the functional capabilities of the cardiorespiratory system in student athletes. *Izvestiya TulGU.*, **1**, 100 (2022).

УДК [594-15:57.018](282.247.346.7)

DOI 10.29039/2413-1725-2025-11-1-79-90

СЕЗОННАЯ ДИНАМИКА КАЧЕСТВЕННОГО СОСТАВА И КОЛИЧЕСТВЕННЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ТАКСОЦЕНА MOLLUSCA В Р. БИЮК-КАРАСУ (КРЫМ)

Макаров М. В.

ФГБУН ФИЦ Институт биологии южных морей им. А. О. Ковалевского РАН, Севастополь,
Россия
E-mail: makarov@ibss-ras.ru

Показана сезонная динамика таксономического состава, численности, биомассы моллюсков и размерной структуры некоторых отдельных видов в акватории реки Биюк-Карасу (Карасёвка), являющейся крупнейшим притоком реки Салгир. Также проведено сравнение фауны Mollusca в различных участках отбора проб. Всего отмечено 10 таксонов моллюсков. Средняя численность на разных станциях варьировала от 109 до 359 экз./м². В зависимости от станций преобладали *Limnaea stagnalis* (Linnaeus, 1758), *Physa* sp. и *Planorbis* sp. По сезонам численность значительно менялась – от 0 экз./м² в марте до 2138 экз./м² в ноябре. Средняя биомасса колебалась по станциям от 0,75 г/м² до 6,433 г/м², по сезонам – от 0 г/м² в марте до 29,363 г/м² в декабре. Проанализирована размерная структура массовых и многочисленных видов (*L. stagnalis* и *Physa* sp.). В районе устья реки с января по май и с августа по октябрь доминировали мелкоразмерные особи *L. stagnalis* (менее 10 мм), в июне преобладали моллюски этого вида высотой раковины более 40 мм, в июле – 10–20 мм. В среднем течении реки с октября по декабрь доминировали очень мелкие экземпляры моллюсков *L. stagnalis* (не более 5 мм). Также в этом районе преобладали очень мелкие (не более 3 мм) особи *Physa* sp. в октябре–ноябре и немного большие по размерам (3,1–6 мм) в декабре.

Ключевые слова: таксон, численность, биомасса, размерная структура, распределение.

ВВЕДЕНИЕ

Малые реки являются самыми многочисленными среди водоёмов и водотоков. Из-за их небольшого размера, развивающиеся в них сообщества очень чувствительны к изменению условий окружающей среды [1]. По территории Крыма протекает 1657 рек и временных водотоков общей длиной 5996 км. В горах находятся истоки почти всех рек полуострова. Главный водораздел основных рек смещён на юг и располагается в пределах яйлы Крымских гор. С них реки текут в трёх направлениях: на юг и северо-запад – в Чёрное море, а также на северо-восток – в Азовское море [2, 3]. В соответствии с морфометриями, все реки Крыма разделяются на 4 группы: северо-западных склонов гор (Чёрная, Бельбек, Кача, Альма и Западный Булганак); Южного берега Крыма (Хоста-Баш, Учан-Су, Дерекойка, Авунда, Демерджи и др.); юго-восточной части и Керченского полуострова (Мелек-Чесме, Чорох-Су, Индол и др.); северных склонов гор (бассейн

Салгира) [4]. Река Биюк-Карасу (Карасёвка) – наиболее крупный правый приток Салгира (самой длинной реки в Крыму). Длина реки составляет 86 км, площадь водосборного бассейна – 1160 км², уклон реки 4,37 м/км, среднемноголетний сток на гидропосте Зыбины 1,41 м³/сек [5], в устье – 1,05 м³/сек [6]. Начинается река у подножий горного массива Караби-яйлы, а впадает в р. Салгир в 39 км от его устья в равнинном Крыму около п.г.т. Нижнегорский [5]. Питание реки – смешанное, но с преобладанием дождевого. Режим стока сходен с другими реками Крыма: летняя межень и зимний подъём воды – в 1912 г. после ливня потоком реки был уничтожен целый район Карасубазара [7]. У р. Биюк-Карасу 26 притоков [5]. Организмы макрозообентоса в целом активно участвуют в процессах передачи вещества и энергии, играя таким образом существенную роль в переработке органического материала, главным образом аллохтонного происхождения [8]. Одной из массовых групп (типов) донной макрофауны являются Mollusca.

Цель данной работы – исследовать сезонную динамику и распределение таксономического состава и количественных показателей (численности, биомассы, размерной структуры) таксоцены Mollusca в р. Биюк-Карасу.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Пробы в целом отбирали ежемесячно в январе-декабре 2024 г. ручным дночерпателем площадью 0,04 м² на глубинах 0,05-0,2 м на илистых, глинистых, крупно-песчаных и мелко-галечниковых грунтах. Всего было взято 67 проб на 7 станциях от окрестностей скалы Ак-Кая (Белая скала) в Белогорском районе (среднее течение) до окрестностей с. Новоивановка в Нижнегорском районе (нижнее течение). Однако, почти все пробы отобраны на 3 станциях (ст. М – окрестности с. Мельники Белогорского района условно в среднем течении, с февраля по декабрь (23 пробы, из них 1 качественная); ст. У 1 с января по декабрь (25 проб, включая 3 качественные) и ст. У 2 в феврале и апреле-августе (13 проб: 11 количественных и 2 качественные) – окрестности с. Уваровка в низовьях). Также одноразово взяты 3 пробы (1 качественная) в районе скалы (ск.) Ак-Кая (Белая скала) в июне, в районе с. Новоивановка в марте (2 количественные пробы) и двухразово на ст. У 0 возле с. Уваровка (Нижнегорский район) в августе (одна количественная проба) и сентябре (одна качественная проба) (рис. 1).

В лабораторных условиях отделяли моллюсков от остального макрозообентоса, определяли их по [9], подсчитывали количество особей и взвешивали на торсионных весах с точностью до 0,001 г, затем рассчитывали численность (экз.) и биомассу (г) каждого таксона на единицу площади (м²) дна. Для средней численности и средней биомассы моллюсков приведён доверительный интервал [10]. У брюхоногих моллюсков *L. stagnalis* и *Physa* sp. измеряли высоту раковины (мм) штангенциркулем. Также меряли температуру воды (°C) термометром.

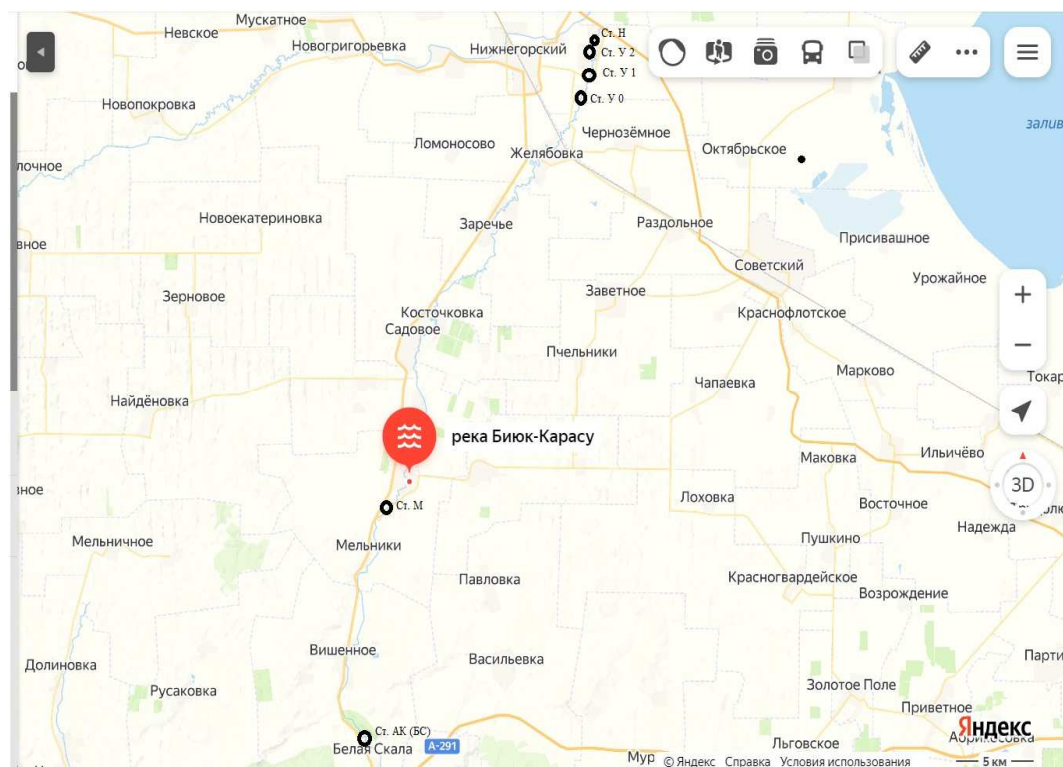


Рис. 1. Схема расположения станций отбора проб.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

В целом в пробах на исследованных участках р. Биук-Карасу в 2024 г. обнаружено 10 таксонов Mollusca, из них 5 относятся к классу Gastropoda и 5 – к Bivalvia (табл. 1).

Поскольку на станциях возле ск. Ак-Кая пробы отобраны лишь единоразово, в таблицу они не вошли.

Mollusca в акватории реки распределены неравномерно. Максимальное количество таксонов моллюсков отмечено на ст. М – 8. Только там встречены двустворчатые моллюски *Dreissena* sp. (вероятно, *Dreissena polymorpha* (Pallas, 2771)) и брюхоногие моллюски *Viviparus* sp. (скорее всего, *Viviparus viviparus* (Linnaeus, 1758)). Эти моллюски были обнаружены в Крыму после завершения строительства Северо-Крымского канала [11]. На ст. М грунт крупно-песчаный и мелко-галечниковый. Очевидно, такой субстрат благоприятен для обитания данных видов. Только на ст. У 2 отмечены представители семейства Hydrobiidae. Это семейство представляет собой космополитическую группу мелких водных Gastropoda, обитающих в постоянных не морских местообитаниях (хотя несколько таксонов обитают в солоноватых прибрежных водах), начиная от небольших водоёмов и заканчивая крупными реками и внутренними морями. Эти моллюски

составляют основной биотический компонент внутренних водоёмов из-за их повсеместного распространения и разнообразия, которое, по критическим оценкам, насчитывает более 100 родов и около 1000 современных видов [12–14].

Таблица 1

Таксономический состав, средняя численность (экз./м², над чертой) и средняя биомасса (г/м², под чертой) Mollusca в реке Биюк-Карасу

Таксон	Ст. М	Ст. У 0	Ст. У 1	Ст. У 2
<i>Bivalvia</i> gen. sp.	<u>3</u> 0,001	<u>0</u> 0	<u>2</u> 0,003	<u>2</u> 0,002
<i>Dreissena</i> sp.	<u>1</u> 0,002	<u>0</u> 0	0	<u>0</u> 0
<i>Pisidium</i> sp.	<u>2</u> 0,002	<u>0</u> 0	<u>11</u> 0,011	<u>0</u> 0
<i>Sphaerium</i> sp.	<u>0</u> 0	<u>25</u> 0,002	<u>3</u> 0,003	<u>0</u> 0
<i>Limnaea stagnalis</i> (Linnaeus, 1758)	<u>103</u> 2,483	<u>100</u> 0,15	<u>63</u> 2,764	<u>48</u> 1,459
Hydrobiidae gen. sp.	<u>0</u> 0	<u>0</u> 0	<u>0</u> 0	<u>2</u> 0,034
<i>Planorbis</i> sp.	<u>8</u> 0,153	<u>25</u> 0,025	<u>17</u> 0,177	<u>50</u> 0,477
<i>Physa</i> sp.	<u>240</u> 3,79	<u>75</u> 0,45	<u>51</u> 1,667	<u>7</u> 0,345
<i>Unio</i> sp.	Кач.	0	Визуальные наблюдения	0
<i>Viviparus</i> sp.	<u>1</u> 0,001	<u>0</u> 0	<u>0</u> 0	<u>0</u> 0
Всего	<u>359±51</u> 6,433±0,875	<u>225±23</u> 0,75±0,09	<u>148±15</u> 4,626±0,623	<u>109±13</u> 2,318±0,3

Три вида встречены на всех исследованных станциях, за исключением одноразовых возле ск. Ак-Кая. Это *L. stagnalis*, *Planorbis* sp. (наиболее вероятно, *P. planorbis* Linnaeus, 1758) и *Physa* sp. (по-видимому, *Physa* (= *Physella*) *acuta* Draparnaud, 1805). Прудовик большой (обыкновенный) *L. stagnalis* относится к семейству Limnaeidae, является стенобатным мелководным видом и стагнофилом, а также склонным к пелофильности – он предпочитает заиленные субстраты. Молодые особи данного моллюска служат кормовой базой для бентосоядных рыб, водоплавающих, околородных и болотных птиц. По типу питания моллюск *L. stagnalis* – фитофил. Его можно наблюдать во всех горизонтальных ярусах макрофитов – от поверхности воды до дна, но преимущественно прудовик заселяет прибрежную зону зарослей водоёмов [15]. Этот вид обитает и в других реках

Крыма, например, в Салгире и Чёрной, а также в Бахчисарайском водохранилище [16–18].

Катушка *Planorbis* sp. широко распространена в Крыму. Помимо р. Биюк-Карасу, она отмечена также в реках Салгир, Чёрная, различных прудах, каналах и даже в заливе Донузлав [16, 17].

Моллюск *Ph. acuta* – относительно недавний вселенец во внутренние воды Крыма, широко расселившийся здесь к настоящему времени. Впервые он отмечен в последней четверти XX в. [19]. Моллюск обнаружен как в водотоках, так и в стоячих водоёмах предгорной зоны, Восточного Крыма и Южного берега Крыма (ЮБК). Причём в пределах первых двух из вышеупомянутых районов он встречается преимущественно в естественных водоёмах, в то время как на ЮБК отдаёт предпочтение искусственным водоёмам. В последних *Ph. acuta* нередко образовывал огромные скопления – до 2–3 тыс. экз./м². Это стенобатный вид, заселяющий неглубокие участки водоёмов (до 15–58 см). Хорошо переносит загрязнение воды бытовыми отходами [20]. Обитает данный моллюск, например, в р. Гува [21]. В её устье он отмечен автором в единичном экземпляре и летом 2024 г.

В районе ск. Ак-Кая моллюсков почти не было, только в качественной пробе отмечен двустворчатый моллюск, предположительно относящийся к роду *Pisidium*.

На ст. М в июле в качественной пробе и на ст. У 1 в августе при визуальном наблюдении обнаружены по 1 экз. двустворчатого моллюска *Unio* sp. (перловицы).

Средняя численность Mollusca в акватории реки Биюк-Карасу колебалась от 109±13 экз./м² на ст. У 0 до 359±51 экз./м² на ст. М, в среднем составляла 198±24 экз./м². В целом, преобладала физы (106 экз./м²), однако, на различных станциях доминировали разные виды. Так, на ст. М наиболее многочисленна *Physa* sp., на ст. У 1 и У 0 – *L. stagnalis*, на ст. У 2 – *Planorbis* sp. Такие отличия могут быть связаны с особенностями биотопов. В районе с. Мельники в р. Биюк-Карасу крупно-песчаный и мелко-галечниковый субстрат и более быстрое течение, в окрестностях с. Уваровка илистый грунт, иногда с примесью глины, много растительности и медленное течение, что благоприятно для прудовиков, а в межень река почти или даже совсем (на ст. У 2) пересыхает.

Средняя биомасса моллюсков варьировала от 0,75±0,09 г/м² на ст. У 0 до 6,433±0,875 г/м² на ст. М, в среднем 3,831±0,496 г/м². Доминирование видов по биомассе на различных станциях почти такое же, как и по численности, за исключением ст. У 2, где вместо относительно мелкой катушки *Planorbis* sp. преобладал достаточно крупный прудовик *L. stagnalis*.

В сезонной динамике таксоцена Mollusca, численность и биомасса показаны на ст. М и У 1, где пробы взяты почти во все месяцы 2024 г. (рис. 2, 3).

Сезонные изменения на данных станциях различаются. На ст. У 1 небольшие максимумы отмечены в июле и немного в меньшей степени, октябре. Летом повышение численности обусловлено увеличением данного показателя *L. stagnalis*, осенью – *Physa* sp. На ст. М пик численности в ноябре также связан с высоким показателем физы. Наибольшая численность прудовиков на ст. У 1 совпала с максимальной температурой воды там (+ 32 °C). Для сравнения, в водоёмах и водотоках Татарстана максимальная активность *L. stagnalis* также наблюдалась в

тёплый период, с мая по сентябрь [15]. Высокий пик численности прудовиков, катушек и физ с июля по сентябрь отмечался и в р. Шу в Казахстане, что объясняется увеличением численности за счёт появления первой и второй генерации молоди моллюсков [22]. Единственный месяц, когда моллюски на р. Бюк-Карасу не были обнаружены на обеих станциях – март. Вероятно, многие особи прошлого года тогда уже умерли, а новое ещё не появилось. В сентябре на ст. У 1 река почти пересохла, вместо неё наблюдалась лишь маленькая лужа размером примерно 20 на 5 м и в ней была отобрана только одна качественная проба, в которой встречены прудовики и катушки.

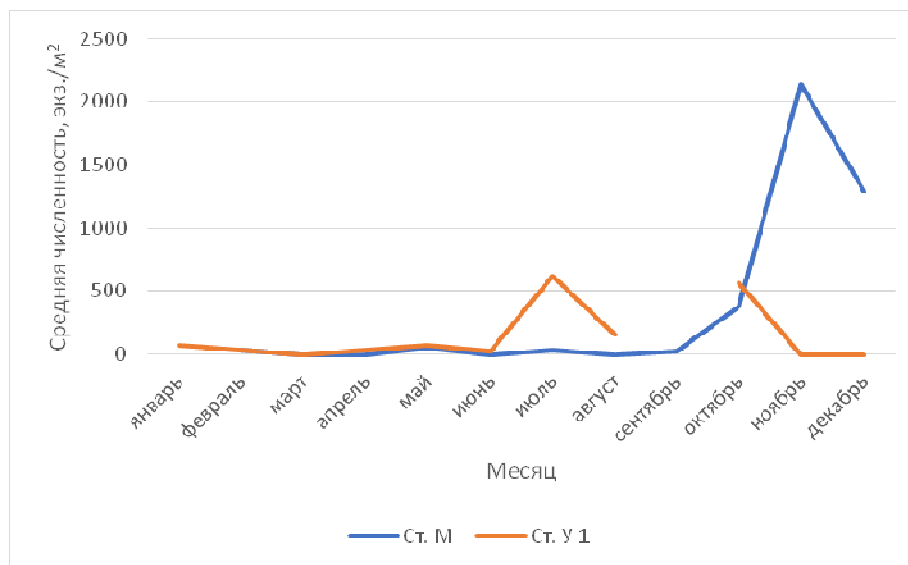


Рис. 2. Сезонная динамика численности Mollusca в р. Бюк-Карасу.

В сезонной динамике биомассы тенденции немного похожие с изменениями численности.

Также отмечены максимумы на ст. У 1 в июле и октябре за счёт прудовиков, но на ст. М наибольшая биомасса была не в ноябре, как максимальная численность, а в декабре тоже благодаря физам. Небольшие повышения биомассы на ст. У 1 в январе и апреле происходили из-за прудовиков.

Показана размерная структура прудовиков и физ в районе сёл Уваровка и Мельники (рис. 4, 5, 6).

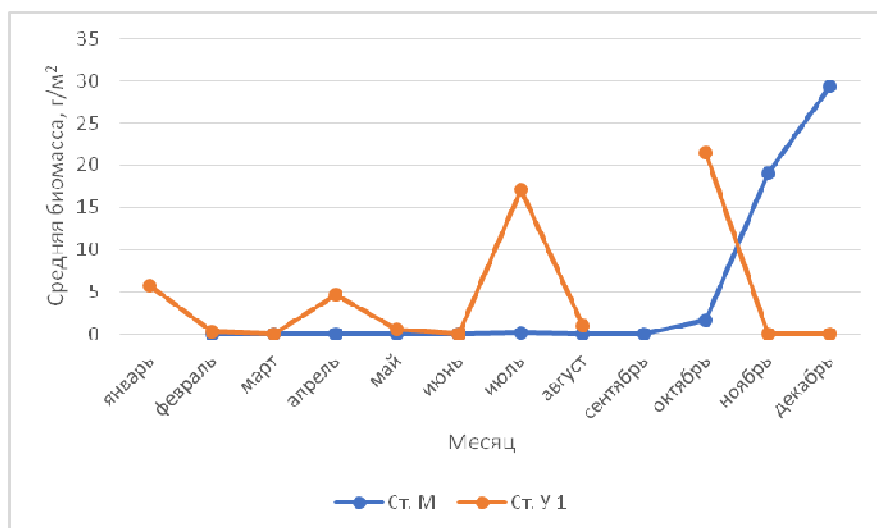


Рис. 3. Сезонная динамика биомассы Mollusca в акватории р. Биюк-Карасу.

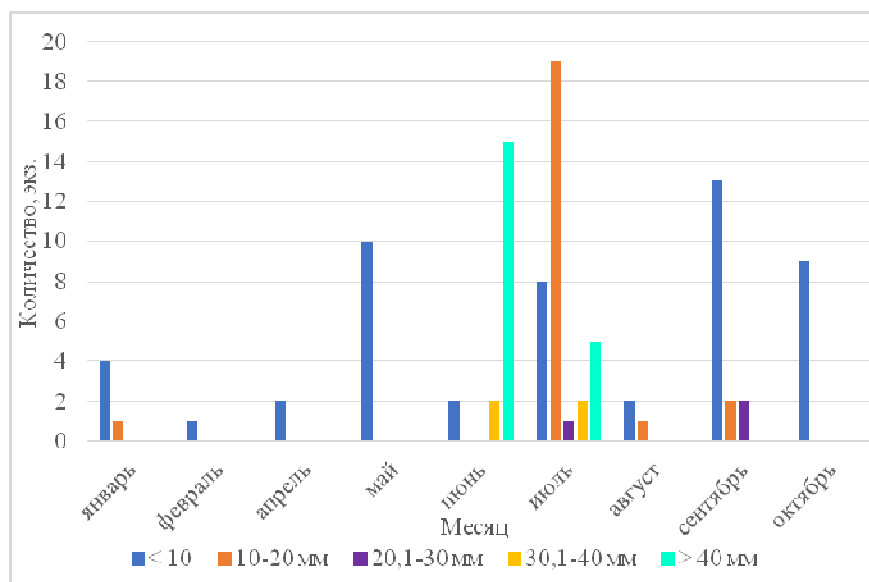


Рис. 4. Размерная структура *L. stagnalis* в окрестностях с. Уваровка.

Почти во все месяцы преобладала размерная группа менее 10 мм, только в июне доминировали особи высотой раковины более 40 мм, а в июле размером 10–20 мм. В марте моллюски не обнаружены. В целом, прудовики в р. Биюк-Карасу относительно мелкие. Наиболее крупный экземпляр был встречен в июне (51,4 мм). Хотя высота раковин моллюсков *L. stagnalis* может достигать 70 мм [15].

На ст. М возле с. Мельники показана размерная структура прудовиков и физ в октябре-декабре, когда было их наибольшее количество.

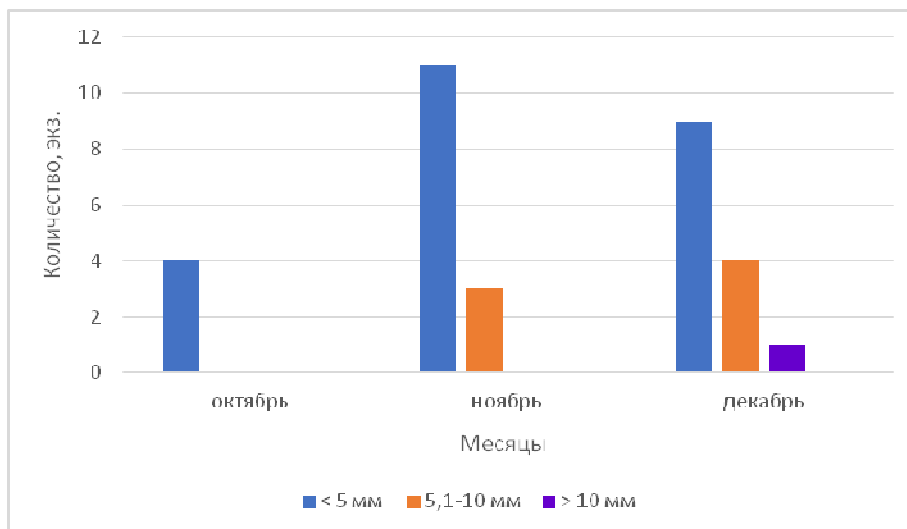


Рис. 5. Размерная структура *L. stagnalis* в окрестностях с. Мельники.

В этом районе в октябре преобладали мелкоразмерные особи, очевидно, появившиеся в тёплый период года. В ноябре они подросли, но и много молоди, поэтому уже представлены две размерные группы, а в декабре, когда прудовики ещё выросли, отмечены 3 группы. Мелкоразмерные группы по-прежнему доминировали, но в меньшей мере.

В динамике размерной структуры физ наблюдалась похожая тенденция.

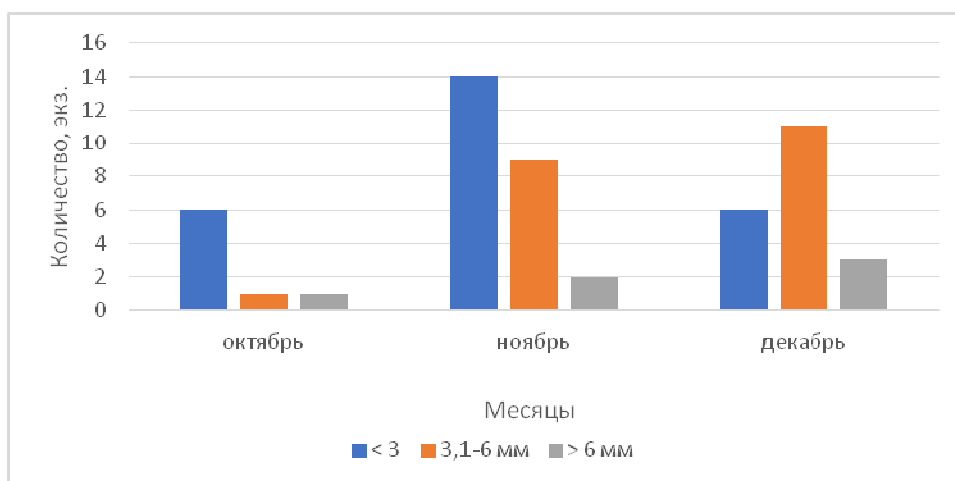


Рис. 6. Размерная структура *Physa* sp. в окрестностях с. Мельники.

В октябре были представлены практически только мелкоразмерные моллюски нового поколения. В ноябре их стало ещё больше, но возросла доля и среднеразмерных особей. В декабре мелких физ было меньше (вероятно, период размножения завершился), а средних по высоте раковины – больше. Также немного увеличилась доля крупноразмерных моллюсков.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В исследованных районах акватории реки Биюк-Карасу (Карасёвка) в январе-декабре 2024 г. в пробах отмечено 10 таксонов моллюсков, из них по 5 относились к классам Bivalvia и Gastropoda. Максимальное количество видов (8) обнаружено на ст. М в окрестностях с. Мельники. Средняя численность на различных станциях варьировала от 109 (ст. У 2) до 359 (ст. М) экз./м². В зависимости от станций преобладали разные брюхоногие моллюски: *Limnaea stagnalis* на ст. У 1 и У 0, *Physa* sp. на ст. М и *Planorbis* sp. на ст. У 2. По сезонам средняя численность значительно менялась – от 0 экз./м² в марте до 2138 экз./м² в ноябре. Средняя биомасса колебалась по станциям от 0,75 г/м² (ст. У 0) до 6,433 г/м² (ст. М). Доминирование видов на различных станциях почти такое же, как и по численности, кроме ст. У 2, где вместо *Planorbis* sp. преобладал *L. stagnalis*. По сезонам средняя биомасса существенно варьировала от 0 г/м² в марте до 29,363 г/м² в декабре. В динамике размерной структуры массовых и многочисленных видов (*L. stagnalis* и *Physa* sp.) в районе устья реки с января по май и с августа по октябрь доминировали мелкоразмерные особи *L. stagnalis* (менее 10 мм), в июне преобладали моллюски данного вида высотой раковины более 40 мм, в июле – 10–20 мм. В среднем течении реки (ст. М) с октября по декабрь доминировали мелкие экземпляры моллюсков *L. stagnalis* (не более 5 мм). Преобладающие особи *Physa* sp. в этом районе также были мелкими в октябре-ноябре (не более 3 мм) и немного большими (3,1–6 мм) в декабре.

БЛАГОДАРНОСТИ

Автор признателен за помощь в экспедициях, в которых был собран материал для данной статьи, сотрудникам ФГБУН ФИЦ ИнБЮМ: Белоусовой Ю. В., Витер Т. В., Литвину Ю. И., Лозовскому В. Л., Ляху А. М., Поляковой Т. А. и Пронькиной Н. В.

Работа выполнена в рамках государственного задания ФИЦ ИнБЮМ по теме «Биоразнообразие как основа устойчивого функционирования морских экосистем, критерии и научные принципы его сохранения» (№ гос. регистрации 124022400148-4).

Список литературы

1. Сенкевич В. А. Зоопланктонные сообщества малых рек лесостепной зоны / В. А. Сенкевич // Перспективы и проблемы современной гидробиологии: Материалы Всероссийской молодежной гидробиологической конференции, Борок, 10-13 ноября 2016 г. – Ярославль: Филигрань. 2016. – С. 138–140.

2. Олиферов А. Н. Реки и озёра Крыма / А. Н. Олиферов, З. В. Тимченко – Симферополь: Доля, 2005. – 214 с.
3. Поверхностные водные объекты Крыма / [Под ред. А. А. Лисовского]. – Симферополь: КРП «Издательство «Крымучпедгис», 2011. – 242 с.
4. Сасикова Н. С. Состояние зооценозов рек западной части северного макросклона Горного Крыма / Н. С. Сасикова, А. Е. Хаджиди, А. С. Самарцева, Н. А. Чижевская // Экосистемы. – 2023. – Вып. 34. – С. 156–162.
5. Лисовский А. А. Поверхностные водные объекты Крыма (справочник) / А. А. Лисовский, В. А. Новик, З. В. Тимченко, З. Р. Мустафаева. – Симферополь: Рескомводхоз АРК, 2004. – 114 с.
6. Боровский Б. И. Гидроэнергетические потенциалы крымских рек / Б. И. Боровский, З. В. Тимченко // Строительство и техногенная безопасность. – 2005. – № 10. – С. 182–186. doi:10.37279/2413-1873.
7. Кельтсер К. Д. К вопросу об упорядочении водного хозяйства в Крыму / К. Д. Кельтсер. – Ялта: Типография Н. Р. Лупандиной, 1913. – 28 с.
8. Прокопов Г. А. Трофические взаимодействия в сообществах макрозообентоса эпиритрали рек Крыма / Г. А. Прокопов // Ученые записки ТНУ. Серия: География. – 2004. – Т. 17 (56), № 3 – С. 91–98.
9. Жадин В. И. Моллюски пресных и солоноватых вод СССР / В. И. Жадин // Определители по фауне СССР, издаваемые Зоол. инст. АН СССР. – М. Л.: Изд-во АН СССР. – 1952. – Т. 46. – 376 с.
10. Холодов В. И. Планирование экспериментов в гидробиологических исследованиях / В. И. Холодов. – Симферополь: Н. Оріанда, 2016. – 196 с.
11. Журавель П. А. О расселении моллюсков по водоемам Украины и Крыма через каналы, оросительные системы и трубопроводы / П. А. Журавель, М. М. Боголюбова, Н. И. Загубиженко // Моллюски и их роль в экосистемах. – Л.: Наука, 1968. – С. 29–30.
12. Bow K. J. Critical Estimate of the Number of Recent Mollusca / K. J. Bow // Occasional Papers on Mollusks. – 1971. – Vol. 3, No 40. – P. 81–135.
13. Taylor D. W. An Outline of Gastropod Classification / D. W. Taylor, N. F. Sohl // Malacologia. – 1962. – Vol. 1, No 1. – P. 7–32.
14. Ponder W. F. The Truncatelloidean (=Rissoacean) Radiation—A Preliminary Phytogeny: Prosobranch Phylogeny / W. F. Ponder // Malacological Review, Supplement. – 1980. – Vol. 4. – P. 129–164.
15. Шимкович Е. Д. Экологические особенности прудовика большого *Lymnaea stagnalis* s. l. (Gastropoda, Lymnaeidae) в водоемах Татарстана / Е. Д. Шимкович // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Естественные науки. – 2016. – № 2 (14). – С. 11–18. DOI: 10.21685/2307-9150-2016-2-2.
16. Прокопов Г. А. Пресноводная фауна бассейна р. Черной / Г. А. Прокопов // Вопросы развития Крыма. Научно-практический дискуссионно-аналитический сборник. Выпуск 15. Проблемы инвентаризации крымской биоты. – Симферополь: Таврия-плюс, 2003. – С. 151–174.
17. Стенько Р. П. Личинки трематод пресноводных гидробионтов Крыма / Р. П. Стенько // Вопросы развития Крыма. Научно-практический дискуссионно-аналитический сборник. Выпуск 15. Проблемы инвентаризации крымской биоты. – Симферополь: Таврия-плюс, 2003. – С. 175–181.
18. Макаров М. В. Донная макрофауна некоторых рек северо-западных склонов Крымских гор / М. В. Макаров, Т. В. Витер, М. А. Ковалева // Ученые записки Крымского федерального университета им. В. И. Вернадского. Биология. Химия. 2024. – Т. 10, № 4. – С. 132–143. <https://doi.org/10.29039/2413-1725-024-10-4-132-143>.
19. Стадниченко А. П. К характеристике пресноводной малакофауны Крыма / А. П. Стадниченко // Моллюски. Их система, эволюция и роль в природе. – Л.: Наука, 1975. – С. 67–68.
20. Богачова А. Н. Пресноводные моллюски в урбосистемах Крыма / А. Н. Богачова, Ю. В. Тарасова Шубарт, А. П. Стадниченко // Инженерные технологии и системы. – 2009. – Вып. 1. – С. 11–13.
21. Прокопов Г. А. Эколого-географический анализ реки Гува (Южный берег Крыма) на основе продольного распределения организмов макрозообентоса / Г. А. Прокопов // Ученые записки Таврического национального университета им. В. И. Вернадского. Серия: География. – 2001. – Т. 14, №1. – С. 102–107.

22. Сатыбалдиева Г. К. Особенности распространения, роста и развития массовых видов водных моллюсков р. Шу / Г. К. Сатыбалдиева // Вестник Казахского национального университета. Серия биологическая. – 2011. – Т. 49, №3. – С. 121–124.

SEASONAL DYNAMICS OF QUALITATIVE COMPOSITION AND QUANTITATIVE INDICATORS OF TAXOCENE MOLLUSKS OF THE BIYUK- KARASU RIVER (CRIMEA)

Makarov M. V.

*Institute of biology of the southern seas RAS, Sevastopol, Russia
E-mail: makarov@ibss-ras.ru*

The seasonal dynamics of the taxonomic composition, average abundance, average biomass of mollusks and the size structure of some individual species in the waters of the Biyuk-Karasu River (Karasevka), which is the largest tributary of the Salgir River, from January to December 2024 were shown. The Mollusca fauna was also compared in different sampling sites, but mostly in 3 stations. In this river 10 taxa of mollusks, belonging to classes Gastropoda (5 species) and Bivalvia (5 species) in total were found. Only, three taxons were found at all the studied stations, with the exception of one-time ones near the Ak-Kai (Belaya) rock area. The maximum number of taxa of mollusks during the year was noted at station M – 8, including 1 specimen of the bivalve mollusk *Unio* sp. which was taken in July at this station in one qualitative sample. The average abundance at different stations ranged from 109 (station U 0) to 359 (station M) ind./m². Depending on the stations, gastropods *Limnaea stagnalis* (Linnaeus, 1758) (in stations U 0 and U 1), *Physa* sp. (in station M) and *Planorbis* sp. (in station U 2) in average were prevailed. Such differences may be related to the characteristics of biotopes in these areas. Average abundance also varied significantly depending on the seasons, from 0 ind./m² in March to 2138 ind./m² in November, due to the high abundance of *Physa* sp. in this month at the station M. The average biomass ranged at the stations: from 0.75 g/m² (station U 0) to 6.433 g/m² (station M). The dominance of species at different stations is almost the same as in abundance, except for station U 2, where *L. stagnalis* prevailed instead of *Planorbis* sp. By seasons average biomass changing from 0 g/m² in March to 29.363 g/m² in December, due to the high biomass (as well as abundance) of *Physa* sp. in this month at the station M. The size structure of mass and numerous species (*L. stagnalis* and *Physa* sp.) was analyzed. In the area of the river mouth near village Uvarovka, from January to May and from August to October, small-sized *L. stagnalis* specimens (less than 10 mm) dominated, but in June, mollusks of this species with a shell height of more than 40 mm prevailed, in July – 10–20 mm. Conditionally in the middle course of the river near village Melniki from October to December, very small specimens of *L. stagnalis* mollusks (no more than 5 mm) dominated. Also, in this station very small (no more than 3 mm) individuals of *Physa* sp. predominated in this area in October–November and slightly larger (3.1–6 mm) in December.

Keywords: taxon, abundance, biomass, size structure, distribution.

References

1. Senkevich V. A. Zooplankton communities of small rivers of the forest-steppe zone. *Proceedings of the All-Russian Youth Hydrobiological Conference: Prospects and problems of modern hydrobiology* (Borok, november, 10-13, 2016), 138 (In Russ.).
2. Oliferov A. N. *Rivers and lakes of Crimea*, 214 p. (Simferopol: Dolya, 2005). (In Russ.).
3. *Surface water bodies of Crimea*. Edited by Lisovsky A. A., 242 p. (Simferopol: KRP Uchpedgiz, 2011). (In Russ.).
4. Sasikova N. S., Hadjidi A. E., Samartseva A. S., Chizhevskaya N. A. Research of qualitative and quantitative characteristics of zoocenoses of rivers in the western part of the northern slope of the Crimean Peninsula. *Ecosystems*, **34**, 156 (2023). (In Russ.).
5. Lisovsky A. A., Novik V. A., Timchenko Z. V., Mustafaeva Z. R. *Surface water bodies of Crimea (reference book)*, 114 p. (Simferopol: Reskomvodkhov ARC, 2004). (In Russ.).
6. Borovskiy B. I., Timchenko Z. V. Hydropower potentials of the Crimean rivers. *Construction and man-made safety*. **10**, 182 (2005). doi:10.37279/2413-1873. (In Russ.).
7. Keltser K. D. *On the issue of streamlining water management in Crimea*, 28 p. (Yalta: Printing house of N. R. Lupandina, 1913). (In Russ.).
8. Prokopov G. A. Trophic interactions in macrozoobenthos communities of epirithralia of Crimean rivers. *Scientific Notes of V.I. Vernadsky Tavrida National University. Geography*, **17 (56)**, **3**, 91 (2004). (In Russ.).
9. Zhadin V. I. *Mollusks of fresh and brackish waters of the USSR. Definitions of the fauna of the USSR, published by the Zool. inst. of the USSR Academy of Sciences*. **46**, 376 p. (Moscow-Leningrad, 1952). (In Russ.).
10. Holodov V. I. *Planning of experiments in hydrobiological research*, 196 p. (Simferopol, N. Orianda, 2016). (In Russ.).
11. Zhuravel P. A., Bogolyubova M. M., Zagubizhenko N. I. On the settlement of mollusks in the reservoirs of Ukraine and Crimea through canals, irrigation systems and pipelines. *Mollusks and their role in ecosystems*, 29 (1968). (In Russ.).
12. Bow K. J. Critical Estimate of the Number of Recent Mollusca. *Occasional Papers on Mollusks*, **3 (40)**, **81** (1971).
13. Taylor D. W., Sohl N. F. An Outline of Gastropod Classification. *Malacologia*, **1 (1)**, 7 (1962).
14. Ponder W. F. The Truncatelloidean (=Rissoocean) Radiation—A Preliminary Phytogeny: Prosobranch Phylogeny. *Malacological Review, Supplement*, **4**, 129 (1980).
15. Shimkovich E. D. Ecological features of the large pondweed *Lymnaea stagnalis* s. l. (Gastropoda, Lymnaeidae) in water bodies of Tatarstan. *University News. Volga region. Natural sciences*, **2 (14)**, 11 (2016). DOI: 10.21685/2307-9150-2016-2-2. (In Russ.).
16. Prokopov G. A. Freshwater fauna of the Chernaya River basin. *Issues of Crimean development. Scientific and practical discussion and analytical proceedings. Problems of Crimean biota inventory* (Simferopol: Tavriya-plus, 2003), **15**, 151. (In Russ.).
17. Stenko R. P. Larvae of trematodes of freshwater aquatic organisms of Crimea. *Issues of Crimean development. Scientific and practical discussion and analytical proceedings. Problems of Crimean biota inventory* (Simferopol: Tavriya-plus, 2003), **15**, 175 (In Russ.).
18. Makarov M. V., Viter T. V., Kovaleva M. A. Bottom macrofauna of some rivers of the north-western slopes of the Crimean Mountains. *Scientific Notes of V.I. Vernadsky Crimean Federal University. Biology. Chemistry*, **10 (76)**, **4**, 132 (2024). (In Russ.).
19. Stadnichenko A. P. Characterization of freshwater malacofauna of Crimea. *Mollusks. Their system, evolution and role in nature* (Leningrad: Nauka, 1975), 67. (In Russ.).
20. Bogachova A. N., Tarasova Subrat Yu. V., Stadnichenko A. P. Freshwater mollusks in the urban systems of Crimea. *Engineering technologies and systems*, **1**, 11 (2009). (In Russ.).
21. Prokopov G. A. Ecological and geographical analysis of the Guva River (Southern coast of Crimea) based on the longitudinal distribution of macrozoobenthos organisms *Scientific Notes of V.I. Vernadsky Tavrida National University. Geography*, **14 (1)**, 102, 2001. (In Russ.).
22. Satybaldieva G. K. Features of distribution, growth and development of mass species of aquatic mollusks of the Shu River. *Bulletin of the Kazakh National University. The series is biological*, **49 (3)**, 121 (2011). (In Russ.).

УДК 582. 33/34

DOI 10.29039/2413-1725-2025-11-1-91-110

**БРИОФЛОРА ДЕЙСТВУЮЩИХ И ПЕРСПЕКТИВНЫХ
ОХРАНЯЕМЫХ ТЕРРИТОРИЙ КАЛАЧСКОГО ОВРАЖНО-БАЛОЧНОГО
ЮЖНОЛЕСОСТЕПНОГО ЛАНДШАФТНОГО РАЙОНА, ВОРОНЕЖСКАЯ
ОБЛАСТЬ (ЧАСТЬ 1)**

Попова Н. Н.

***ФГБОУ ВО «Воронежская государственная академия спорта», Воронеж, Россия
E-mail: leskea@vmail.ru***

В статье представлены материалы по бриофлоре охраняемых территорий Калачского овражно-балочного южнолесостепного района, расположенного в центральной части Воронежской области к востоку от долины р. Дон. Изучены все действующие ООПТ, а также проектируемые и перспективные объекты (более 80). В Части 1 статьи охарактеризован видовой состав мохообразных изучаемого района и типичных ландшафтов, представленных на его территории. В составе бриофлоры выявлено 146 видов, из них 19 видов занесены Красную книгу Воронежской области; 3 вида рекомендовано включить в следующее издание. У 12 видов ни одно из известных местонахождений не имеет охранного статуса; у прочих видов – лишь 30–50 % местонахождений находятся на ООПТ. Такие типы урочищ как дубравы с выходами коренных пород, галофитные группировки, ковыльные степи на лессовидных почвах, пойменные сообщества, песчаные степи и старовозрастные искусственные сосняки на надпойменных террасах рек в сети ООПТ представлены недостаточно. В Части 2 дана бриологическая характеристика действующих и перспективных объектов. В целях повышения уровня репрезентативности сети ООПТ Воронежской области даны рекомендации по ее оптимизации.

Ключевые слова: бриофлора, видовое разнообразие, Красная книга, мохообразные, охраняемые территории, памятники природы, редкие виды, репрезентативность.

ВВЕДЕНИЕ

Одним из перспективных направлений в оценке репрезентативности региональной сети охраняемых территорий является ландшафтно-экологический подход, эффективность которого показана нами на примере Воронежской области [1–4]. В настоящее время число ООПТ Воронежской области составляет более 200, а в перспективе эта цифра существенно повысится [5, 6]. В связи с обилием неравнозначных по площадям и значению объектов, числящихся как среди действующих, так и среди проектируемых ООПТ, необходимость комплексной ревизии является актуальной. Цель данного исследования заключается в оценке репрезентативности сети ООПТ Калачского овражно-балочного южнолесостепного ландшафтного района лесостепной провинции Среднерусской провинции (далее Калачского ландшафтного района) в аспекте сохранения биоразнообразия такого компонента биоты как мохообразные.

Калачский овражно-балочный южнолесостепной ландшафтный район (рис. 1), площадью более 10000 км², расположен в центральной части Воронежской области, на западе и востоке его границами служат соответственно долины Дона и нижнего течения Хопра, южная граница совпадает с южной границей лесостепной зоны и проходит по долинам рек Подгорная, Манина и идет дальше к долине Хопра (Волгоградская область); северная граница района совпадает с северной окраиной Калачской возвышенности и орографически выражена слабо [7, 8]. В административном плане в состав района входят Бутурлиновский, Воробьевский, Калачеевский (различие в названиях «Калачский» и «Калачеевский» является официальным), Павловский, частично Бобровский, Верхнемамонский, Новохоперский, Таловский районы.

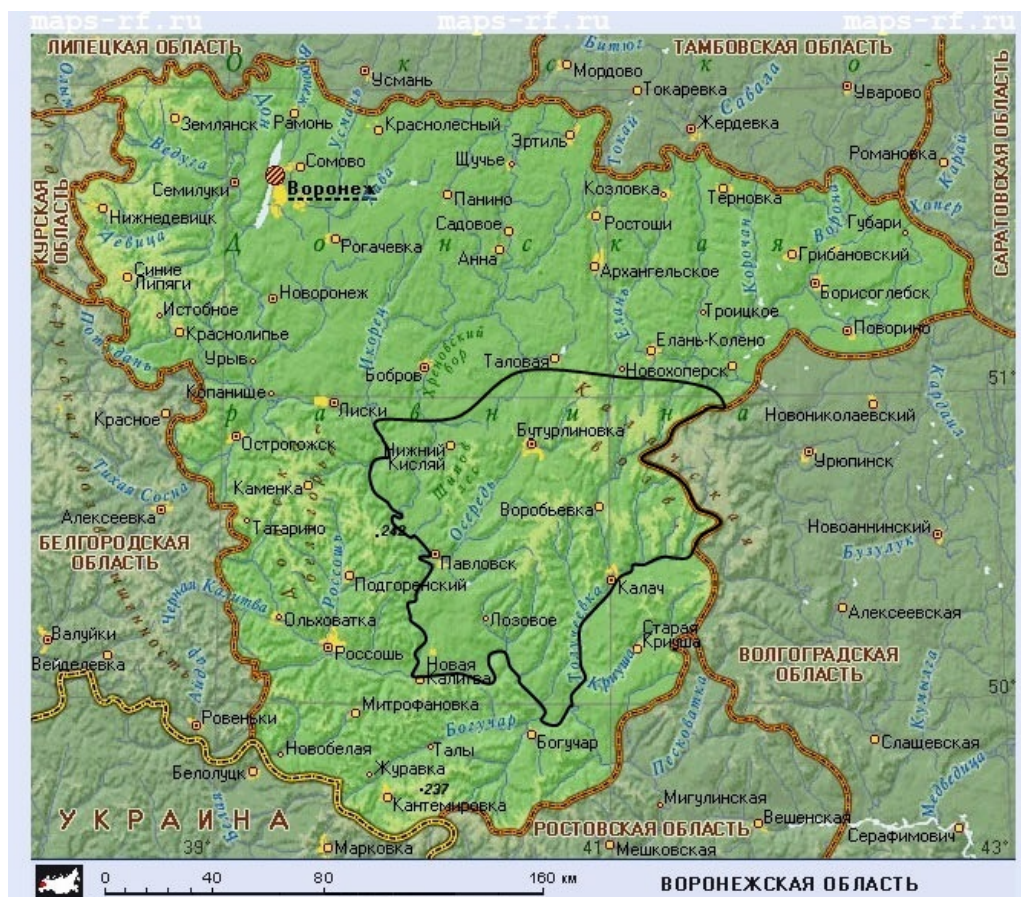


Рис. 1. Калачский овражно-балочный южнолесостепной ландшафтный район на карте Воронежской области.

Территория района представляет собой возвышенную глубоко расчлененную равнину высотой около 200–220 м н.у.м. Рельефообразующими являются породы

верхнего мела – писчий мел туронского яруса и мергели, повсеместно обнажающиеся по склонам речных долин и балок. Выше них на водоразделах лежат пестроцветные песчано-глинистые породы палеогена, прикрытые четвертичными отложениями морены днепровского оледенения, далее переходящие в безвалунные суглинки. Пологие склоны долин и балок сложены делювиальными суглинками значительной мощности. Климат района умеренно сухой и континентальный, годовая сумма осадков – 460–520 мм. Гидрографическая сеть представлена реками Дон, Толучеевка, Подгорная, Осередь. Почвы района представлены преимущественно обыкновенными черноземами, кроме того, распространены песчаные почвы, супеси (надпойменные террасы), лугово-черноземные (поймы), карбонатные черноземы (склон балок и долин с выходами мела), серые лесные почвы (в местах произрастания крупных водораздельных дубрав), солонцы (склоны балок). Ландшафтно-экологическая контрастность района обусловила разнообразие растительного покрова; имеют место крупные массивы водораздельные дубрав (Шипов лес, Третьяк, Закалач), кальцефитно-петрофитные и галофитные степи, пойменные сообщества и др.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Сборы мохообразных проводились в 1982–84 и 2014–24 годы маршрутным методом. Количество изученных объектов – более 80. Камеральная обработка осуществлялась с применением общепринятых бриологических методик. Идентифицировано более 1500 образцов. Гербарные сборы хранятся в фондовом гербарии заповедника «Галичья гора» (VU). Бриологические материалы, касающиеся изучаемого района, отражены в ряде публикаций [9–15].

Сеть действующих ООПТ на территории Калачского ландшафтного района включает 1 государственный федеральный заказник «Каменная степь», 2 государственных региональных природных заказника («Великоархангельский», «Рассыпной яр»), 1 природный ландшафтный парк («Ломы») и 24 памятника природы областного значения [5]; количество проектируемых ООПТ – более 40 [6].

Номенклатура видов дана по сводкам мхов и печеночников России [16, 17]. Принятые сокращения: ГПЗ – государственный природный заказник, ЛР – ландшафтный район, ПП – памятник природы, ДПП – действующий ПП, ППП – проектируемый ПП; нп. – населенный пункт, окр. – окрестности, р-н – район, хут. – хутор.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Видовой состав мохообразных Калачского овражно-балочного южнолесостепного ландшафтного района

В Таблице 1 представлен список выявленных мохообразных. Для каждого вида указаны: активность в баллах, приуроченность к местообитаниям, а также порядковый номер объекта, характеристика которых дана в Части 2 данной статьи. Местонахождения редких и интересных видов вне перечисленных в тексте

перспективных ООПТ: 55 – Воробьевский р-н, правобережье р. Толучеевки в окр. с. Верхнее Толучеево, 56 – тот же р-н, правобережье р. Толучеевки у с. Серяково; 57 – Верхнемамонский р-н, родник в с. Лозовое, 58 – тот же р-н, р. Суходол у с. Гороховка, 59 – тот же р-н, северо-восточная окраина с. Нижний Мамон; 60 – Павловский р-н, песчаный карьер у с. Русская Буйловка, 61 – тот же р-н, искусственный сосняк у с. Желдаковка; 62 – Таловский р-н, степные склоны у пос. Козловский, 63 – дубрава в окр. пос. Анохинский.

Таблица 1

**Видовой состав мохообразных Калачского овражно-балочного
южнолесостепного ландшафтного района**

Вид	А	Ландшафты	Пункты
<i>Abietinella abietina</i> (Hedw.) M. Fleisch.	4	П, ИУ, СМ, СЧ, ДП, Д, ДМ, ПМ, С	1-4, 6-8, 10, 11, 14-22, 24-29, 31, 33, 38, 40, 42, 46, 49-51, 53
<i>Aloina rigida</i> (Hedw.) Limpr.	1	ИУ, СМ	17, 31
<i>Amblystegium serpens</i> (Hedw.) Bruch et al.	3	П, ИУ, Р, СГ, СМ, КГ, ДП, Д, ДМ, Л, О, С	1, 3-35, 38-48, 50-52, 54
<i>Anomodon viticulosus</i> (Hedw.) Hook. et Taylor	2	П, ДП, Д, ДМ	3, 16, 25, 41, 42, 44
<i>Anomodontella longifolia</i> (Schleich. Ex Brid.) Ignatov & Ignatova	3	П, ДП, Д, ДМ	3, 11, 15, 16, 25, 29, 33, 38, 41, 42, 44, 63
<i>Atrichum flavisetum</i> Mitt.	1	ИУ	29
<i>A. undulatum</i> (Hedw.) P. Beauv.	3	ИУ, ДП, Д, ДМ, С	3, 4, 10, 12, 15-17, 19, 22, 23, 25, 26, 28-30, 33, 38, 42, 44, 48, 51
<i>Barbula convoluta</i> Hedw.	1	КГ, Д	35, 42, 51
<i>B. unguiculata</i> Hedw.	4	П, Р, ИУ, КГ, СГ, СМ, СЧ, СК, ДП, Д, ДМ, Л, ПМ	1-5, 9, 11, 14-42, 44, 46-54
<i>Brachytheciastrum velutinum</i> (Hedw.) Ignatov et Huttunen	4	П, ИУ, ГК, ДП, Д, ДМ, С	1, 4, 8, 10-12, 15-17, 19, 21-23, 25, 26, 28-30, 33, 35, 38, 40-42, 44, 47, 50, 52
<i>Brachythecium albicans</i> (Hedw.) Bruch et al.	5	СГ, ГК, СК, Д, С	4, 10, 11, 19, 22, 24, 28, 32, 33, 36, 37, 42, 47, 48, 51
<i>B. campestre</i> (Muell. Hal.) Bruch et al.	5	П, Р, СГ, СМ, СК, СЧ, КГ, ИУ, ДП, Д, ДМ, Л, ПМ, С	1-4, 6, 7, 11, 12, 14-22, 24-33, 35-38, 40, 42, 44, 46, 49, 50, 51-54
<i>B. glareosum</i> (Bruch ex Spruce) Bruch et al.	3	СГ, СМ, ИУ	17, 28, 29, 35, 37, 50, 53, 56
<i>B. mildeanum</i> (Schimp.) Schimp.	3	П, Р, СГ, ДП, Д, Л, О	4, 11, 19, 28, 31, 33, 35, 39, 40-43, 50, 51
<i>B. rivulare</i> Bruch et al.	2	Р	19, 56

Продолжение таблицы 1

<i>B. rotaeanum</i> De Not	3	П, ДП, Д, ДМ	3, 12, 16, 18, 19, 22, 25, 29, 30, 33, 38, 39, 41, 51, 52
<i>B. rutabulum</i> (Hedw.) Bruch et al.	2	Р, ДП, О, Д, ДМ	10, 16, 21, 25, 30, 38, 42, 44, 59, 51
<i>B. salebrosum</i> (F. Weber et D. Mohr.) Bruch et al.	5	П, Р, ИУ, Д, ДП, ДМ, С	3, 4, 8, 10-26, 28-31, 33, 38-42, 44, 46, 47, 50-52
<i>Bryoerythrophyllum recurvirostrum</i> (Hedw.) P.C. Chen	1	ИУ	28, 29, 35
<i>Bryum argenteum</i> Hedw.	3	П, Р, ИУ, СГ, СЧ, СК, СМ, КГ, Л, ПМ	1-4, 6, 7, 9, 11, 13-15, 17-20, 22, 24-33, 35-37, 39, 42, 47, 51, 53, 54
<i>B. bimum</i> (Schreb.) Turner	1	Д	42
<i>B. caespitium</i> Hedw.	5	П, ИУ, СГ, СМ, СЧ, СК, КГ, Л, ПМ, Д, ДП, ДМ, С	1-4, 6-8, 10, 11, 14-22, 24-38, 40, 42, 46-54
<i>B. creberrimum</i> Taylor	3	ИУ, ДП, СК	4, 11, 16, 17, 28, 29, 31, 33, 35, 37, 42, 51
<i>B. dichotomum</i> Hedw.	1	СК	7, 15
<i>B. elegans</i> Nees	1	С	61
<i>B. funckii</i> Schwaegr.	3	ИУ, СМ, ДМ	1-4, 6, 17, 22, 24, 25, 27, 28, 33, 37, 46, 49, 50
<i>B. kunzei</i> Schimp.	1	СМ	15, 22, 47, 48
<i>B. moravicum</i> Podp.	3	П, ИУ, ДП, Д, ДМ, С	3, 4, 8, 10-12, 15, 26, 28-33, 38, 42, 44, 50, 51
<i>B. pseudotriquetrum</i> (Hedw.) P. Gaerth.	2	Р, СГ, ИУ, О, Д	10, 15, 37, 41-43, 47, 51, 52, 54
<i>Buckia vaucheri</i> (Lesq.) D. Rios, M.T. Gallego & J. Guerra	1	СГ, СМ	11, 26
<i>Callicladium haldanianum</i> (Grew.) H.F. Crum	1	Д	42
<i>Calliergon cordifolium</i> (Hedw.) Kindb.	1	О, Д	10, 42
<i>Campyliadelphus chrysophyllus</i> (Brid.) R.S. Chopra	2	ИУ, СМ, ДМ	3, 28
<i>Campylidium calcareum</i> (Crundw. et Nyholm) Ochyra	3	ИУ, СМ, ПМ, ДМ	1-3, 19, 22, 24-26, 28, 30, 42, 46, 49, 50
<i>Cephaloziella divaricata</i> (Sm.) Schiffn.	1	ИУ	17
<i>Ceratodon purpureus</i> (Hedw.) Brid.	5	Все типы	1-54
<i>Climacium dendroides</i> (Hedw.) F. Weber et D. Mohr.	2	ИУ, ДП, ДМ, О, С	10, 16, 28, 42
<i>Cratoneuron filicinum</i> (Hedw.) Spruce	1	Р	13

Продолжение таблицы 1

<i>Dicranella heteromalla</i> (Brid.) Schimp.	2	ИУ, Д	28, 42
<i>D. schreberiana</i> (Hedw.) Hilf. ex H.A. Crum & L.E. Anderson	1	Д	42
<i>D. varia</i> (Hedw.) Schimp.	2	Р, ПМ, ДМ	3, 42, 49, 50
<i>Dicranum montanum</i> Hedw.	1	Д	42
<i>D. polysetum</i> Sw.	2	С	10, 42, 60
<i>D. scoparium</i> Hedw.	2	П, ИУ, ДП, Д, ДМ, С	10, 12, 16, 25, 28, 30, 38, 41, 42, 61
<i>D. tauricum</i> Sapjegin	1	Д, С	10, 30
<i>Didymodon fallax</i> (Hedw.) R.H. Zander	4	ИУ, СМ, ПМ, ДМ	1-4, 6, 14, 17, 19, 20, 22, 24-27, 31, 35, 37, 42, 46, 49, 50
<i>D. rigidulus</i> Hedw.	3	КГ, СМ	2, 47, 59
<i>Drepanocladus aduncus</i> (Hedw.) Warnst.	4	Р, СГ, КГ, Д	2, 4, 5, 10, 11, 14, 32-34, 41, 42, 45, 47, 50, 51, 54
<i>Encalypta vulgaris</i> Hedw.	2	ИУ, СМ, ДМ	1-4, 22, 26-28, 46, 56
<i>Eurhynchiastrum pulchellum</i> (Hedw.) Ignatov et Huttunen	3	ГС, ИУ, Д, С	4, 10, 11, 14-17, 21, 22, 26, 28-30, 33, 35
<i>Eurhynchium angustirete</i> (Broth.) T. Kop.	1	Д	42
<i>Fissidens bryoides</i> Hedw.	2	ИУ, Д	22, 29, 30, 42
<i>F. exilis</i> Hedw.	1	Д	52
<i>F. gracilifolius</i> Brugg.-Nann. & Nyholm	1	ИУ, ПМ, ДМ	3, 16, 29, 38
<i>F. taxifolius</i> Hedw.	1	ДП, Д	8, 16, 30, 42
<i>Funaria hygrometrica</i> Hedw.	2	КГ, Р, Л, ПМ	9, 22, 37, 42, 45, 47, 50
<i>Grimmia muehlenbeckii</i> Schimp.	1	ИУ	11, 29, 35
<i>G. plagiopodia</i> Hedw.	1	ИУ	27
<i>G. pulvinata</i> (Hedw.) Sm.	2	КГ, ИУ	11, 17, 27-29, 35, 37, 47, 49, 60
<i>Homalia trichomanoides</i> (Hedw.) Bruch et al.	1	ДП, Д	22, 25, 38, 42
<i>Homalothecium lutescens</i> (Hedw.) H. Rob.	2	СМ, ДМ	1, 28, 46
<i>H. sericeum</i> (Hedw.) Bruch et al.	2	ДМ	3
<i>Hygroamblystegium humile</i> (P. Beauv.) Vanderp., Goffinet et Hedenaes	3	Р, О, Д	10, 11, 16, 19, 20, 31, 42, 45, 51
<i>H. varium</i> (Hedw.) Moenk.	1	Р, Д	19, 42, 50
<i>Hylocomiadelphus triquetrus</i> (Hedw.) Ochyra et Stebel	1	ИУ, Д	28, 42
<i>Hylocomium splendens</i> (Hedw.) Bruch et al.	1	С	60
<i>Hypnum cupressiforme</i> Hedw.	4	П, ИУ, ДП, Д, ДМ, О	3, 4, 8, 10-12, 14-23, 26, 29-31, 33, 38-42, 44, 50-52
<i>Jochenia pallescens</i> (Hedw.) Hedenaes	4	ИУ, П, О, ДП, Д, ДМ, С	3, 4, 8, 10-12, 15-23, 25, 26, 28-31, 33, 38-42, 44, 50-52

Продолжение таблицы 1

<i>Leiocolea badensis</i> (Gott ex Rabenh.) Joerg.	1	ПМ	3, 49, 50
<i>Leptobryum pyriforme</i> (Hedw.) Wilson	2	ИУ	17, 37, 50
<i>Leptodictyum riparium</i> (Hedw.) Warnst.	3	Р, П, ГС, ДП, Д, Л, О	5, 9-11, 14, 20, 22, 30, 40-45, 47, 50-52, 54
<i>Leskea polycarpa</i> Hedw.	5	П, ИУ, КГ, ДП, Д, ДМ, О, С	3, 4, 8, 10-26, 28-31, 33, 35, 37-42, 44, 46-48, 50-52
<i>Leucodon sciuroides</i> (Hedw.) Schwaegr.	2	П, ДП, Д, ДМ	3, 12, 16, 17, 25, 39, 41, 42
<i>Lewinskya affinis</i> (Brid.) F. Lara, Farilleti et Groffinet	2	П, Д	51, 63
<i>L. elegans</i> (Schwaegr ex Hook et Grev.) F. Lara, Farilleti et Groffinet	2	Д	51
<i>L. speciosa</i> (Nees) F. Lara, Farilleti et Groffinet	4	П, ИУ, Р, КГ, ДП, Д, ДМ, О, С	3, 4, 8, 10-12, 14-23, 25, 26, 28-31, 33, 35, 38-42, 44, 46-48, 50, 52
<i>Lophocolea heterophylla</i> (Schrad.) Dum.	1	Д, О, С	25, 30, 38, 42
<i>L. minor</i> Nees.	2	ИУ, Д	4, 11, 12, 16, 17, 22, 29, 42, 58
<i>Marchantia polymorpha</i> L.	2	ДП	16, 42
<i>Mnium marginatum</i> (Dicks.) P. Beauv.	1	ИУ, ДП	16, 29
<i>M. stellare</i> Hedw.	2	ДП, Д	11, 16, 42
<i>Neckera pennata</i> Hedw.	1	Д	42
<i>Nihpotrichum canescens</i> (Hedw.) Bednarek-Jehyra & Ochrya	1	ИУ	36
<i>Nygolmiella obtusifolia</i> (Brid) Holmen et E. Warncke	3	П, Р, ДП, Д, ДМ, О, С	3, 4, 10-12, 15, 16, 19, 20, 22, 25, 26, 29, 30, 33, 38, 40-42, 44, 50-52
<i>Orthotrichum anomalum</i> Hedw.	1	КГ, ИУ	29, 47
<i>O. pallens</i> Sw. ex anon	2	П, Д, ДП, ДМ	3, 22, 31, 33, 41, 51
<i>O. pumilum</i> Sw. ex anon	3	П, ИУ, ДП, Д, ДМ, О	3, 8, 10-13, 15, 16, 18-23, 25, 26, 29-31, 38-42, 44, 50-52
<i>Oxyrrhynchium hians</i> (Hedw.) Loeske	5	П, Р, КГ, ИУ, СМ, ДП, Д, ДМ, Л, ПМ, С	1-4, 6-8, 10-12, 15-26, 28-31, 33, 35, 38-42, 44, 46-52
<i>Physcomitrella patens</i> (Hedw.) Bruch et al.	1	Д	42
<i>Physcomitrium arenicola</i> Laz.	1	СГ	28, 34, 54
<i>P. pyriforme</i> (Hedw.) Hampe	1	СГ, ДМ	3, 34, 45, 54
<i>Plagiomnium cuspidatum</i> (Hedw.) T.J. Kop.	3	П, ИУ, Д, ДП, Д, ДМ, О	3, 4, 8, 10-12, 15-17, 19, 22, 23, 25, 26, 28-31, 35, 38, 40-42, 44, 50, 51

Продолжение таблицы 1

<i>P. rostratum</i> (Schrad.) T.J. Kop.	1	ИУ, ДМ	3, 29, 42
<i>Plagiothecium cavifolium</i> (Brid.) Z.Iwats.	2	ДП, Д	38, 42
<i>P. denticlatum</i> (Hedw.) Bruch et al.	1	ДП, Д	38, 42
<i>P. nemorale</i> (Mitt.) A. Laegr.	1	Д	42
<i>P. rossicum</i> Ignatov & Ignatova	2	Д	16, 41, 42
<i>Platygyrium repens</i> (Brid.) Bruch et al.	5	П, ИУ, ДП, Д, ДМ, С	3, 10-12, 14-23, 25, 26, 29-31, 33, 38, 40-42, 50-52
<i>Pleuridium subulatum</i> (Hedw.) Rabenh.	1	СГ	18
<i>Pleurozium schreberi</i> (Brid.) Mitt.	2	Д, С	10, 28, 42, 51, 60
<i>Pohlia cruda</i> (Hedw.) Lindb.	1	ИУ	29, 35
<i>P. melanodon</i> (Brid.) A.J. Shaw	1	Р, ПМ, Д	16, 42, 50, 51
<i>P. nutans</i> (Hedw.) Lindb.	2	ИУ, Д, С	10, 28, 42, 51
<i>P. wahlenbergii</i> (F. Weber & D. Mohr) A.L. Andrews.	1	Р	45
<i>Polytrichum juniperinum</i> Hedw.	4	СГ, ИУ, Д, С	4, 10, 11, 17, 42
<i>P. piliferum</i> Hedw.	5	СГ, СК, ИУ, КГ, Д, С	4, 7, 10, 11, 15, 17, 19, 27, 32, 33, 36, 37, 42, 47, 48, 53
<i>Porella platyphylla</i> (L.) Pfeiff.	1	П, Д, ДМ	25, 39, 42
<i>Pseudoamblystegium subtile</i> (Hedw.) Vanderp. et Hedenaes	2	П, ДП, Д, ДМ	12, 16, 17, 19, 23, 28, 41, 42, 51
<i>Pseudoanomodon attenuatus</i> (Hedw.) Ignatov & Fedosov	2	Д, ДМ, ДП	3, 16, 42, 44
<i>Pseudoleskeella nervosa</i> (Brid.) Nyholm	4	П, Д, ДП, ДМ, О	3, 8, 11, 12, 15-23, 25, 26, 29, 31, 33, 38, 39, 41, 42, 44, 50-52
<i>Pterigynandrum filiforme</i> Hedw.	1	П	51
<i>Pterygoneurum ovatum</i> (Hedw.) Dixon	2	СГ, СМ, СК, СЧ, ИУ	10, 19, 20, 22, 26-28, 32, 50, 53, 59
<i>P. subsessile</i> (Brid.) Jur.	2	СГ, СК, СЧ, СМ, ИУ	2, 4, 10, 15, 17, 19, 20, 22, 27, 28, 31, 32, 50, 59
<i>Ptilidium pulcherrimum</i> (G. Web.) Vain.	1	ИУ, Д	29, 42
<i>Ptilium crista-castrensis</i> (Hedw.) De Not	1	С	61
<i>Pylaisia polyantha</i> (Hedw.) Bruch et al.	5	П, Р, ИУ, ДП, Д, ДМ, С	3, 4, 8, 10-12, 15-17, 23, 25, 26, 28-31, 33, 35, 38-42, 44, 47, 48, 50-52
<i>Radula complanata</i> (L.) Dum.	3	П, ИУ, ДП, Д, ДМ, О	3, 8, 11, 12, 15, 16, 19, 22, 25, 26, 29, 30, 33, 38, 41, 42, 44, 40
<i>Riccia ciliata</i> Hoffm.	1	СГ	33, 62
<i>R. ciliifera</i> Link ex Lindenb.	1	СГ	33
<i>R. sorocarpa</i> Bisch.	1	СГ	11, 33

Продолжение таблицы 1

<i>Rhizomnium punctatum</i> (Hedw.) T.J. Kop.	1	ИУ, Д	29, 42
<i>Rhynchostegium murale</i> (Hedw.) Bruch et al.	1	ДП	16
<i>Sanionia uncinata</i> (Hedw.) Loeske	1	Д	51
<i>Schistidium apocarpum</i> (Hedw.) Bruch et al.	2	КГ, ИУ	11, 17, 27, 35, 37, 47, 51, 60
<i>S. crassipilum</i> Blom	1	КГ	17, 47
<i>S. dupretii</i> (Ther.) W.A.Weber	1	ИУ	37
<i>S. elongatum</i> Blom	1	КГ	47
<i>Sciuro-hypnum curtum</i> (Lindb.) Limpr.	2	О, С, Д	10, 28, 42
<i>S. populeum</i> (Hedw.) Ignatov et Huttunen	2	ДП, Д	16, 19, 29, 38, 42,
<i>S. reflexum</i> (Starke) Ignatov et Huttunen	3	П, ИУ, ДП, Д, ДМ, О	3, 8, 11, 12, 15, 16, 22, 23, 25, 30, 33, 38, 39, 41, 42, 44, 50, 51
<i>Seligeria calcarea</i> (Hedw.) Bruch et al.	1	ПМ	1-3, 49, 50, 59
<i>S. pusilla</i> (Hedw.) Bruch et al.	1	ПМ	3
<i>Syntricha caninervis</i> Mitt.	2	КГ, СМ	22, 27, 47, 49, 50, 59
<i>S. ruralis</i> (Hedw.) F. Weber et D. Mohr.	5	П, ИУ, СГ, СМ, СК, Л, ДМ, Д, С	1-4, 6-8, 10, 11, 14-35, 37. 38, 40, 42, 46-54
<i>S. virescens</i> (De Not) Ochyra	1	ДМ	25
<i>Taxiphyllum wisgrillii</i> (Garov.) Wijk et Margad.	2	ДП	16, 38
<i>Tetraphis pellucida</i> Hedw.	1	Д	42
<i>Thuidium assimile</i> (Mitt.) A. Jaeger	2	Д, ДМ	3, 42
<i>Tortula acaulon</i> (With.) R.H. Zander	3	СГ, СМ, СЧ, СК, Д	1-4, 6, 11, 15, 19, 22, 26-28, 30-33, 42, 49-54
<i>T. modica</i> R.H.Zander	2	СГ, СМ	20. 28. 54, 55
<i>T. mucronifolia</i> Schwaegr.	1	ДП, Д	38, 42
<i>T. muralis</i> Hedw.	1	ИУ	37
<i>T. muralis</i> var. <i>aestiva</i> Hedw.	3	ИУ, ДП, ПМ	3, 11, 17. 22, 28, 35, 37, 38, 40
<i>T. truncata</i> (Hedw.) Mitt.	1	П, СК	32, 41
<i>Trichostomum crispulum</i> Bruch	2	СМ	22, 25-28, 50
<i>Weissia brachycarpa</i> (Nees et Hornsch.) Jur.	2	СК, С	10, 11, 14, 15, 32, 53
<i>W. levieri</i> (Limpr.) Kindb.	1	СМ	25, 27
<i>W. longifolia</i> Mitt.	3	СМ	1-3, 6. 19, 28, 31, 49. 50, 59

Примечание. Активность вида (А) в баллах определялась на основе встречаемости и обилия: 1 – встречается очень редко и имеет очень низкое обилие; 2 – встречается довольно редко, обилие довольно низкое; 3 – встречается спорадически, обилие умеренное; 4 – встречается довольно часто, обилие незначительное; 5 – встречается часто, обилие высокое; характерные

ландшафты: Д – байрачные и водораздельные дубравы без выходов коренных пород, ДМ – дубравы на склонах речных долин и балок с выходами мела, ДП – дубравы с выходами песчаников, ИУ – известняковые урочища, СМ – степи кальцефитно-петрофитные на мелах, СГ – степи галофитные на засоленных почвах, СЧ – степи злаково-разнотравные на черноземах, СК – степи ковыльные на лессовидных почвах, КГ – карьеры гранитные, С – искусственные сосновые посадки; О – ольшаники, П – парковые ландшафты., Р – родники, ПМ – пещеры меловые.

Всего в составе бриофлоры Калачского ЛР к настоящему времени известно 146 видов мохообразных. Увеличение объема бриофлоры по сравнению с ранее опубликованными материалами [9, 10] связано с более тщательным обследованием территории, причем, в разные сезоны года, а также с более широким охватом всех типов ландшафтов. Для сравнения, в прочих изученных ЛР [1–4] видовое богатство составляет: 142 вида (Придонской меловой ЛР), 128 (Богучарский степной ЛР), 123 (Калитвинский южностепной ЛР), 85 (Южнокалачский степной ЛР). Таким образом, бриофлору Калачского ЛР можно оценить как весьма богатую. Процент видов (с учетом рекомендуемых), занесенных в Красную книгу Воронежской области [18] составляет около 15 %, что несколько выше, чем в других ЛР.

Лишь 16 % видового состава мохообразных Калачского ЛР являются частыми, обильными, эвритопными видами (баллы 4 и 5); 17 % – имеют спорадическое распространение и низкое или умеренное обилие; более 60 % видов имеет низкую встречаемость и низкое обилие (баллы 1 – 37 % и балл 2 – 30 %).

Редкие виды, занесенные в Красную книгу Воронежской области [18]:

Buckia vaucheri (категория 3) – арктоальпийский кальцефит, индикатор реликтовых «сниженноальпийских» группировок, в изучаемом районе отмечен также в разреженных злаковых галофитных сообществах с проективным покрытием около 5–10 %, состояние популяции удовлетворительное; 2/1. *Примечание:* для редких видов в числителе приведено общее количество местонахождений, известных в изучаемом ЛР, в знаменателе – количество местонахождений, имеющих статус ООПТ.

Dicranum tauricum (3) – лесной вид, приуроченный к южной тайге и зоне широколиственных лесов, в лесостепи имеет спорадическое распространение; облигатный эпиксил; площади изученных популяций невелики; 2/0.

Eurhynchium angustirete (3) – неморальный вид, в пределах ареала предпочитает хвойные, смешанные и широколиственные леса, где растет в основном на почве; площади изученных популяций невелики – 3–5 дм²; 1/1.

Grimmia plagiopodia (3) – облигатный ацидофильный петрофит, в европейской России известен лишь из аридных регионов юго-востока; площадь выявленной популяции крайне мала, спороношений не выявлено; 1/0.

Homalia trichomanoides (3) – типичный представитель неморального эпифитного базифильного комплекса, отмечен на старовозрастных экземплярах дуба в прикомлевой части, площадь популяций 3–5 дм², состояние удовлетворительное, спороношение умеренное; 7/2.

Homalothecium lutescens (3) – неморальный кальцефит, произрастает в пределах Донского Белогорья произрастает в напочвенном покрове уникальных реликтовых

сообществ – нагорных березняков и боров, нами отмечен на опушке дубравы с выходами мела; состояние популяции хорошее; 3/1.

Homalothecium sericeum (3) – неморальный кальцефильный петрофит, обнаружен нами на меловом рухляке и на крупных выступающих корнях деревьев в нагорной дубраве; состояние популяции хорошее, площадь около 5 дм²; 1/0.

Hylocomiadelphus triquetrus (2) – бореальный вид, обычно произрастающий на подстилке в хвойно-широколиственных лесах; в лесостепи близ южной границы ареала, одно местообитание – на опушке дубравы, другое – на склоне оврага в искусственном сосняке, состояние второй популяции хорошее; 2/1.

Hylocomium splendens (2) – бореальный вид хвойно-широколиственных лесов; в лесостепи встречается в искусственных посадках сосны, а также в зарастающих карьерах; выявленная популяция именно в таких местообитаниях и произрастает, площадь около 3 дц², состояние неудовлетворительное; 1/0.

Leucodon sciuroides (3) – облигатный неморальный эпифит; растет на коре широколиственных древесных видов, отмечен на стволах ясеня, клена остролистного, дуба; площади популяций варьируют от 0.5 до 80 дм²; состояние в большинстве случаев удовлетворительное; 8/2.

Neckera pennata (1) – неморальный базифильный эпифит, встречающийся значительно реже прочих эпифитов, явно тяготеющий к повышенному увлажнению воздушной среды; в лесостепи площади популяций – не более 1 дм², требуется мониторинг их состояния, поскольку обнаружены они были более 30 лет назад; 3/1.

Physcomitrium arenicola (3) – аридный галофильный вид восточноевропейского типа ареала; собран в типичных местообитаниях – в небольших западинах на солонцах, со спорофитами; площади популяций всего около 1–2 дм², состояние относительно удовлетворительное; 1/0.

Porella platyphylla (2) – представитель неморального базифильного эпифитного комплекса; индикатор хорошей сохранности широколиственных лесов; площади популяций от 0.3 до 100 дм², хорошее состояние популяций отмечено лишь в усадебном парке в Воронцовке; 3/1.

Pterigynandrum filiforme (3) – неморальный эпифит, приурочен преимущественно к горным районам, на равнине редок; отмечен в небольшом количестве на стволе ясеня; 1/1.

Ptilium crista-castrensis (2) – бореальный вид хвойно-широколиственных лесов, в лесостепи встречается в основном на гнилой древесине, основаниях стволов берез, реже на подстилке в искусственных сосняках (встречен однократно именно в этом местообитании); площадь популяции 5 дм², состояние неудовлетворительное; 1/0.

Rhynchostegium murale (2) – неморальный петрофит европейского типа ареала, произрастает на глыбах песчаников в глубоком лесном ручье; популяция немногочисленная, но спороносящая; 1/0.

Seligeria calcarea (3) – бореальный вид горной экологии, облигатный кальцефит, произрастает в основании вертикальных меловых стенок, часто спороносит; 5/2.

Seligeria pusilla (3) – бореальный вид горной экологии, облигатный кальцефит; выявлена обильная спороносящая популяция в глубоком лесном овраге на многочисленных крупных глыбах мела и стенках рукотворной пещеры; 1/0.

Taxiphyllum wissrillii (3) – неморальный петрофит европейского типа ареала, тяготеющий к приморскому климату; произрастает на небольших глыбах песчаников в затененных лесных оврагах; площади локальных популяций 0.5–5 дм², состояние удовлетворительное; 3/0.

В следующее третье издание Красной книги Воронежской области рекомендуется включить:

Nihpotrichum canescens (рекомендуемая категория 3) – петрофит, произрастающий как на известняках, так и песках, в основном мелового возраста; отмечен на днище известнякового карьера среди мелкого рухляка, площадь популяции около 3 м²; 1/0.

Riccia ciliifera (рекомендуемая категория 3) – аридный галофильный печеночник; выявленная популяция вытянута вдоль опушки байрачной дубравы, общая площадь около 10 дм², состояние удовлетворительное; 1/0.

Syntrichia virescens (рекомендуемая категория 3) – неморальный петрофитно-эпифитный, преимущественно кальцефильный, вид; состояние популяции, отмеченной на стволе дуба, удовлетворительное, площадь – около 2 дм²; 1/0.

В мониторинговый список (виды «второй очереди охраны») рекомендованы: неморальные петрофитно-эпифитные виды *Anomodontella longifolia* (10/4), *Pseudoanomodon attenuatus* (3/1), *Anomodon viticulosus* (3/2); неморальный вид почвенных обнажений в лесных оврагах *Tortula mucronifolia* (2/1); кальцефильные петрофиты *Orthotrichum anomalum* (2/0), *Leiocolea badensis* (1/0); аридные кальцефиты *Pterygoneurum subsessile* (13/4), *P. ovatum* (10/2), *Syntricha caninervis* (6/2), *Trichostomum crispulum* (6/1), *Aloina rigida* (2/0), *Encalypta vulgaris* (10/4); степной галофит *Riccia ciliata* (2/0), ацидофильные петрофиты *Grimmia muehlenbeckii* (3/0), *G. pulvinata* (9/2), *Schistidium crassipilum* (2/0), *S. elongatulum* (1/0).

Ниже перечислены прочие редкие и интересные виды с указанием обеспеченности территориальной охраной: *Bryoerythrophyllum recurvirostrum* (3/0), *Bryum elegans* (1/0), *Cephaloziella divaricata* (1/0), *Climacium dendroides* (4/1), *Cratoneuron filicinum* (1/0), *Mnium marginatum* (2/0), *M. stellare* (3/2), *Physcomitrium pyriforme* (4/0), *Plagiothecium nemorale* (1/0), *Pleuridium subulatum* (1/0), *Pohlia cruda* (2/0), *Ptilidium pulcherrimum* (2/1), *Rhizomnium punctatum* (2/1), *Sciuro-hypnum populeum* (5/1), *Tetraphis pellucida* (1/1), *Tortula modica* (3/0), *Weissia levieri* (2/0).

На действующих ООПТ Калачского овражно-балочного южнолесостепного ЛР сосредоточено около 70 % от числа выявленных мохообразных, таким образом около 30 % видового состава не обеспечены территориальной охраной. Полный охват территориальной охраной всех местонахождений не зафиксирован ни для одного вида из Красной книги области [18]; у 12 видов (с учетом рекомендуемых) ни одно из известных местонахождений не имеют охранного статуса; у прочих видов – лишь 30–50 % местонахождений находятся на ООПТ. Перевод проектируемых ООПТ в действующие, а также организация новых ООПТ,

рекомендованных автором, значительно повысит уровень территориальной охраны редких видов.

Бриологическая характеристика типичных ландшафтов Калачского овражно-балочного южнолесостепного ландшафтного района

Ниже кратко характеризуются бриофлоры типичных ландшафтов Калачского овражно-балочного южнолесостепного ЛР и дается оценка их репрезентативности в сети ООПТ Воронежской области. Виды, занесенные в Красную книгу Воронежской области [18], отмечены *.

Дубравы – байрачные и нагорные, произрастающие на серых лесных почвах без выходов коренных пород (даже в лесных оврагах) – вполне типичный для Калачской возвышенности тип ландшафтов. В дубравах отмечается наиболее высокий уровень видового богатства мохообразных – более 90 видов. В составе бриофлоры присутствуют как неморальные эпифиты **Homalia trichomanoides*, **Neckera pennata*, так и бореальные виды, произрастающие на стволах берез или гнилой древесине: *Ptilidium pulcherrimum*, *Rhizomnium punctatum*, *Tetraphis pellucida*, *Callicladium haldanianum*, *Dicranum montanum*; представлена и группа напочвенных мхов, обильно обрастающих стенки лесных оврагов: **Eurhynchium angustirete*, *Mnium stellare*, *Plagiothecium cavifolium* и др. Несмотря на огромную климатообразующую роль лесов в условиях южной лесостепи, их состояние в Воронежской области во многих случаях неблагоприятно, даже в Шиповом лесу, где до сих пор ведутся промышленные рубки. В системе ООПТ Калачского ЛР дубравы представлены совершенно недостаточно: ДПП являются лишь «Золотой куст», «Солонцовая поляна», «Воронцовское чудо» в Шиповом лесу, «Каменная яруга», частично дубравы охраняются в составе комплексных ООПТ «Рассыпной яр», «Ломы», «Каменная степь». В связи с неудовлетворительным состоянием охраны дубрав необходимо изучение и придание охранного статуса всем наиболее ценным природным участкам Шипова леса, а также поиск и изучение новых перспективных урочищ.

Дубравы на меловых правобережьях рек – примером подобных урочищ могут служить дубравы на правобережье р. Битюг, частично, лес Закалч. Видовое разнообразие мохообразных весьма велико – 55 видов; наиболее характерны высокие показатели покрытия и встречаемости для неморальных эпифитов *Anomodontella longifolia*, **Leucodon sciuroides*, *Anomodon viticulosus*, *Pseudoanomodon attenuatus*, в небольших количествах выявлены **Porella platyphylla*, *Syntrichia virescens*; на меловом рухляке и на выступающих корнях деревьев иногда встречается кальцефит **Homalothecium sericeum*; на затененных выходах плотного мела произрастают **Seligeria pusilla*, *Fissidens gracilifolius*. Создание комплексного ГПЗ «Дубравы и степи на правобережье р. Битюг», а также перевод ППП «Дубрава Закалч» в ранг действующих обеспечит должную охрану данных ландшафтов.

Дубравы с выходами песчаников – тип урочищ, весьма редких в изучаемом районе и в области в целом; в настоящее время они не обеспечены территориальной охраной. Лишь один объект значится среди ППП (Урочище «Зайчиха») и один – предлагается нами к охране («Байрачные дубравы у пос. Михайловский»). Видовое

богатство дубрав с выходами песчаников по руслам донных оврагов высокое – около 50 видов, среди них имеется большое количество редких петрофитно-эпифитных видов: *Anomodontella longifolia*, **Leucodon sciuroides*, *Anomodon viticulosus*, *Pseudoanomodon attenuatus*, **Homalia trichomanoides*, *Fissidens gracilifolius*, *Sciuro-hypnum populeum*, **Rhynchostegium murale*, **Taxiphyllum wisgrillii* (два последних вида встречаются только в данном типе ландшафтов); а также лесных напочвенных мхов *Plagiothecium cavifolium*, *Tortula mucronifolia*. Учитывая высокую бриологическую и эколого-ландшафтную значимость объектов, необходима их безотлагательная охрана.

Кальцефитно-петрофитные степи на меловых склонах – один из характерных ландшафтов Калачского ЛР. Классические местонахождения подобных ландшафтов – правобережья рек Толучеевки, Подгорной, Битюга. В составе бриофлоры кальцефитно-петрофитных степей выявлено около 30 видов, доля редких составляет около 35 %. (*Trichostomum crispulum*, *Aloina rigida*, *Encalypta vulgaris*, **Homalothecium lutescens*, *Pterygoneurum subsessile*, *Brachythecium glareosum*, *Syntricha caninervis* и др.). Статус ДПП памятников природы имеют лишь 5 объектов: степи у сел Липовка, Шестаково, Старая Меловая, а также «Пеньковая гора», «Пучинские кучи», частично ГПЗ «Рассыпной яр». Предлагаемые к охране участки (указаны в рубриках проектируемых и перспективных), а также расширение существующих ООПТ и изменение их статуса на ГПЗ («Долина р. Козынки», «Долина р. Толучеевки») существенно повысит степень территориальной охраны и обеспечит должную дублированность кальцефитных группировок в сети ООПТ.

Степи черноземные злаково-разнотравные – практически исчезнувший ландшафт в Центральном Черноземье, заповедные участки в составе ГПЗ «Каменная степь» крайне малы по площади, не обладают должным запасом устойчивости; в настоящее время отмечается явная мезофитизация растительного покрова. Всего в составе степных сообществ выявлено 10 видов, причем, 2 из них – явные гигрофиты (перечислены при характеристике ООПТ, Часть 2 данной статьи).

Степи ковыльные на лессовидных суглинках и супесях встречаются довольно часто на пологих склонах балок; площади относительно сохранившихся ландшафтов пока достаточны для обеспечения их должной репрезентативности в системе ООПТ. Классическим примером таких сообществ являются Краснянские степи, а также степные участки на склонах долин рек Пыховка (ДПП в настоящее время являются лишь небольшие участки степей), Татарка, Добринка, а также по склонам балок (нп. Козловский, Порохово и др.).

Галофитные сообщества распространены довольно широко, наиболее типичные из них встречаются в окрестностях нп. Солонцов, Солонцовский, Верхний Бык, Утиновка, Козловский, Желтые Пруды, Долиновский. Видовое разнообразие составляет – 27 видов, доля редких и интересных видов составляет около 40% (*Riccia ciliata*, **R. ciliifera*, *R. sorocarpa*, *Pleuridium subulatum*, **Physcomitrium arenicola*, *P. pyriforme*, *Tortula modica*, **Buckia vaucheri* и др.). Частыми и обильными в галофитных сообществах на сухих склонах являются эвритоппные виды, *Ceratodon purpureus*, *Bryum caespitium*, реже *Brachythecium*

campestre, *Syntrichia ruralis* а также псаммофиты *Polytrichum juniperinum*, *P. piliferum*. Несмотря на значительную научную ценность данных сообществ, их представленность в сети ООПТ невелика, чаще всего они входят в состав комплексных ООПТ – «Ломы», «Краснянская степь», «Пыховка», в них охраняется не более 15 % редких галофитов. Такие меры как перевод ППП «Солонцовые озера» в ранг действующих, а также создание нового ПП «Солонцы у хут. Утиновка», преобразование ДПП «Пыховка» в ГПЗ значительно большей площади – существенно повысят репрезентативность галофитных сообществ в сети ООПТ.

Пойменные сообщества (пойменные дубравы, ольшаники, ивняки, а также луговые сообщества) на территории изучаемого ЛР представлены в поймах реки Дон, Битюг, Осередь, Подгорная, Толучеевка. Заболоченные луга охраняются в ДПП «Луг Голое колено», входят в состав ГПЗ «Великоархангельский», планируются к охране в ППП «Заосередские сады», ГПЗ «Верховья р. Подгорной». Перспективна оценка с природоохранных позиций больших по площади пойменных ландшафтов в месте впадения р. Битюг в Дон. Несмотря на невысокий уровень видового богатства мхов (12 видов), луговые сообщества требуют специального изучения, поскольку активно эксплуатируются, а режим охраны не соблюдается. Ольшаники (около 30 видов мхов) как характерный пойменный ландшафт в системе ООПТ Калачского ЛР отсутствуют, причем, как в числе действующих, так и проектируемых. Среди изученных объектов ольшаники (при расширении границ) могут войти в состав ППП «Низовья Ковыльного лога» и «Студеный колодец у с. Александровка Донская» (целесообразно при этом изменить его наименование на «Лес Студеный»).

Сосновые насаждения на надпойменных террасах рек (главным образом, р. Дон) с прилегающими участками песчаных степей и песчаными карьерами как в существующей, так и проектируемой системе ООПТ практически не представлены (ДПП «Ольховатская сосна» сильно пострадал от пожаров). Указанные сообщества лишь частично входят в предлагаемый нами перспективный ПП «Низовья Ковыльного лога». Интересные находки мохообразных сделаны в сосняках близ с. Гороховка (*Lophocolea minor*) Верхнемамонского р-на, Желдаковка (**Ptilium crista-castrensis*) и Русская Буловка (**Hylocomium splendens*) Павловского р-на; в настоящее время можно ограничиться организацией мониторинга состояния популяций редких видов и изучением динамики заселения искусственных сосняков бореальными мхами коренных сообществ.

Выходы известняков в степных и лесных сообществах, а также кустарные щебеночные карьеры – подобные элементы ландшафтов представлены в ППП «Винница», в рекомендуемых нами ГПЗ «Верховья р. Подгорной» и ППП «Меловое правобережье р. Козынки у с. Новомеловатка», «Выходы известняков в окр. хут. Крутой», «Выходы известняков на правобережье р. Савалы близ с. Русаново», «Степные склоны на правобережье р. Добринки». В целом, видовое разнообразие мохообразных в указанных урочищах составляет более 60 видов. Особый интерес представляют отмеченные только в местах выходов известняков *Bryoerythrophyllum recurvirostrum*, *Tortula muralis*, *Schistidium dupretii*, *Pohlia cruda*, **Nihpotrichum canescens*, *Cephaloziella divaricata*, в также петрофиты *Ortotrichum*

anomalum, *Grimmia muehlenbeckii*; лесные виды, редкие в лесостепи, *Atrichum flavisetum*, *Mnium marginatum*, *Plagiomnium rostratum*, *Ptilidium pulcherrimum*, *Rhizomnium punctatum*.

Карьер по добыче гранита (Павловский ГОК) находится у пос. Шкурлат и активно разрабатывается. Научный интерес представляет отработанная восточная сторона, где имеются разнообразные техногенные ландшафты – озера с крупными глыбами гранитов по берегам, зарастающие березой и осиной склоны, пологие осыпи, валы гранитной крошки и др. В составе бриофлоры – 25 видов, в большинстве своем устойчивых и экологически пластичных; отмечаются начальные стадии сукцессий на каменистых субстратах, где в небольшом количестве выявлены облигатные петрофиты *Schistidium crassipilum*, *S. elongatulum*, *Grimmia pulvinata*, *Ortotrichum anomalum*. Наблюдение за сукцессионными процессами всех компонентов биоты такого крупного техногенного объекта имеет несомненный научный интерес, для чего необходима организация охраны заброшенных участков карьера.

Родники. Мощные выходы на дневную поверхность подземных вод меловой системы на территории изучаемого ЛР встречаются нечасто; 2 имеют статус ДПП – «Нижний Кисляй», «Невестин ключ», 3 являются ППП – «Головище», «Белая криница», «Студеный ключ», ряд объектов находится в составе комплексных ООПТ (парк «Ломы»), проектируемом ГПЗ «Индычий». Перспективными объектами являются, на наш взгляд, родники в с. Лозовое, с. Новомеловатка, в окр. нп. Воробьевка, Верхнее Толучеевка, Пузево и др. В составе бриофлоры (с учетом окружающих родник насаждений осины, ивы) выявлено 25 видов; на почве и непосредственно в воде произрастает 19 видов, облигатными гигрофитами являются *Hygroamblystegium varium*, *H. humile*, *Leptodictyum riparium*, *Cratoneuron filicinum*, *Drepanocladus aduncus* var. *knelfii*, *Brachythecium rivulare*; на глинисто-меловой почве отмечены *Physcomitrium pyriforme*, *Pohlia wahlenbergii*, *Dicranella varia*, *Pohlia melanodon*. Относительно таких ценных природных ландшафтов как родники, необходимо отметить ряд негативных антропогенных воздействий, которые могут обусловить деградацию и даже полное их исчезновение: непродуманное «обустройство» с нарушением стока; каптаж, приводящий к застою воды; использование искусственных материалов, диссонирующих с естественным фоном; замусоривание, забор воды для полива и др.

Парковые ландшафты – фрагменты заброшенных усадебных парков. Подобных ландшафтов на территории района немного – парки в нп. Казинка, Воронцовка, Тумановка, дендропарк на территории НИИ им. Докучаева. Перечисленные объекты имеют статус ДПП, один объект – парк в с. Березово (ППП) с бриологической точки зрения мало интересен. Бриофлора насчитывает 37 видов, среди которых присутствуют характерные неморальные эпифиты **Pterigynandrum filiforme*, **Leucodon sciuroides*, **Porella platyphylla*, *Anomodontella longifolia*, *Anomodon viticulosus*. В качестве мер, способствующих сохранению эпифитов, можно порекомендовать категорический запрет на побелку стволов деревьев; целесообразно также проведение умеренного осветления за счет спилки отдельных боковых ветвей. Столь же хорошо, как и усадебные парки, в системе

ООПТ представлены лесокультурные объекты (7 на территории Шипова леса), однако видовое разнообразие мхов в них существенно меньше, чем в природных сообществах.

Меловые пещеры – такие культурно-исторические объекты весьма интересны в бриологическом аспекте. На территории изучаемого ЛР таких пещер 2 – на правом берегу р. Битюг в 5 км к северо-востоку от с. Липовка и у с. Индычий на правом берегу р. Толучеека. На плотном мелу, особенно в нижней части стенок, произрастает ряд облигатных кальцефитов горной экологии, причем, с высокими показателями обилия, (*Fissidens gracilifolius*, *Leiocolea badensis*, **Seligeria pusilla*, **S. calcarea*); в целом, с учетом краевой части сводов пещер, выявлено 18 видов. В настоящее время данные объекты охранного статуса не имеют; в случае перевода ООПТ из проектируемых в действующие они войдут в ГПЗ «Индычий» и «Дубравы и степи на правом берегу р. Битюг».

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Бриофлора Калачского овражно-балочного южнолесостепного ЛР характеризуется высоким уровнем видового разнообразия (146 видов). Лишь 16 % видового состава мохообразных являются частыми, обильными, эвритопными видами; 17 % – имеют спорадическое распространение и низкое или умеренное обилие; более 60 % видов имеет низкую встречаемость и низкое обилие.
2. В составе бриофлоры выявлен ряд редких видов, 19 из которых занесены в региональную Красную книгу и 3 рекомендованы для занесения в следующее издание. Полный охват территориальной охраной всех местонахождений не зафиксирован ни для одного из «краснокнижных» видов; у 12 видов ни одно из известных местонахождений не имеет охранного статуса; у прочих видов – лишь 30–50 % местонахождений находятся на ООПТ.
3. Степень дублированности характерных степных и лесостепных ландшафтов Калачского ЛР в действующей системе ООПТ недостаточна для их надежной охраны. Такие типы урочищ как дубравы с выходами коренных пород, галофитные группировки, ковыльные степи на лессовидных почвах, пойменные сообщества, песчаные степи и старовозрастные искусственные сосняки на надпойменных террасах рек требуют безотлагательной охраны. Корректировка границ существующих ООПТ, организация ряда новых ООПТ на принципах максимального охвата всего спектра ландшафтов обеспечит 100 % территориальной охраны редких видов и значительно повысит уровень репрезентативности системы ООПТ Воронежской области в целом.

Список литературы

1. Попова Н. Н. Биоразнообразие мохообразных на существующих и перспективных охраняемых территориях Калитвинского ландшафтного района южной лесостепи / Н. Н. Попова // Вопросы степеведения. – 2019. – Том XV. – С. 261–266.

2. Попова Н. Н. Бриофлора действующих и перспективных охраняемых территорий Придонского мелового района северной лесостепи (Воронежская область) / Н. Н. Попова // Ученые записки Крымского федерального университета имени В. И. Вернадского. Биология. Химия. – 2022. – Том 8 (74), № 2. – С. 127–153.
3. Попова Н. Н. Репрезентативность сети охраняемых территорий Южнокалачского степного ландшафтного района: бриологический аспект / Н. Н. Попова // Теоретические и прикладные проблемы ландшафтной географии: материалы XIV Междунар. ландшафтной конф., посвящ. 105-летию со дня рождения Ф. Н. Милькова. – Воронеж: Издательский дом ВГУ, 2023. – С. 57–59.
4. Попова Н. Н. Бриофлора действующих и перспективных охраняемых территорий Богучарского правобережного степного района (Воронежская область) / Н. Н. Попова // Ученые записки Крымского федерального университета имени В. И. Вернадского. Биология. Химия. – 2023. – Том 9 (75), № 4. – С. 160–190.
5. Приказ департамента природных ресурсов и экологии Воронежской области от 18 января 2021 г., №13 «Об утверждении перечня особо охраняемых природных территорий областного и местного значения на территории Воронежской области по состоянию на 01.01.2021».
6. Приказ департамента природных ресурсов и экологии Воронежской области от 4 февраля 2013 г., № 19 (с изменениями на 02.07.2015) «Об утверждении схемы развития и размещения особо охраняемых территорий областного значения Воронежской области».
7. Физико-географическое районирование Центральных Черноземных областей / Под ред. Ф. Н. Милькова. – Воронеж: Издательство Воронежского университета, 1961. – 262 с.
8. Мильков Ф. Н. Калачская возвышенность. Опыт ландшафтно-типологической характеристики / Ф. Н. Мильков, Н. И. Ахтырцева, В. П. Ахтырцев. – Воронеж: Издательство Воронежского университета, 1972. – 180 с.
9. Хмелев К. Ф. Флора мохообразных бассейна Среднего Дона / К. Ф. Хмелев, Н. Н. Попова. – Воронеж: Издательство Воронежского университета, 1988. – 169 с.
10. Попова Н. Н. Бриофлора Среднерусской возвышенности.1. / Н. Н. Попова // Arctoa. – 2002. – Vol. 11. – Р. 101–168.
11. Попова Н. Н. Бриофлора старинных усадебных парков Воронежской области / Н. Н. Попова // Бот. журн. – 2018. – Т. 103, №5. – С. 586–606.
12. Попова Н. Н. Бриофлора государственных региональных заказников Воронежской области / Н. Н. Попова // Вестник Тверского гос. ун-та. – 2021. – №1. – С. 137–155.
13. Попова Н. Н. Бриофлора геологических памятников природы Центральной России. Часть 3. / Н. Н. Попова // Флора и растительность Центрального Черноземья. – Курск: Мечта, 2018. – С. 150–155.
14. Попова Н. Н. Материалы по бриофлоре государственного природного заказника «Рассыпной яр» (Воронежская область) / Н. Н. Попова // Флора и растительность Центрального Черноземья-2022. – Курск: ИП Бабкина Г.П., 2022. – С. 166–168.
15. Попова Н. Н. Бриофлора природных парков Воронежской области / Н. Н. Попова // Труды музея-заповедника «Дивногорье». Вып. 8. – Воронеж: Научная книга, 2021. – С. 54–58.
16. Потемкин А. Д. Печеночники и антоцеротовые России. Т. 1. / А. Д. Потемкин, Е. В. Софронова. – СПб.-Якутск, 2009. – 368 с.
17. Флора мхов России / М. С. Игнатов (отв. ред.). Т. 2. – М., 2017. – 560 с.; Т. 4. – М., 2018. – 543 с.; Т. 5. – М., 2020. – 600 с.; Т. 6. – М., 2022 – 472 с.
18. Красная книга Воронежской области. Растения. Лишайники. Грибы. Т. 1. – Воронеж: Центр духовного возрождения Черноземного края, 2018. – 412 с.

**BRYOFLORA OF EXISTING AND PROSPECTIVE PROTECTED AREAS OF
THE KALACH RAVINE-GIRDER SOUTHERN FOREST-STEPPE LANDSCAPE
AREA, VORONEZH REGION (PART 1)**

Popova N. N.

*Voronezh State Academy of Sports, Voronezh, Russia
E-mail: leskea@vmail.ru*

The purpose of this study is to assess the representativeness of the network of protected areas of the Kalach ravine-girder southern forest-steppe landscape area (Voronezh region). The studied area is located in the central part of the Voronezh region to the east of the Don River. The territory is an elevated, deeply dissected plain with a height of about 200–220 m. The rocks of the Upper Cretaceous are the relief-forming ones. The climate of the area is moderately dry and continental. The hydrographic network is represented by the Don, Tolucheyevka, Podgornaya, and Osered rivers. The soils are represented by ordinary chernozems, sandy soils, sandy loam, meadow-chernozem and carbonate chernozems, gray forest soils, salt marshes are common. The landscape and ecological contrast of the area has led to a variety of vegetation cover; there are large arrays of oak forests, calciferous-petrophytic and halophytic steppes, floodplain communities, sandy steppes and pine plantations are represented on sandy terraces and zanders.

The network of operating protected areas on the territory of the Kalachsky landscape district includes 1 state federal reserve, 2 state regional nature reserves, 1 natural landscape park and 24 natural monuments of regional significance; the number of projected protected areas is more than 40.

Mosses were collected by the route method from 1982 to 2024. More than 80 objects have been studied. The in-house treatment was carried out using generally accepted bryological techniques. Herbarium collections are kept in the stock herbarium of the Galichya Gora Nature Reserve (VU).

The bryoflora of the Kalach ravine-girder southern forest-steppe LR is characterized by a high level of species diversity (146 species). Only 16 % of the species composition of mosses are frequent and abundant, eurytopic species; 17 % have sporadic distribution and low or moderate abundance; more than 60 % of species have low occurrence and low abundance. A number of rare species have been identified in the bryoflora, 19 of which are listed in the regional Red Book and 3 are recommended for inclusion in the next edition. Full coverage of territorial protection of all locations has not been recorded for "red book" species; in 12 species none of the known locations has a protected status; in other species, only 30–50 % of the locations are located in protected areas.

The degree of duplication of the characteristic steppe and forest-steppe landscapes of the Kalachsky LR in the current system of protected areas is insufficient for their reliable protection. Such types of tracts as oak forests with outcrops of bedrock, halophyte groupings, grass steppes on loess-like soils, floodplain communities, sandy steppes and old-age artificial pine forests on floodplain terraces of rivers require urgent protection.

Keywords: bryoflora, species diversity, Red Book, mossy, protected areas, natural monuments, rare species, representativeness.

References

1. Popova N. N. Mossy biodiversity in existing and prospective protected areas of the Kalitvinsky landscape area of the southern forest-steppe, *Questions of steppe studies*, **XV**, 261, (2019).
2. Popova N. N. Bryoflora of existing and prospective protected areas of the Pridonsky Cretaceous region of the northern forest-steppe (Voronezh region), *Scientific notes of the V. I. Vernadsky Crimean Federal University Biology. Chemistry*, **8 (74)**, **2**, 127 (2022).
3. Popova N. N. *Representativeness of the network of protected areas of the South Kalachian steppe landscape region: a bryological aspect*, Theoretical and applied problems of landscape geography: materials of the XIV International Landscape Conference dedicated to the 105th anniversary of the birth of F.N. Milkov, 57 (Voronezh: VSU Publishing House, 2023).
4. Popova N. N. Bryoflora of existing and prospective protected areas of the Bogucharsky right-bank steppe region of the steppe Central Russian province (Voronezh region), *Scientific notes of the V. I. Vernadsky Crimean Federal University Biology. Chemistry*, **9 (75)**, **4**, 160 (2023).
5. Order of the Department of Natural Resources and Ecology of the Voronezh Region dated January 18, 2021, No. 13 "On approval of the list of specially protected natural territories of regional and local significance on the territory of the Voronezh Region as of 01.01.2021".
6. Order of the Department of Natural Resources and Ecology of the Voronezh region Dated February 4, 2013, No. 19 (as amended on 02.07.2015) "On approval of the scheme for the development and placement of specially protected areas of regional significance of the Voronezh Region".
7. Milkov F. N. (ed.) *Physico-geographical zoning of the Central Chernozem regions*, 262 p. (Voronezh: Voronezh University Press, 1961).
8. Milkov F. N. (ed.) *Kalach upland. Experience of landscape-typological characteristics*, 180 p. (Voronezh: Voronezh University Press, 1972.)
9. Khmelev K. F., Popova N. N. *Flora of the mossy basin of the Middle Don*, 169 p. (Voronezh: Voronezh University Press, 1988.)
10. Popova N. N. Bryoflora of the Central Russian upland.1. *Arctoa*, **11**, 101 (2002).
11. Popova N. N. Bryoflora of ancient manor parks of the Voronezh region, *Botanical journal*, **103** (5), 586 (2018).
12. Popova N. N. Bryoflora of the state regional reserves of the Voronezh region, *Bulletin of the Tver State University*, **1**, 137 (2021).
13. Popova N. N. *Bryoflora of geological natural monuments of Central Russia*. Part 3, Flora and vegetation of the Central Chernozem region, 150 (Kursk: Dream, 2018).
14. Popova N. N. *Materials on the bryoflora of the state nature reserve "Rassypnoy Yar" (Voronezh region), Flora and vegetation of the Central Chernozem region*, 166 (Kursk: IP Babkina G.P., 2022).
15. Popova N. N. *Bryoflora of natural parks of the Voronezh region*, *Proceedings of the Divnogorye Museum-Reserve*, **8**, 54, (Voronezh: Scientific Book, 2021).
16. Potemkin A. D., Sofronova E. V. *Liverworts and anthocerotes of Russia*, 368 p. (St. Petersburg.-Yakutsk, 2009).
17. *Flora of mosses of Russia*, M.S. Ignatov (ed.). **2.**, 560 p., (Moscow, 2017); **4.**, 543 p., (Moscow, 2018); **5**, 600 p., (Moscow, 2020); **6**, 472 p., (Moscow, 2022).
18. *The Red Book of the Voronezh region. Plants. Lichens. Mushrooms*. **1**, 412 p. (Voronezh: Center of spiritual Revival of the Chernozem region, 2018).

УДК 582.285.2: 582.282.112

DOI 10.29039/2413-1725-2025-11-1-111-125

**ЛОКАЛИЗАЦИЯ ДВУХ ВИДОВ ГРИБОВ *GOLOVINOMYCES*
CICHORACEARUM (DC.) HELUTA И *PUCCINIA LACTUCARUM* P. SYD. И ИХ
ВЛИЯНИЕ НА АНАТОМИЧЕСКОЕ СТРОЕНИЕ ПИТАЮЩЕГО РАСТЕНИЯ
LACTUCA QUERCINA L. (ASTERACEAE) В ГОРНОМ КРЫМУ**

Просянкикова И. Б., Шмакова Е. А.

*ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет им. В. И. Вернадского, Симферополь,
Республика Крым, Россия
E-mail: aphanisomenon@mail.ru*

В результате исследований, проведенных на пробной площади (100 м²), расположенной на территории ландшафтно-рекреационного парка регионального значения «Научный» (Республика Крым, Россия, общая площадь – 965 га), получены новые данные об анатомическом строении питающего растения *Lactuca quercina* L. (Asteraceae), пораженного двумя видами грибов: мучнисторосяного *Golovinomyces cichoracearum* (Dc.) Heluta и ржавчинного *Puccinia lactucarum* P. Syd. Исследовано анатомическое строение корня, стебля и листа здоровых и больных растений *L. quercina*. Исходя из совокупности признаков анатомического строения вегетативных органов, растение *L. quercina* можно отнести к экологической группе мезофиты. Проведенный анализ анатомического строения вегетативных органов зараженного растения *L. quercina* не выявил наличие диффузного мицелия паразитных грибов; заражение растений происходит ежегодно и носит местный характер.

Ключевые слова: анатомическое строение питающего растения *Lactuca quercina*, мучнисторосяный гриб *Golovinomyces cichoracearum*, ржавчинный гриб *Puccinia lactucarum*.

ВВЕДЕНИЕ

Известно, что умеренно-холодный и влажный климат Горного Крыма с элементами средиземноморского климата способствует развитию флоры разнообразного видового состава и столь же разнообразной паразитной фитотрофной микобиоты. Изучение взаимодействия облигатно-паразитных грибов и ценопопуляции питающего растения, закономерностей совместного протекания их жизненных циклов, сроков и способов инфекции, проведение анализа особенностей анатомического строения растений под влиянием инфекции является актуальной научной проблемой. В Горном Крыму, в окрестностях пгт. Научный Бахчисарайского района Республики Крым среди зарослей «дубков» – участков дубового и дубово-грабового леса, с преобладанием низкорослого дуба пушистого (*Quercus pubescens* Willd.) и дуба скального (*Quercus petraea* (Matt.) Liebl.) была обнаружена ценопопуляция *Lactuca quercina* L. (Asteraceae) с признаками поражения двумя видами фитотрофно-облигатных грибов-паразитов:

мучнисторосяного *Golovinomyces cichoracearum* (DC.) Heluta (Erysiphales, Ascomycota) и ржавчинного *Puccinia lactucarum* P. Syd. (Pucciniales, Basidiomycota).

По данным литературы грибы-паразиты *G. cichoracearum* и *P. lactucarum* на растении-хозяине *L. quercina* L. отмечены только для Южного берега Крыма, в Горном Крыму они ранее не были обнаружены [1]. Исследования взаимосвязей паразитных грибов *G. cichoracearum*, *P. lactucarum* с питающим растением *L. quercina*, их органотропная локализация и влияние на анатомическое строение растения-хозяина ранее не проводились.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Исследования проводились в течение вегетационного сезона 2024 года в окрестностях пгт. Научный Бахчисарайского района Республики Крым на одном из отрогов горы Сель-Бухра (658,2 м н.у.м.) на одной однородной пробной площади размером 4,0 х 25,0 м (общей площадью 100 м², крутизна склона 10 °). Пробная площадь входит в состав ландшафтно-рекреационного парка регионального значения «Научный», объекта ООПТ (Республика Крым, Россия, площадь – 965 га). Категория МСОП парка — V (Охраняемый ландшафт).

Для пробной площади характерно мозаичное сочетание участка степной шибляковой растительности – сообщества, слагаемого гемиксерофильными листопадными кустарниками и низкорослыми кустообразными деревьями, а также «дубков» – участков дубового и дубово-грабового леса, с преобладанием низкорослого дуба пушистого (*Quercus pubescens*) и дуба скального (*Quercus petraea*) (рис. 1 А). Травостой пробной площади преимущественно слагают следующие виды растений: *Geranium lucidum* L., *Ranunculus polyanthemus* L., *Chaerophyllum nodosum* Crantz, *Poa bulbosa* L., *Allium rotundum* L., *Dianthus capitatus* J.St.-Hil., краснокнижный вид *Anacamptis pyramidalis* L. Rich. и др. Исследуемое растение – *L. quercina* (рис. 1 Б) между деревьев образует довольно крупные многочисленные куртины. Общее проективное покрытие участка составляет 80 %.

Фиксация материала. Для анатомических исследований вегетативных органов растения *L. quercina* и выявления гиф мицелия, спороношения грибов в растительных тканях использовали фиксатор следующего состава: этиловый спирт, 50 % – 90 мл; ледяная уксусная кислота – 5 мл; формалин – 5 мл [2]. Фиксация растительного материала произведена в фазе цветения-начала плодоношения (третья декада июня); срезы стебля *L. quercina* выполнены в зоне 5–7-го метамеров. Полученные анатомические срезы окрашивали флюороглюцином с соляной кислотой. Фотофиксацию анатомических срезов вегетативных органов *L. quercina* (корень, стебель, лист) проводили с помощью фотонасадки, установленной на микроскоп медицинский прямой CX31RTSF, Olympus (Филиппины).

Здоровые и больные растения или их части гербаризировали с составлением стандартных этикеток [3]. Идентификацию образцов паразитных грибов *G. cichoracearum*, *P. lactucarum* на листьях растения-хозяина проводили стандартным методом с помощью определителей [4–7], таксономический статус видов грибов приведен согласно интерактивным базам: Index Fungorum [8] и

Mycobank Database [9], а названия видов растений представлено по источнику WFO Plant list [10].

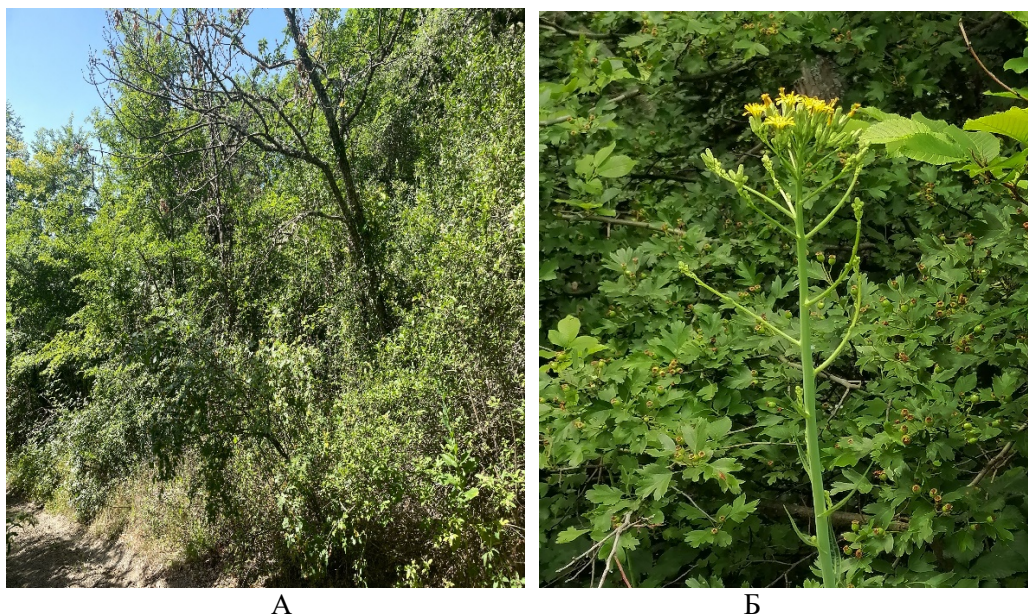


Рис. 1. Локализация пробной площади: А – фрагмент пробной площади; Б – внешний вид цветущей верхушки *Lactuca quercina* L. (фото автора).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

По данным литературы питающее растение *L. quercina* имеет европейско-средиземноморский ареал, который охватывает Европу от юго-восточной ее части до центральной Германии, а на востоке его границы доходят вплоть до юга России, включая полуостров Крым. *L. quercina* представляет собой двулетнюю монокарпическую траву, высотой 60–200 см, цветёт она преимущественно в летний период, является мезофитом по отношению к водному режиму и сциогелиофитом по отношению к световому режиму, по своей природе является аэропедофитом, по отношению к солевому режиму – гликофитом, известно также, что растение ядовито и встречается очень редко на лесных опушках, среди кустарников в Горном Крыму [12, 13]. Для выяснения особенностей органотропной локализации мицелия и возможного его распространения в тканях питающего растения было проведено сравнительное анатомическое исследование вегетативных органов (корень, стебель, лист) здоровых и зараженных растений *L. quercina*.

Анатомическое строение корня. Анатомические срезы корня *L. quercina* показали, что корень растения покрыт многослойной перидермой с вытянутыми в тангентальном направлении клетками (рис. 2). Как видно из данных рис. 2, в корне под покровной тканью располагается первичная кора, затем следует слой эндодермы, за ней располагается флоэма. Во флоэме слабо развита механическая ткань. Затем следует камбий, за которым располагается вторичная ксилема,

представленная трахеями. Просвет трахей постепенно увеличивается по направлению ближе к центру, в ксилеме корня хорошо заметны древесинные волокна (либриформ) и сердцевинные лучи. В центре корня *L. quercina* располагается тетраархный осевой цилиндр корня, представленный четырьмя тяжами первичной ксилемы (рис. 2).

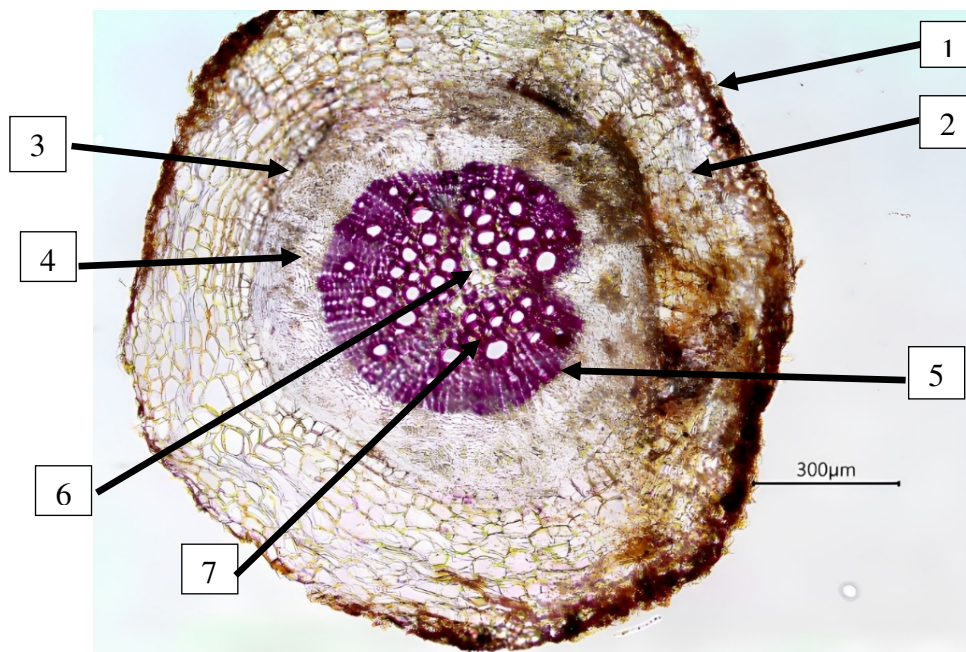


Рис. 2. Анатомическое строение корня здорового растения *Lactuca quercina* L.: 1 – перидерма; 2 – первичная кора; 3 – эндодерма; 4 – вторичная флоэма; 5 – камбий; 6 – первичная ксилема; 7 – вторичная ксилема.

Сравнительный анализ анатомического строения корня контрольного (здорового) и опытного (зараженного растения) вариантов *L. quercina* (рис. 3), проведенный в период массового цветения-начала плодоношения растения, не выявил в корнях мицелия паразитных грибов.

Анатомическое строение стебля. На поперечном срезе стебля *L. quercina* были выделены следующие основные топографические зоны: эпидерма, первичная кора и центральный цилиндр (рис. 4). Клетки одноклеточной эпидермы покрывают стебель. Они состоят из плотно сомкнутых клеток, покрытых хорошо развитой кутикулой; трихомы на стебле отсутствуют. Наружные и внутренние тангентальные стенки клеток эпидермы значительно утолщены (рис. 4). Первичная кора растения как зона состоит: из пластинчатой колленхимы, основной паренхимы и эндодермы. Под эпидермой располагается первичная кора, три-четыре слоя клеток которой образуют пластинчатую колленхиму, далее располагается паренхима коры, сложенная из рыхло расположенных округлых клеток (рис. 4). Ограничивающая

первичную кору – эндодерма (крахмалоносное влагище), состоит из плотно сомкнутых между собой клеток, плотно прилегающих к друг другу. Эндодерма представлена крупными, четко выраженными и обособленными клетками (рис. 4). Известно, что в клетках эндодермы сосредоточен запас питательных веществ, постепенно расходуемым растением.

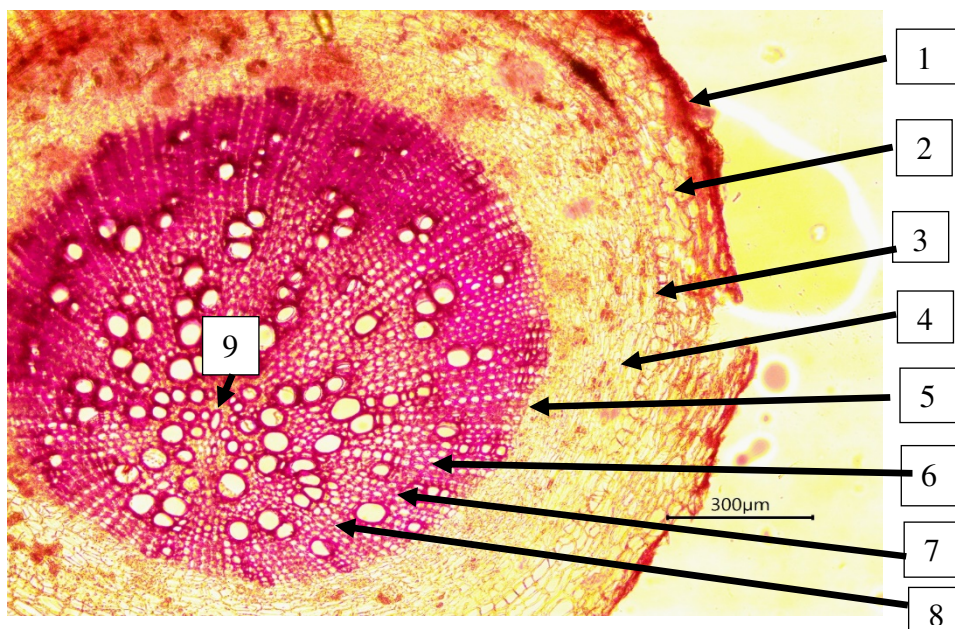


Рис. 3. Анатомическое строение корня зараженного растения *Lactuca quercina* L. двумя видами грибов *Golovinomyces cichoracearum* (Dc.) Heluta и *Puccinia lactucarum* P. Syd.: 1 – перидерма; 2 – первичная кора; 3 – эндодерма; 4 – вторичная флоэма; 5 – камбий; 6 – вторичная ксилема; 7 – древесинные волокна; 8 – сердцевинные лучи; 9 – тетраэдрная первичная система корня.

За эндодермой располагается центральный цилиндр, представленный различными типами специализированных тканей: кольцо склеренхимы перициклического происхождения, состоящее из 2–3 слоев клеток механической ткани, внутренние слои которого образуют выступы, вдающиеся в наиболее крупные проводящие пучки, между которыми располагаются более мелкие пучки. Сосудисто-волокнистые пучки здесь представлены открытыми коллатеральными (рис. 4), причем крупные пучки чередуются с более мелкими. Затем следует слой вторичной флоэмы, имеющей типичное строение (рис. 4), а далее залегает слой камбия и вторичной ксилемы.

В стебле *L. quercina* дифференцируется пучковый и межпучковый камбий. Вторичная ксилема располагается внутрь от камбия и представлена довольно крупными сосудами. Слой ксилемы примерно в 2 раза толще слоя флоэмы. В ксилеме развиты волокна либриформа с утолщенными стенками. Ксилема

образована сосудами с сильно лигнифицированными стенками, при этом сосуды ксилемы располагаются правильными рядами и разделены узкими сердцевинными лучами. Ксилема в стебле неоднородна, сосуды отличаются по диаметру. Сосуды, образованные весной, имеют более широкие просветы, чем сосуды летней ксилемы (рис. 4).

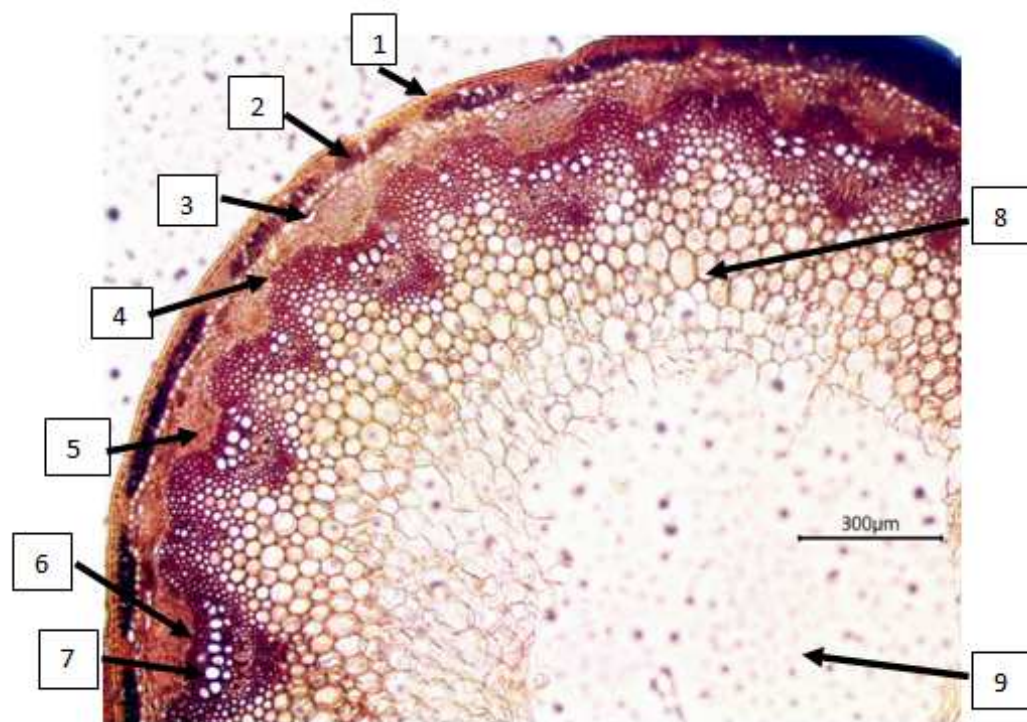


Рис. 4. Анатомическое строение стебля здорового растения *Lactuca quercina* L.: 1 – эпидерма; 2 – первичная кора с пластинчатой колленхимой; 3 – эндодерма; 4 – склеренхима; 5 – флоэма; 6 – камбий; 7 – вторичная ксилема; 8 – паренхима сердцевины; 9 – воздухоносная полость.

Ближе к сердцевине располагается паренхимная ткань, перимедулярная зона в стебле *L. quercina* отсутствует (рис. 4). Затем следуют тонкостенные, крупные, рыхло расположенные и имеющие округлую форму паренхимные клетки, заполняющие сердцевину стебля *L. quercina*. а в его центре находится довольно крупная воздухоносная полость.

В центральном цилиндре идентифицируются членистые млечные ходы схизогенного типа, типичные для рода *Lactuca* (рис. 5). Выявлено, что анатомическое строение стебля *L. quercina* имеет типичный пучковый тип строения, характерный для дву- и многолетних травянистых растений из семейства Asteraceae, хотя со временем пучковое строение стебля постепенно сменяется на непучковое.

Это происходит потому, что межпучковый камбий откладывает вторичные ксилему и флоэму, а не клетки паренхимы, при этом образуются дополнительные пучки, которые сливаются с ранее сформированными сосудистыми пучками в сплошное проводящее кольцо (рис. 5).

Анализ анатомического строения стебля больного растения *L. quercina*, проведенный нами в фазу массового цветения-начала плодоношения питающего растения (третья декада июня), не выявил признаков диффузного или системного поражения стебля грибами-паразитами *G. cichoracearum* и *P. lactucarum* (рис. 5).

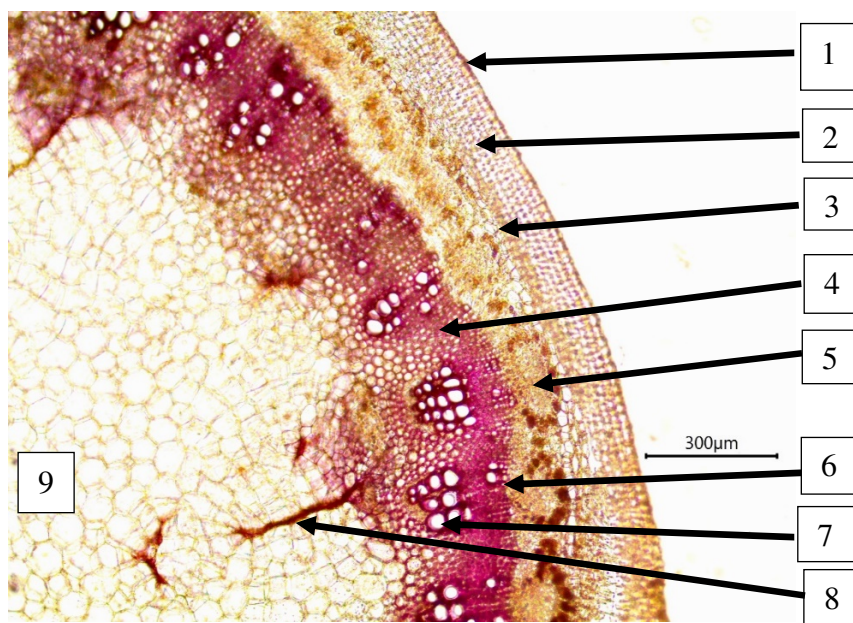


Рис. 5. Анатомическое строение стебля растения *Lactuca. quercina*, зараженного грибами *Puccinia lactucarum* и *Golovinomyces cichoracearum*: 1 – эпидерма; 2 – первичная кора с колленхимой; 3 – эндодерма; 4 – склеренхима; 5 – флоэма; 6 – камбий; 7 – вторичная ксилема; 8 – членистые млечные ходы схизогенного типа; 9 – паренхима сердцевины.

Анатомическое строение листа. С точки зрения морфологии листя у *L. quercina* голые, простые, тонкие и мягкие, по краю листовой пластинки – зубчатые. Верхние листья у *L. quercina* – сидячие со стреловидным основанием, а нижние – стелющиеся. С адаксиальной стороны листя зеленого цвета, а абаксиальная сторона листев имеет голубовато-зелёную окраску. Прикорневые и нижние стеблевые листья характеризуются довольно крупными размерами, длинно-черешчатые, а верхние стеблевые являются короткочерешчатыми или сидячими.

Клетки эпидермы листа имеют крупные размеры и с адаксиальной стороны представлены утолщенными наружными тангентальными стенками с хорошо развитой кутикулой, трихомы отсутствуют. Мезофилл листа имеет однородную

палисадную ткань, состоящей из нескольких рядов клеток, сильно вытянутых в длину, содержащих крупные хлоропласты клеток, длинная ось которых перпендикулярна поверхности листа. Между клетками палисадного мезофилла межклетники отсутствуют. В листе имеется главная жилка и две пары более мелких боковых жилок (рис. 6).

Центральная жилка представлена крупным коллатеральным проводящим пучком и двумя боковыми, под которыми располагается колленхима, жилкование листа – сетчатое, проводящие пучки – закрытые. Мезофилл листа у *L. quercina* диффузный (однородный), фотосинтезирующая паренхима расположена с верхней стороны листа в виде 3–2 слоев вытянутых в длину клеток, а с нижней стороны – в виде 2–3 слоев клеток. Клетки *L. quercina* обильно заполнены хлоропластами, имеющими вытянутую форму. В анатомическом отношении такой вид строения листа соответствует изолатеральному типу (рис. 6). Межклетники в листе представлены слабо.

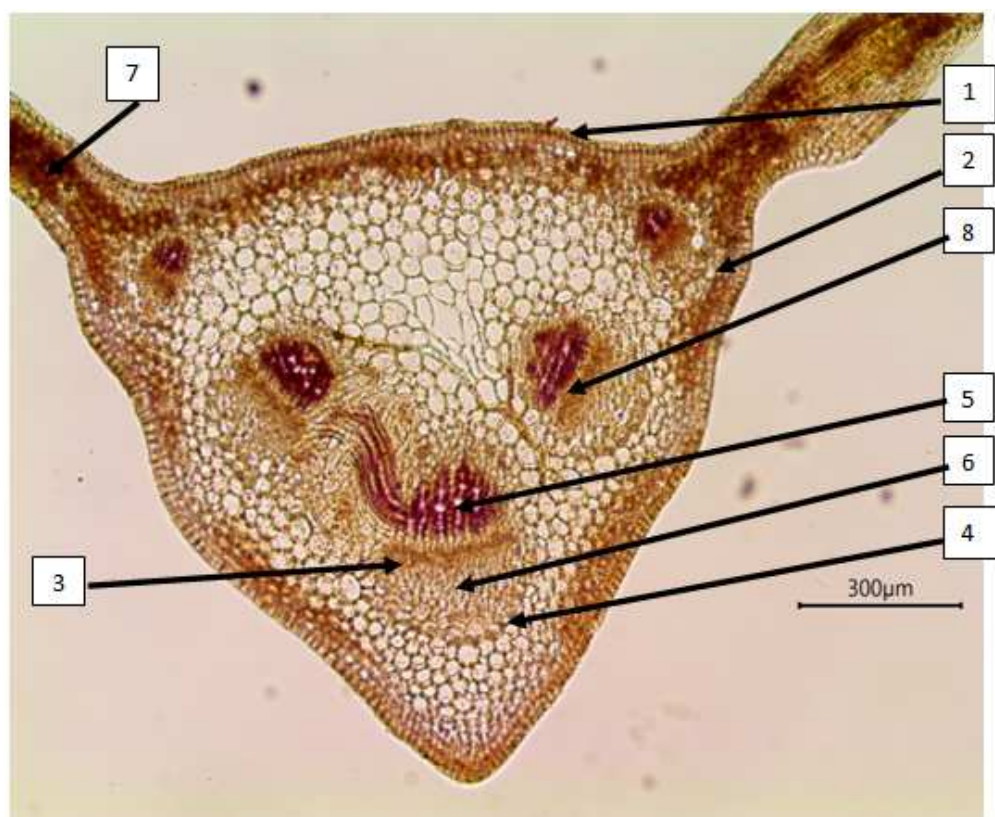


Рис. 6. Анатомическое строение здорового листа *Lactuca quercina*: 1 – эпидерма; 2 – колленхима; 3 – центральный проводящий пучок; 4 – паренхимная обкладка проводящего пучка; 5 – ксилема; 6 – флоэма; 7 – мезофилл; 8 – боковой проводящий пучок.

Таким образом, анализируя анатомические признаки листа, можно сделать вывод, что лист *L. quercina* имеет признаки мезоморфной структуры. В целом, учитывая совокупность анатомических признаков вегетативных органов, данный вид можно отнести к экологической группе мезофиты, что полностью подтверждает тип экоморфы, указанный в монографии В. Н. Голубева [13] «Биологическая флора Крыма» для *L. quercina*.

Известно, что нарушение анатомической целостности тканей органов растений под влиянием паразитных грибов приводит к изменению транспорта воды, минеральных и органических веществ, дестабилизирует физиологическое состояние растений, делая их более уязвимыми к абиотическим факторам окружающей среды [14]. Некоторым представителям порядка *Rustiales* свойственно развитие диффузного мицелия, который своими гифами может пронизывать ткани и органы всего растения; он часто бывает многолетним, локализуясь в корневой системе и ежегодно отрастающие побеги уже весной проявляют признаки поражения паразитным грибом. Такой тип мицелия, в отличие от локального, нередко вызывает значительные изменения в морфологическом и анатомическом строении пораженных органов.

Наши исследования показали, что диффузного поражения ржавчинным грибом *Rustia lactucarum* корня и стебля питающего растения *L. quercina* выявлено не было. Проведенное в период массового цветения-начала плодоношения анатомическое исследование листьев показало наличие поражения их ржавчинным грибом *Rustia lactucarum* в виде многочисленных пустул в виде урединиев и телиев, причем закладывались они как с одной из сторон листовой пластинки, так и с обеих (рис. 7 А, В).

Отмечена также локализация эктофитного мицелия мучнисторосяного гриба *G. cichoracearum*, расположенного преимущественно на верхней стороне листьев в виде белого или серовато-белого хорошо развитого мицелия (рис. 7 Б). Гриб образует анаморфу *Oidium*-типа. Его конидии расположены в виде длинных цепочек, форма конидий варьирует от эллиптических до бочковидных, размером 21–47×15–25 мкм (рис. 7 В).

Образующиеся (июль-август) хазмотеции (телеоморфа) гриба разбросанные, шаровидные, 80–135 мкм диаметром, чёрно-коричневого цвета, в незрелом виде – светло-желтые (рис. 7 В). В ходе вегетации одновременное поражение листьев двумя видами грибов-паразитов приводит к истощению и преждевременному усыханию листьев пораженных растений *L. quercina* по сравнению со здоровыми растениями.

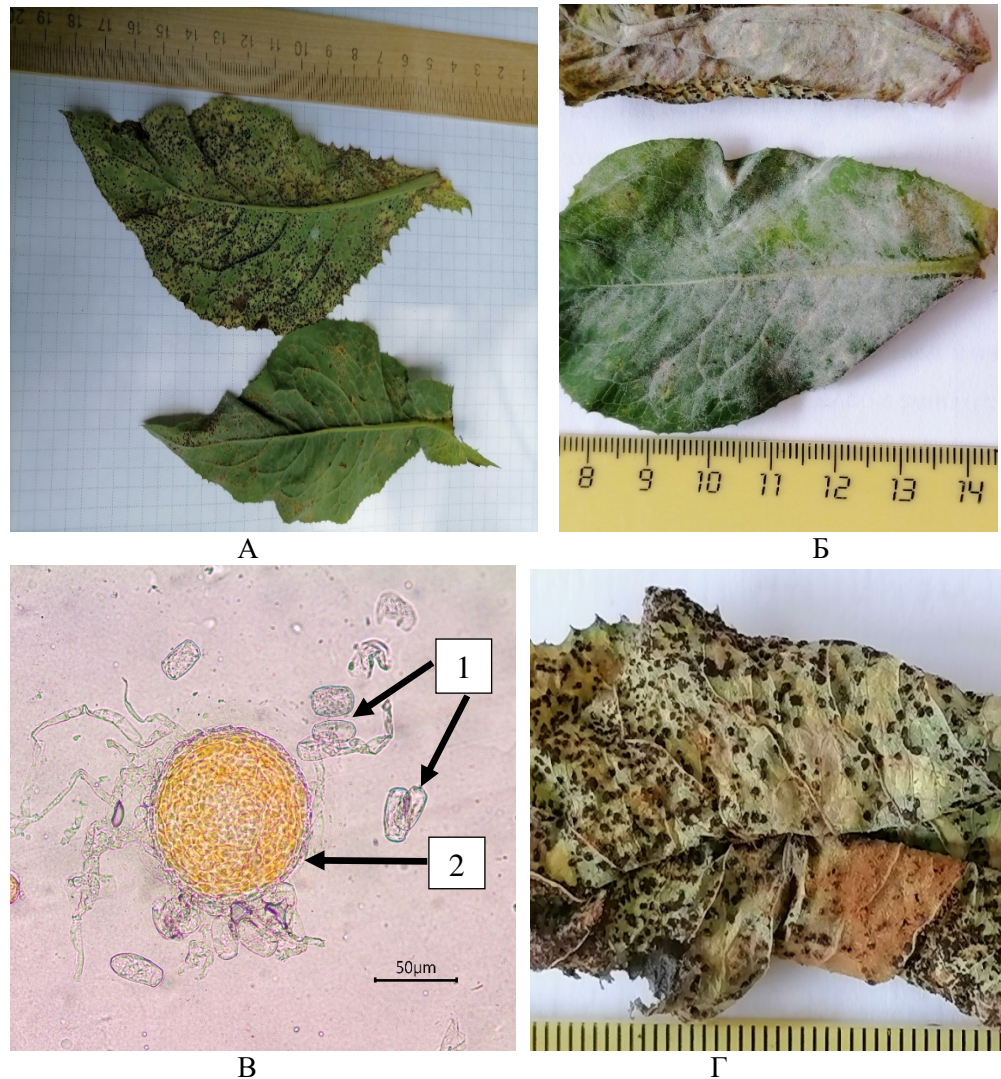


Рис. 7. Развитие спороношения *Puccinia lactucarum* и *Golovinomyces cichoracearum* на листьях *Lactuca quercina*: А – фаза образования телиев *P. lactucarum*; Б – мицелий *G. cichoracearum* в виде налета; В – конидии (1) и незрелый хазмотеций (2) мучнисторосяного гриба *G. cichoracearum*; Г – усыхание листьев в фазе массового цветения-плодоношения при сильном заражении грибами-паразитами по сравнению со здоровыми.

У пораженных растений в листьях созревшие урединии и телии ржавчинного гриба *P. lactucarum* вызывают разрыв эпидермальной ткани (рис. 8 А), формируя в пустулах многочисленные урединиоспоры (летние споры), или телиоспоры (зимующие споры) (рис. 8 Б).

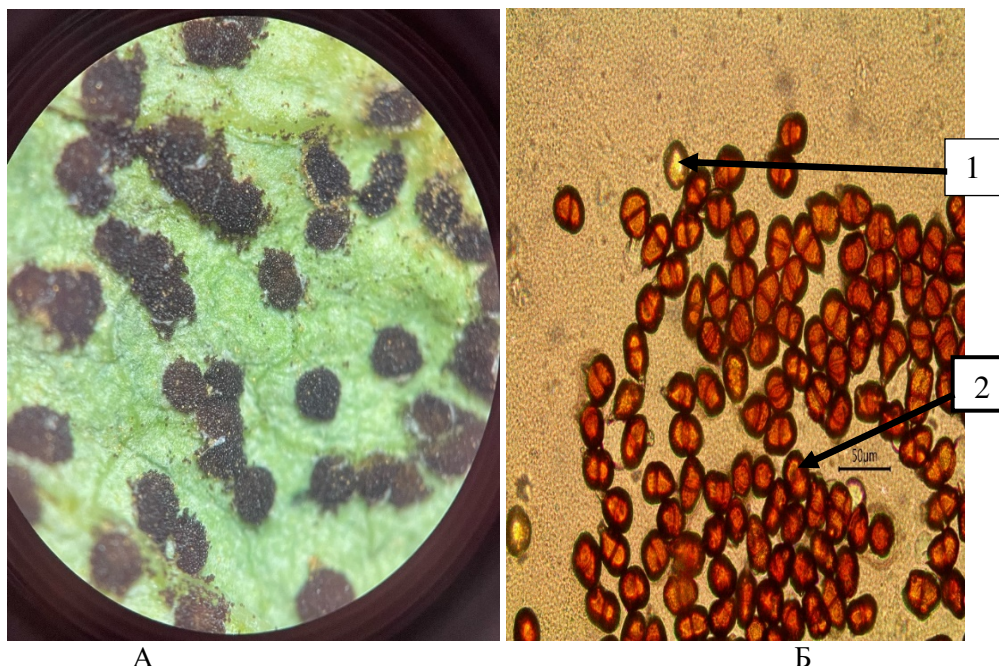


Рис. 8. *Puccinia lactucarum* на листьях *Lactuca quercina*: А – фрагмент пораженного листа растения-хозяина *Lactuca quercina* с пустулами гриба (увел. 4,5х); Б — урединиоспоры (1) и телиоспоры (2) ржавчинного гриба.

В этом случае наблюдается, что субэпидермальный слой клеток растений в зоне пораженных участков был более четко выражен по сравнению с контрольным вариантом (здоровым листом *L. quercina*) (рис. 9). Важно отметить, что клетки центральной жилки, прилегающие к телию, удлиняются за счет растяжения стенок (явление гипертрофии), между ними образуются воздухоносные полости.

Полагаем, что проникший в растение эндофитный мицелий паразита, способствует удлинению клеток путем растяжения и образованию в листьях растения-хозяина воздухоносных полостей, необходимых для закладки и формирования урединиев и телиев, а сохраняющиеся клетки субэпидермального слоя защищают их от неблагоприятных факторов внешней среды до момента созревания и вскрывания урединиев (рис. 9).

На основании полученных данных можно сделать вывод, что локализация ржавчинного гриба *P. lactucarum* в тканях *L. quercina* является местной. Гриб-паразит, формируя эндофитный и локальный мицелий, вызывает гипертрофию пораженных клеток листьев *L. quercina*. Два вида паразитных грибов *G. cichoracearum* и *P. lactucarum*, развиваясь в фазе массового цветения-начала плодоношения при значительном заражении листового аппарата питающего растения приводят к преждевременному усыханию листьев по сравнению со здоровыми растениями.



Рис. 9. Лист *Lactuca quercina*, зараженный ржавчинным грибом *Puccinia lactucarum*: 1– телий с телиоспорами; 2 – гипертрофия клеток листа под влиянием ржавчинного гриба.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Анатомическое исследование корня *L. quercina*, показало, что он покрыт перидермой, за которой следует первичная кора с хорошо развитой эндодермой. Вторичная ксилема корня представлена трахеями, причем просвет трахей постепенно увеличивается ближе к центру ксилемы, также хорошо развиты древесинные волокна (либриформ) и сердцевинные лучи. Для корня характерен тетраархный осевой цилиндр корня, представленный четырьмя тяжами первичной ксилемы.
2. Выявлено, что анатомическое строение стебля *L. quercina* имеет типичный пучковый тип строения, постепенно переходящий в непучковый, характерный для многих дву- и многолетних травянистых растений из семейства Asteraceae.
3. Анатомическое строение листьев соответствует изолатеральному типу. По совокупности анатомических признаков вегетативных органов *L. quercina* можно отнести к экологической группе мезофиты, что подтверждает указанный в литературе тип экоморфы данного вида [13].
4. Локализация ржавчинного гриба *P. lactucarum* в тканях *L. quercina* является местной, развивается ежегодно заново только на листьях, вызывая гипертрофию клеток.
5. Два вида паразитных грибов *G. cichoracearum* и *P. lactucarum*, развиваясь в фазе массового цветения-начала плодоношения при значительном заражении

питающего растения приводят к преждевременному усыханию листьев по сравнению со здоровыми растениями.

Список литературы

1. Дудка И. О. Грибы природных зон Криму / И. О. Дудка, В. П. Гелюта, Ю. Я. Тихоненко [и др.]. – К. : Фітосоціоцентр, 2004. – 452 с.
2. Барыкина Р. П. Справочник по ботанической микротехнике / Р. П. Барыкина, Т. Д. Веселова, А. Г. Девятов и др. [и др.] Основы и методы. – М. : изд-во МГУ, 2004. – 312 с.
3. Благовещенская Е. Ю. Фитопатогенные микромицеты: Учебный определитель / Е. Ю. Благовещенская. – М. : ЛЕНАНД, 2015. – 240 с.
4. Купревич В. Ф. Определитель ржавчинных грибов СССР / В. Ф. Купревич, В. И. Ульянищев. – Минск : Наука и техника, 1975. – Ч. 1. – 485 с.
5. Termorshuizen, A. J. Roesten van Nederland (Dutch Rust Fungi) / A. J. Termorshuizen, C. A. Swertz / Print Book, Dutch. – 2011. – 423 p.
6. Гелюта В. П. Флора грибов Украины. Мучнисторосяные грибы / В. П. Гелюта. – Киев : Наук. думка, 1989. – 256 с.
7. Braun U. Taxonomic Manual of the Erysiphales (Powdery Mildews) / U. Braun, R. T. A. Cook // CBS-KNAW Fungal Biodiversity Centre, Utrecht, The Netherlands, 2012. – Vol. 11. – 707 p.
8. Index Fungorum [электронный ресурс]. 2003. Режим доступа: <http://www.indexfungorum.org> [веб-сайт, версия 1.00] (дата обращения: 25.01.2025).
9. Mycobank Database [электронный ресурс]. 2004. Режим доступа: <http://www.mycobank.org> (дата обращения: 24.01.2025).
10. WFO The Plant List [электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.theplantlist.org> (дата обращения: 25.01.2025).
11. *Lactuca quercina* L. [электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.floraweb.de/php/artenhome.php?suchnr=3245&> (дата обращения: 25.01.2025).
12. Определитель высших растений Крыма / под общей ред. Рубцова Н. И. – Л.: Наука, 1972. – 550 с.
13. Голубев В. Н. Биологическая флора Крыма / В. Н. Голубев. – Ялта, НБС-ННЦ, 1996. – 126 с.
14. Рубин Б. А. Биохимия и физиология иммунитета растений / Б. А. Рубин, Е. В. Арциховская, В. А. Аксенова – М. : Высшая школа, 1975. – 320 с.

LOCALIZATION OF TWO SPECIES OF FUNGI *GOLOVINOMYCES CICHORACEARUM* (DC.) HELUTA AND *PUCCINIA LACTUCARUM* P. SYD. AND THEIR EFFECT ON THE ANATOMICAL STRUCTURE OF THE *LACTUCA QUERCINA* L. (ASTERACEAE) NUTRIENT PLANT IN THE MOUNTAINOUS CRIMEA

Prosiannikova I. B., Shmakova E. A.

V. I. Vernadsky Crimean Federal University, Simferopol, Russia
E-mail: aphanisomenon@mail.ru

Mycological studies were conducted during the 2024 growing season in the vicinity of the village. «Nauchny» research of the Bakhchisarai district of the Republic of Crimea on one of the spurs of the Sel-Bukhra mountain (658.2 m above sea level) on one homogeneous test area measuring 15.0 x 81.0 m (total area of 1215 m², slope steepness 20 °). The trial area is part of the landscape and recreational park of regional significance

«Nauchny», a protected area facility (Republic of Crimea, Russia, area – 965 hectares) [5]. The IUCN category of the park is V (Protected Landscape).

The total projected coverage of the site is 80 %. The natural vegetation of the studied area is represented by oak-hornbeam woodlands, where the feeding plant *L. quercina*. forms quite large numerous curtains in the clearings. For anatomical studies and detection of hyphae of mycelium and sporulation of the fungus in plant tissues, a fixative of the following composition was used: ethyl alcohol, 50 % 90 ml; glacial acetic acid 5 ml; formalin 5 ml [2]. The resulting anatomical sections were stained with fluoroglucin with hydrochloric acid. Photofixation of anatomical sections of *L. quercina* vegetative organs was performed using a photodetector mounted on a medical direct microscope CX31RTSF, Olympus (Philippines). Healthy and diseased plants or parts of them were herbalized with the preparation of standard labels [3]. The identification of samples of the parasitic fungi *G. cichoracearum*, *P. lactucarum* on the leaves of the host plant was carried out using a standard method using determinants [4–7], the taxonomic status of the fungal species is given according to the interactive databases: Index Fungorum [8] and Mycobank Database [9], and the names of plant species are presented according to the source WFO Plant list [10].

Anatomical examination of the root of *L. quercina* showed that the root is covered with integumentary tissue periderm, followed by a primary bark with a well-developed endoderm. The secondary xylem of the root is represented by tracheas, with the tracheal lumen gradually increasing closer to the center of the xylem, and wood fibers (libriforms) and core rays are also well developed. The root is characterized by a tetrarch axial cylinder of the root, represented by four strands of primary xylem. It was revealed that the anatomical structure of the stem of *L. quercina* has a typical bundle type of structure, gradually turning into a non-bundle type, characteristic of many two- and perennial herbaceous plants from the Asteraceae family.

The anatomical structure of the leaves corresponds to the isolateral type. According to the totality of anatomical features of the vegetative organs, *L. quercina* can be attributed to the ecological group of mesophytes, which confirms the type of ecomorphs of this species noted in the literature [13]. The localization of the rust fungus *P. lactucarum* in the tissues of *L. quercina* is local, it develops annually anew only on the leaves, causing cell hypertrophy. Two types of parasitic fungi, *G. cichoracearum* and *P. lactucarum*, developing in the phase of mass flowering-the beginning of fruiting with significant infection of the feeding plant lead to premature drying of the leaves compared with healthy plants.

Keywords: anatomical structure of *Lactuca quercina*, powdery mildew *Golovinomyces cichoracearum*, and the rust fungus *Puccinia lactucarum*.

References

1. Dudka I. O., Geluta V. P., Tichonenko Y. A. et al., *Fungi natural areas Crimea* (Institute of botany named after M.G. Cholododny), (Phytosotsiotsentr, Kiev, 2004). (in Ukr.)
2. Barykina R. P., Veselova T. D., Devyatov A. G., etc. *Handbook of Botanical microtechnics. Fundamentals and methods* (MSU publishing house, Moscow, 2004.). (in Russ.).
3. Blagoveshchenskaya E. Y., *Phytopathogenic micromycetes: educational guide* (Publishing house Lenand, Moscow, 2015). (in Russ.).

4. Kuprevich V. F., Ulyanischev V. I., *Determinant of rust fungi of the USSR*. Part 1 (Science and Technology, Minsk, 1975). (in Russ.).
5. Termorshuizen A. J., Swertz C. A., *Roesten van Nederland* (Dutch Rust Fungi, 2011).
6. Gelyuta V. P. *Flora of Ukraine fungi. Powdery mildews fungi* (Publishing House of Sciences Dumka, Kiev, 1989). (in Russ.).
7. Braun U., Cook R. T. A., *Taxonomic Manual of the Erysiphales* (Powdery Mildews) (Publishing House CBS-KNAW Fungal Biodiversity Centre, Utrecht, The Netherlands), 11 (2012).
8. *Index Fungorum* [electronic resource]. 2003. Access mode: <http://www.indexfungorum.org> [website, version 1.00] (reference date: 25.01.2025).
9. *Mycobank Database* [electronic resource]. 2004. Access mode: <http://www.mycobank.org> (reference date: 24.01.2025).
10. *WFO The Plant list* [electronic resource]. 2013. Access mode: <http://www.theplantlist.org/> (reference date: 25.01.2025).
11. *Lactuca quercina* L. [electronic resource]. Access mode: <https://www.floraweb.de/php/artenhome.php?suchnr=3245> & (reference date: 25.01.2025).
12. *Determinant of higher plants of the Crimea* (Nauka, Leningrad, 1972). (in Russ.).
13. Golubev V. N. *Biological flora of Crimea* (NBS-NNTs, Yalta, 1996). (in Russ.).
14. Rubin B. A., Artsikhovskaya E. V., Aksenova V. A. *Biochemistry and physiology of plant immunity* (Higher School, Moscow, 1975). (in Russ.).

УДК 574.472(477.75):595.768.11

DOI 10.29039/2413-1725-2025-11-1-126-139

**ИЕРАРХИЧЕСКОЕ РАЗНООБРАЗИЕ И ТАКСОНОМИЧЕСКАЯ
СЛОЖНОСТЬ ЭТОМОЛОГИЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ ЦЕРАМБИЦИД
(INSECTA: CERAMBYCIDAE) В ЭКОСИСТЕМАХ КРЫМСКОГО
ПОЛУОСТРОВА**

Пышкин В. Б.¹, Прыгунова И. Л.²

¹*Институт биохимических технологий, экологии и фармации (структурное подразделение)
ФГАОУ ВО «Крымский Федеральный университет им. В. И. Вернадского», Симферополь,
Республика Крым, Россия*

²*Филиал Московского государственного университета в г. Севастополе, Севастополь, Россия
E-mail: vpbiscrim@mail.ru*

Созданная в рамках программы *CrimInsecta* база данных по таксономии, экологии, биологии и хорологии церамбицид Крыма позволила изучить распространение видов по физико-географическим провинциям и областям полуострова, выделить энтомологические комплексы биоценозов ландшафтных экосистем, установить их видовое и таксономическое богатство, оценить иерархическое разнообразие, сложность и типичность для выделения особо охраняемых природных территорий Крыма.

Ключевые слова: Крым, экосистема, насекомые, хорология, энтомокомплекс, видовое и таксономическое богатство.

ВВЕДЕНИЕ

Дровосеки или усачи (*Cerambycidae*) - одно из семейств отряда жесткокрылых (*Coleoptera*) которое в мировой фауне представлено – 35000 видами, в России – 585, в Крыму более 150 видами. Это семейство является одним из наиболее изученных, есть большое количество литературных источников [1–6] о нахождении тех или иных видов жуков на полуострове, но нет обобщающих работ по биоразнообразию, видовому и таксономическому богатству, иерархическому разнообразию, сложности и типичности их фаунистических комплексов в экосистемах физико-географических провинций и областей Крыма.

Все жуки-усачи относятся к растительноядным насекомым. Их личинки развиваются под корой или в древесине древесной растительности, некоторые живут в стеблях травянистых растений. Имаго не многих видов питаются генеративными органами участвуя в их опылении. Как сапрофиты, они выполняют деструктивную функцию в экосистеме, участвуя в биологическом круговороте вещества, энергии и информации.

Большинство изменений в биоразнообразии крымских видов жуков-усачей можно объяснить разрушением мест их обитания, уничтожением лесных экосистем

в результате интенсификации сельского хозяйства и расширения урбанизации на полуострове. Их уничтожение в экосистемах полуострова окажет негативное влияние на природу полуострова. Жуки-дровосеки играют важную роль в пищевых сетях и круговороте органики в биогеоценозах. Главная причина вымирания насекомых – развитие сельского хозяйства и урбанизация, из-за которых они остаются без мест обитания [7–9].

Семейство церамбицид Крыма, хотя и небольшое по видовому богатству, но обладает большим таксономическим разнообразием, поэтому его удобно использовать в качестве индикаторов состояния экосистем на любом уровне их организации.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Изучение биологического разнообразия *Cerambycidae* Крыма проводилось в рамках проекта – *BisCrim* (БиоИнформационная Система Крыма). Его основу представляет Банк Баз Данных, сложная структура которого является информационным отражением состава, состояния, взаимообусловленности и взаимосвязи всех компонентов экосистем Крыма включая насекомых [14, 15]. Создание Баз Данных насекомых в проекте *BisCrim*, проводится по программе *CrimInsecta* – информационная система, предназначенная для сбора, хранения и объединения авторских разработок по видовому составу, экологии, хорологии и биоразнообразию насекомых Крыма [16, 17]. Организационной основой Базы Данных «*Cerambycidae*» являются материалы фондовой коллекций Крымского федерального университета, Института Зоологии АН России, Зоологического музея МГУ многих частных коллекций, а также многочисленные литературные источники [20].

В комплексной оценке биоразнообразия выделенных фаунистических комплексов экосистем применялись алгоритмы рекомендованные И. Г. Емельяновым [21–24] с применением формулы разнообразия Шенона:

$$H = -\sum_{i=1}^S P_i \log_2 P_i, \text{ где } P_i - \text{доля } i\text{-го вида по обилию и сложности сообщества;}$$

$$C = (H_i \cdot \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N H_i)^{1/2}, \text{ где } H_i - \text{показатель таксономического}$$

разнообразия, H_i – показатель видовой насыщенности i -го таксономического уровня, N – число анализируемых уровней.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Для изучения видового и таксономического богатства и иерархического биоразнообразия, сложности и типичности комплексов церамбицид экосистем физико-географических провинций и областей Крыма мы использовали созданную нами базу данных «*Cerambycidae*» программы *CrimInsecta* которая включает сведения о 153 видах, принадлежащих к 6 подсемействам и 36 трибам, которые объединяют 67 родов.

Ядром таксономического разнообразия церамбицид полуострова является подсемейство *Lamiinae*. В мировой фауне к нему относится более 12 тыс. видов из 900 родов объединяемых 100 трибами. В Крыму они представлены: 21 родом с 67 видами из 13 триб, а их таксономическое богатство составляет 119 таксонами (табл. 1).

Таблица 1

Таксономическая структура подсемейств семейства *Cerambricidae* Крыма

Подсемейства	Количество таксонов:				Сумма таксонов
	Триб	Родов	Подродов	Видов	
Prioninae	4	4	2	4	14
Lepturinae	2	10	8	18	38
Necydalinae	1	1	-	1	3
Aseminae	2	5	-	7	14
Cerambycinae	13	28	9	56	106
Lamiinae	13	21	18	67	119
Всего:	36	69	37	153	394

Большинство видов лямин заселяют древесные породы, держатся на стеблях, стволах, ветвях и, реже, на листьях своих кормовых растений. Питаются жуки, как правило, листьями, хвоей, корой молодых веточек и побегами, т.е. частями тех растений, которые являются кормовыми для их личинок.

Наибольшим видовым богатством этого подсемейства обладают три рода. Род *Phytoecia* Dejean, 1835 который объединяет 14 видов преимущественно средиземноморского происхождения развивающихся в стеблях травянистых растений: *Ph. (P.) h.hirsutula* (Froelich, 1793), *Ph. (C.) scutellata* (Fabricius, 1792), *Ph. (H.) m.millefolii* (Adams, 1817), *Ph. (H.) praetextata* (Steven, 1817), *Ph. (s.str.) cylindrical* (Linnaeus, 1758), *Ph. (s.str.) icterica* Schaller, 1783 и др. Род *Dorcadion* Dalman, 1817 в который входят 11 средиземноморских видов, личинки которых ведут подземный образ жизни питаются корешками преимущественно злаковых травянистых растений : *D. (C.) carinatum* (Pallas, 1771), *D. (P.) cinerarium* (Fabricius, 1787), *D.(P.) pusillum* Kuester, 1847, *D.(P.) holosericeum* Krynicki, 1832, *D.(P.) equestre* (Laxmann, 1770) и др.). За счет стеблей травянистых растений развиваются и 9 видов рода *Agapanthia* Serville, 1835: *A. (s.str.) violacea* (Fabricius, 1775), *A. (s.str.) kirbyi* (Gyllenhal, 1817), *A. (s.str.) villosoviridescens* (Degeer, 1775) и др.). Остальные роды подсемейства: *Parmena* Latreille, 1829, *Mesosa* Latreille, 1829, *Aphelocnemis* Stephens, 1831, *Monochamus* Guérin-Meneville, 1826, *Morinus* Brulle, 1832 и др. содержат один-три вида.

Содоминантом по видовому богатству является обширное, разнообразное и систематически дифференцированное подсемейство *Cerambycinae*. Оно представлено во всех физико-географических провинциях и областях Крыма, где встречаются представители 13 триб, 28 родов и 56 видов, сумма их таксонов – 106. Личинки в основном олигофаги лиственных пород, реже полифаги и монофаги,

питаются соком деревьев, пылью и тычинками цветов. Церамбицины практически не встречаются в степных экосистемах. Большим видовым богатством этого подсемейства обладают роды: *Phymatodes*, Mulsant, *Ph. (P.) lividus* (Rossi, 1794), *Ph. (P.) puncticollis* Mulsant, 1862, *Ph. (P.) pusillus rufipenne* (Starc, 1889), *Ph. (P.) alni* (Linnaeus, 1758) и др., род *Trichoferus* Wollaston, 1854 – 4 вида: *T. holosericeus* Rossi, 1790, *T. griseus* (Fabricius, 1792), *T. pallidus* (Olivier, 1790), *T. campestris* (Faldermann, 1835), род *Cerambyx* Linnaeus, 1758 – 4 вида: *C. (s.sh.) cerdo* (Linnaeus, 1758), *C. (s.sh.) dux* (Faldermann, 1837), *C. (s.sh.) nodulosus* Germar, 1837, *C. (s.sh.) miles* Bonelli, 1823). Роды *Rosalia* Serville, 1833, *Purpuricen* Germar, 1824, *Gracilia* Serville, 1834, *Penichroa* Stephes, 1839, *Obrium* Dejean, 1821, *Nathrius* Brethes, 1916 и другие включают один-три вида.

Остальные подсемейства семейства обладают меньшим таксономическим богатством: подсемейство *Lepturinae* с 18 видами из 10 родов: *Rh. testaceipenne* Pic, 1897, *Rh. (H.) bifasciatum* Fabricius, 1775, *Rh. (s.str) inquisitor* (Linnaeus, 1758), *S. (s.str) insitivus* Germar, 1824, *D. (s.str) collaris* (Linnaeus, 1758), *C. taurica* Plavilstshikov, 1936, *L. (R.) maculate* (Poda, 1761), *S. attenuata* (Linnaeus, 1758), *S. bifasciata* (Muller, 1776), *V. bipunctata* (Fabricius, 1781) и др. Подсемейство *Aseminae* – 7 видов из 5 родов: *Prioninae* – 4 вида из 4 родов: *E. (s.str) faer* (Linnaeus, 1768), *P. myardi* Mulsant, 1842, *A. (s.str) scabricornis* (Scopolii, 1763), *A. (s.str) scabricornis* (Scopolii, 1763), *P. coriarius* (Linnaeus, 1758), *P. coriarius* (Linnaeus, 1758), *P. coriarius* (Linnaeus, 1758). Подсемейство *Necydalinae* представлено всего одним родом *Saphanus* Serville, 1834 с одним видом *N. major* (Linnaeus, 1758).

Крымский полуостров расположен в пределах огромного материка Евразия практически на равном удалении от Северного полюса и экватора, где проходит граница двух климатических поясов. Поэтому на таком маленьком (26 тыс. км²) почти острове, окруженном со всех сторон морями, наблюдаются атмосферные процессы, характерные как для умеренного географического пояса, так и для субтропиков. С этим связано, с одной стороны, большое количество эндемичных видов, с другой – значительная обедненность крымской фауны церамбицих. Располагаясь на крайнем востоке Средиземноморья, полуостров является «мостом», соединяющим его с другими регионами (Ближний Восток, Кавказ, Восточно-Европейская равнина). Поэтому здесь, как в фокусе Причерноморья, сходятся границы ареалов многих Европейских, Средиземноморских, Европейско-Сибирских и Среднеазиатских видов усачей. Многие их виды находят возможность крайнего своего существования, образуя сложный фаунистический узел в котором доминируют средиземноморские – 63 (47 %) и европейские – 50 (38 %) виды; меньше представлены: палеарктические (10 %), европейско-сибирские (3 %), и голарктические (2 %) виды (6,9).

Географическое положение полуострова, его геологическое строение и особенности климата оказали большое влияние на формирование мозаичности почв и растительности, с которой тесно связаны все виды жуков-дровосеков. Поэтому в каждой физико-географической провинции и области полуострова формируется свой оригинальный фаунистический комплекс церамбрицид отличающийся своим

видовым и таксономическим богатством, иерархическим разнообразием и таксономической сложностью.

Все жуки-усачи растительноядные и большинство их связаны с древесной и кустарниковой растительностью, поэтому естественно, что наиболее богатые и разнообразные их комплексы формируются в зооценозах лесных экосистем Горной провинции – 121 вид из 63 родов, суммы таксонов – 258 (табл. 2). Наибольшим видовым и таксономическим разнообразием в этой провинции, характеризуются комплексы церамбрицид экосистем южнобережной субсредиземноморской области. В их зооценозах отмечен 91 вид церамбрицид из 51 рода (сумма таксонов – 202).

Таблица 2

Таксономического разнообразия церамбрицидофауны в экосистемах физико-географических провинций и областей Крыма

Физико-географическое районирование Крыма	Число видов	Таксонов по рангам:				Сумма таксонов
		П/род	родов	триб	п/сем	
Крымская степная провинция	54	18	27	17	5	121
Тарханкутская возвышенная равнина	15	8	8	5	3	39
Северо-Крымская низменность	22	11	11	8	3	55
Керченская холмисто-грядовая степь	38	13	14	7	4	76
Центрально-Крымская равнинная степь.	39	16	22	15	4	96
Предгорная лесостепь	104	32	55	31	6	228
Крымская горная провинция	121	35	63	33	6	258
Главная горно-лугово-лесная гряда	90	32	42	28	6	198
Яйлинское лесо-лугово-степное нагорье	27	12	19	12	5	75
Южнобережное субсредиземноморье	91	28	51	27	5	202
Крымский полуостров	153	37	69	36	6	301

Их основу составляют широко распространенные на полуострове виды: *Ph. (H.) praetextata* (Steven, 1817), *Ph. (O.) coerulescens* (Scopoli, 1763), *T. gilvipes* (Faldermann, 1837), *Ch. figuratus* (Scopoli, 1763), *Ch. sartor* (Muller, 1766), *I. comptus* (Mannerheim, 1825), *I. comptus* (Mannerheim, 1825), *E. floralis* (Pallas, 1773), *Ph. (P.) lividus* (Rossi, 1794), *A. (s.str.) dahli* (Richter, 1821), *A. (s.str.) violacea* (Fabricius, 1775), *Ph. (O.) coerulescens* (Scopoli, 1763) так и редкие: *R. alpine* (Linnaeus, 1758), *Ph. (P.) puncticollis* Mulsant, 1862, *P. coriarius* (Linnaeus, 1758), *Rh. (s.str.) inquisitor* (Linnaeus, 1758), *T. holosericeus* Rossi, 1790, *H. sericeus* (Fabricius, 1758), *C. (s.sh.) dux* (Faldermann, 1837), *C. (s.sh.) miles* Bonelli, 1823, *A. (s.str.) scabricornis* (Scopoli, 1763) и очень редкие, отмеченные только на ЮБК: *E. (s.str.) faer* (Linnaeus, 1768), *P. myardi* Mulsant, 1842, *P. (s.str.) cordigera* (Fuessling, 1775), *O. argentata* (Menetries, 1832), *O. nodieri* Mulsant, 1839, *N. brevipennis* (Mulsant, 1839), *I. speciosus* (Schneider, 1787),

X. arvicola (Oliver, 1795), *P. (s.str.) sieversi* Ganglbauer, 1886, *A. griseus* (Fabricius, 1792), *T. pallidus* (Olivier, 1790), *G. minuta* (Fabricius, 1781) и другие.

Почти не уступают по богатству и таксономическому разнообразию фаунистические комплексы церамбрицид экосистем Главной горно-лугово-лесной гряды (табл. 2). Они формируются за счет широко распространенных видов родов: *Aegosoma* Serville, 1832, *Prionus* Geoffroy, 1766, *Dinoptera* Mulsant, 1863, *Leptura* (Linnaeus, 1758), *Stenurella* Villers, 1974, *Arhopalus* Serville, 1834, *Stromatium* Serville, 1834, *Cerambyx* Linnaeus, 1758, *Callidium* Fabricius, 1775, *Phymatodes*, Mulsant, 1839 и многие другие. Большое количество видов отмечено только для этих комплексов: *Rh. (H.) bifasciatum* Fabricius, 1775, *S. attenuata* (Linnaeus, 1758), *S. septempunctata* (Fabricius, 1792), *S. buprestoides* (Linnaeus, 1758), *X. rusticus* (Linnaeus, 1758), *M. (s.str.) myopa* (Dalman, 1817), *D. genei* (Aragona, 1830).

Небольшим видовым и таксономическим богатством обладает фаунистический комплекс церамбицид в яйлинских лесо-лугово-степных экосистемах Горной провинции (27 видов из 19 родов, сумма таксонов 75). Он формируется за счет широко распространенных на полуострове и часто встречающихся видов: *A. (s.str.) violacea* (Fabricius, 1775), *A. (A.) leucaspis* (Steven, 1817), *C. filum* (Rossi, 1790), *S. (L.) octopunctata* (Scopoli, 1772), *S. (s.str.) scalaris* (Linnaeus, 1758), *D. (P.) holosericeum* Krynicki, 1832 и др.

Видовое богатство часто используют как основной критерий для выделения особо охраняемых природных территорий и оценки их экологического качества [21]. Вторым важным критерием мы рассматриваем структуру таксономических отношений в фаунистических комплексах, или «таксономическое разнообразие» [22]. Используется информационная мера разнообразия (индекс Шеннона), которая оценивает равномерность представленности в исследованном множестве (таксонов) подмножеств. Если при оценке видового разнообразия как переменные (P_i) выступают количественные показатели обилия видов, то при оценке «таксономического разнообразия» засчитывается сумма таксонов различного ранга, а как переменные рассматриваются доли таксонов различных рангов без учета количественных показателей обилия. Третьим критерием, который мы используем - сложность комплексов церамбицид который предложен Е. Г. Емельяновым [23]. Для его вычисления применяют мультипликативную функцию, включающую в качестве одного сомножителя показатель таксономического разнообразия, а в качестве другого – удельный показатель «иерархического» разнообразия [22, 24]. Этот показатель учитывает как структуру таксономических отношений церамбицид, так и их долевою представленность на разных таксономических уровнях (табл. 3).

Из данных таблицы видно, что фауна церамбицид физико-географических областей Крыма отличается по показателям иерархического разнообразия и сложности их комплексов. Однако проявляется общая закономерность, когда величина сложности зависит от уровня разнообразия таксонов высших порядков. Величина показателей иерархического разнообразия церамбицид экосистем южногобережной субсредиземноморской области, практически не уступает (за исключением яйлинского лесо-лугово-степного нагорья) аналогичным показателям

комплексов экосистем Горной провинции и превосходит показатели иерархического разнообразия комплексов Степной провинции (табл. 3).

Таблица 3

**Иерархическое разнообразие и таксономическая сложность
церамбрицидофауны в экосистемах провинций и областей Крыма**

Физико-географическое районирование Крыма	Иерархическое разнообразие					Сложность С
	Н _{вид}	Н _{п/род}	Н _{род}	Н _{триба}	Н _{п/сем}	
Крымская степная провинция	5,755	4,170	4,755	4,087	2,322	2,904
Тарханкутская возвышенная равнина	3,907	3,000	3,000	2,322	1,585	2,427
Северо-Крымская низменность	4,459	3,459	3,459	3,000	1,585	2,584
Керченская холмисто-грядовая степь	5,248	3,700	3,807	2,807	2,000	2,601
Центрально-Крымская равнинная степь	5,285	4,000	4,459	3,907	2,000	2,842
Предгорная лесостепь	6,700	5,000	5,781	4,954	2,585	3,115
Крымская горная провинция	6,919	5,129	5,977	5,044	2,585	3,127
Главная горно-лугово-лесная гряда	6,492	5,000	5,392	4,807	2,585	3,092
Яйлинское лесо-лугово-степное нагорье	4,755	3,585	4,248	3,585	2,322	2,813
Южнобережное субсредиземноморье	6,508	4,87	5,672	4,755	2,322	3,052
Крымский полуостров	7,257	5,209	6,109	5,170	2,585	3,108

Примечание: Н_{вид} – видовое разнообразие, Н_{п/род} – разнообразие насыщенности видами подродов, Н_{род} – разнообразие насыщенности видами родов, Н_{триба} – разнообразие насыщенности видами триб, Н_{п/сем} – разнообразие насыщенности подсемейств, С – таксономическая сложность сообществ.

Таким же большим видовым и таксономическим разнообразием церамбрицид обладают зооценозы горно-лугово-лесных экосистем северного склона Главной гряды (табл. 2, 3). Большая мозаичность экосистем северного склона, создаваемая большим разнообразием древесной и кустарниковой растительностью являющейся кормовой базой для развития дровосеков, теплый и влажный климат формируют наиболее сложно организованные комплексы церамбрицид (С 3,092) с большим иерархическим разнообразием на всех таксономических уровнях (Н_{вид} 6,492; Н_{п/род} 5,000; Н_{род} 5,392; Н_{триба} 4,807).

Заметно обеднена фауна жуков – дровосеков степных экосистем яйлинского нагорья. Их имаго и личинки предпочитают биотопы под защитой скал, в карстовых воронках и других естественных укрытиях с хорошо развитой растительностью. Для яйл характерны виды, которые встречаются как в экосистемах южного, так и северного склона Главной гряды: *L. (R) maculate* (Poda., 1761), *S. bifasciata* (Muller, 1776), *D. (s.str) collaris* (Linnaeus, 1758), *D. (s.str) collaris* (Linnaeus, 1758),

R. (s.str.) lederi (Ganglbauer, 1881), *Ch. varius* Muller, 1766, *Ch. sartor* (Muller, 1766), *E. floralis* (Pallas, 1773), *E. floralis* (Pallas, 1773), *D. (C.) carinatum* (Pallas, 1771), *D. (P.) cinerarium* (Fabricius, 1787), реже встречаются: *L. (s.str.) quadrifasciata* (Linnaeus, 1758), *A. ferus* (Fabricius, 1787), *S. unicolor* (Ovier, 1795), *C. (M.) scopoli* Fuesslins, 1775, *R. (s.str.) macropus* (Germar, 1824), *M. galloprovincialis* pistor (Ger., 1818) и др. Однако, показатели видового и таксономического богатства их фаунистических комплексов наименьшие в Горной провинции (табл. 2). Это формирует и небольшое таксономическое разнообразие (табл. 3). Экологическая емкость среды яйлинских экосистем гораздо ниже, чем у остальных в Горной провинции, что видно по видовому богатству церамбицид. А уменьшение емкости среды приводит в целом к снижению сложности (С 2,813) и упрощению структурной организации комплекса, что компенсируется усложнением структуры их таксономических отношений. Т.е. в условиях ограниченности ресурсов, предоставляемой экосистемой биотическим сообществам, и происходящим в связи с этим снижением количества разнообразия, функциональная устойчивость сообществ поддерживается за счет повышения качественного разнообразия (усложнения системы взаимодействий между компонентами системы) [21].

Фаунистический комплекс церамбицид предгорной лесостепи хотя и уступает по разнообразию комплексу лесных экосистем, но все же характеризуется высоким видовым (104 вида) и таксономическим (228 таксонов) богатством (табл. 2). Сложность их организации так же высокая (С 3,115) за счет большого иерархического разнообразия на всех таксономических уровнях ($H_{\text{вид}} 6,700$; $H_{\text{пл/род}} 5,000$; $H_{\text{род}} 5,781$; $H_{\text{триба}} 4,954$). В комплексе доминируют виды с широкой экологической валентностью, которые встречаются как в степных, так и в лесных экосистемах: *D. (s.str.) collaris* (Linnaeus, 1758), *(R.) maculate* (Poda, 1761), *S. bifasciata* (Muller, 1776), *P. sanguineum* (Linnaeus, 1758), *E. floralis* (Pallas, 1773), *Ch. varius* (Muller, 1766), *D. (C.) carinatum* (Pallas, 1771), *D. (P.) cinerarium* (Fabricius, 1787), *D. (P.) holosericeum* Krynicki, 1832, *Ph. (P.) h. hirsutula* (Froelich, 1793), *Ph. (s.str.) cylindrical* (Linnaeus, 1758) и др. В целом комплекс жуков-усачей Предгорий объединяет в себе горнолесную и южнобережные фауны, обогащенные степными элементами и имеет ряд только ему присущих черт (*C. taurica* Plavilstshikov, 1936, *E. lusitanus* (Linnaeus, 1767) и др.).

Комплексы церамбицид Степной провинции обеднены. Их видовое богатство всего 54 вида из 27 родов, сумма таксонов 121 (табл. 2). Наиболее сложно организованы комплексы экосистем Центрально-Крымской равнины, где обитает 39 видов из 22 родов. В основном это виды, связанные в своем развитии с травянистой растительностью: *D. (C.) carinatum* (Pallas, 1771), *D. (C.) fulvum* (Scopoli, 1763), *A. (s.str.) violacea* (Fabricius, 1775), *Ph. (s.str.) caerulea* (Scopoli, 1772) и др. За счет искусственного "облесение" региона сюда проникают транспалеарктические: *A. moschata* (Linnaeus, 1758), *Ph. (s.str.) testaceus*, *P. arcuatus* (Linnaeus, 1758) и средиземноморские *D. (C.) fulvum* (Scopoli, 1763) виды, что приводит к усложнению организации комплекса (табл. 3).

Фаунистические комплексы церамбицид пустынно-степных и галофитно-луговых экосистем Керченского полуострова представлены 38 видами из 14 родов

(табл. 2). По составу фауны жуков-усачей он близок к комплексу Центральной равнинной части. Из 11 крымских видов рода *Dorcadion* здесь встречается 8, два из которых: *D. (P.) panticapaeum* (Plavilshi., 1951) и *D. (P.) mokrzeckii* Jakovlev, 1902 являются узкими эндемиками этого региона. Не большое иерархическое разнообразие комплекса на всех таксономических уровнях ($H_{\text{вид}} 5,248$; $H_{\text{п/род}} 3,700$; $H_{\text{род}} 3,807$; $H_{\text{триба}} 2,000$) определяет небольшую его сложность организации ($C 2,601$).

На равнинном пространстве, в умеренно жарком климате Тарханкутского полуострова и Северо-Крымской низменности развиваются степные полынно-типчаковые и галофитно-луговые экосистемы, в которых практически отсутствует древесная растительность. В их зооценозах формируются обедненные комплексы церамбицид представленные в основном видами с широкой экологической валентностью: *Rh. testaceipenne* Pic, 1897, *T. griseus* (Fabricius, 1792), *S. rufus* (Linnaeus, 1767), *C. (P.) egregium* (Mulsant et Rey, 1863), *Callimoxys gracilis* (Brulle, 1832), *C. (s.str.) violaceum* (Linnaeus, 1758), *P. sanguineum* (Linnaeus, 1758), *Ch. sartor* (Muller, 1766), *D. (C.) fulvum* (Scopoli, 1763), *D. (P.) cinerarium* (Fabricius, 1787), *D. genei* (Aragona, 1830). Многие из них встречаются и в других физико-географических областях Крыма. Иерархическое разнообразие комплексов церамбицид формирующихся в этих экосистемах на всех таксономических уровнях самое низкое на полуострове (табл.3), что определяет небольшую таксономическую сложность фаунистических комплексов ($C 2,427$ и $2,587$).

Полученные коэффициенты видового и таксономического богатства которые дают представление о количественном и качественном составе комплексов церамбицид, могут служить индикатором экологической емкости экосистем, в которых они формируются и показатели таксономического разнообразия этих комплексов, отражающие развитость структуры комплексов, а показатель сложности – качественно-количественную характеристику их организованности мы использовали для выделения типичности фаунистических комплексов (табл. 4).

Типичность (репрезентативность) экосистем – это максимальное количество видов и других таксонов, в составе их биоценозов (типичность по богатству) или иерархическому разнообразию и сложности организации (типичность по сложности) [20, 22]. Используя этот показатель, мы выделили типичные для данной физико-географической провинции или области экосистемы по показателям разнообразия церамбицидокомплексов их зооценозов.

Вполне ожидаемо, что наиболее типичный, по таксономической сложности фаунистический комплекс, формируется в экосистемах Горной провинции ($T_c 1,000$), где произрастают 2172 вида растений, многие из которых являются объектами питания и развития дровосеков. В этой провинции в пределах Главной горно-лугово-лесной гряды и Южнобережного субсредиземноморья большая мозаичность лесных экосистем в зооценозах которых формируются наиболее типичные по таксономической сложности комплексы ($T_c 1,995$ и $0,981$).

Такие же большие показатели и для типичности по видовому разнообразию, типичности по разнообразию подродов, типичности по разнообразию насыщенности видами родов, по разнообразию насыщенности видами триб, по разнообразию насыщенности подсемейств (табл. 4). Менее типичны, комплексы

церамбрицид формирующиеся в экосистемах Яйлинского лесо-лугово-степного нагорья (табл. 4).

Таблица 4

**Типичность по таксономической сложности и разнообразию
церамбрицидофауны в экосистемах провинций и областей Крыма**

Физико-географическое районирование Крыма	Иерархическая типичность по разнообразию					Типичность по сложности
	Т _{вид}	Т _{п/род}	Т _{род}	Т _{триба}	Т _{п/сем}	
Крымская степная провинция	0,793	0,800	0,778	0,790	0,898	0,934
Тарханкутская возвышенная равнина	0,538	0,576	0,491	0,449	0,613	0,781
Северо-Крымская низменность	0,614	0,664	0,571	0,580	0,613	0,831
Керченская холмисто-грядовая степь	0,723	0,576	0,623	0,543	0,774	0,837
Центрально-Крымская равнинная степь	0,728	0,768	0,730	0,756	0,774	0,914
Предгорная лесостепь	0,923	0,960	0,946	0,958	1,000	1,000
Крымская горная провинция	0,953	0,985	0,978	0,976	1,000	1,000
Главная горно-лугово-лесная гряда	0,895	0,960	0,883	0,930	1,000	0,995
Яйлинское лесо-лугово-степное нагорье	0,655	0,688	0,695	0,693	0,898	0,905
Южнобережное субсредиземноморье	0,897	0,934	0,928	0,920	0,898	0,981

Примечание: Т_{вид} – типичность по видовому разнообразию, Т_{п/род} – типичность по разнообразию подродов, Т_{род} – типичность по разнообразию насыщенности видами родов, Т_{триб} – типичность по разнообразию насыщенности видами триб, Т_{п/сем} – типичность по разнообразию насыщенности подсемейств, Т_с – типичность по таксономической сложности изучаемых энтомологических комплексов

Показатели типичности церамбрицидкомплексов зооценозов экосистем предгорной лесостепи, которые формируются за счет как лесных, так и степных видов лишь немногим уступают показателям комплексам горной провинции (табл. 4).

Менее типичны для Крымского полуострова комплексы церамбрицид Степной провинции. Их типичности по видовому разнообразию Т_{вид} 0,793, а по разнообразию насыщенности видами родов Т_{род} 0,778. Хотя типичность фаунистического комплекса по таксономической сложности (Т_с 0,934) не уступает комплексам яйлинских экосистем (Т_{вид} 0,905). Меньшей типичностью по всем показателям обладают комплексы экосистем Северо-Крымской низменности и Тарханкутской возвышенной равнины (табл. 4).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Из 153 видов жуков-усачей семейства церамбрицид, которые вошли в созданную нами базу данных «*Cerambycidae*» только 12 видов включены в Красную книгу Крыма: *Trichoferus pallidus* (Olivier, 1790), *Cerambyx cerdo* Linnaeus, 1758, *Cerambyx nodulosus* Germar, 1817, *Dorcadion ciscaucasicum mokrzeckii* Jakovlev, 1902,

Cerambyx cerdo Linnaeus, 1758, *Hesperophanes sericeus* (Fabricius, 1787), *Pogonocherus perroudi* Mulsant, 1839, *Purpuricenys renyvona* Slama, 2001, *Ropalopus insubricus* (Germar, 1824), *Ropalopus lederi* Ganglbauer, 1882, *Rosalia alpina* (Linnaeus, 1758), *Oxypleurus nodieri* Mulsant, 1839.

Однако, в современном природоохранном движении общепризнанным является положение, что основные усилия надо направлять не на сохранение особей отдельных видов, а на создание особо охраняемых природных территорий, которые выделяются не только по наличию редких и очень редких видов фауны, но и на основе изучения видового и таксономического богатства, иерархического и таксономического разнообразия, сложности и типичности фаунистических комплексов.

Наибольшим видовым и таксономическим богатством обладают фаунистические комплексы церамбицид зооценозов экосистем Горной провинции – 121 вид, сумма таксонов 258, коэффициент сложности организации комплекса – 3,127, иерархическое разнообразие таксонов – $N_{\text{вид}} 6,919$; $N_{\text{п/род}} 5,129$; $N_{\text{род}} 5,977$; $N_{\text{триба}} 5,044$. Здесь формируется наиболее типичный по таксономической сложности фаунистический комплекс церамбицид ($T_c 1,000$). Такие же высокие показатели типичности отмечены и для фаунистических комплексов экосистем Главной горно-лугово-лесной гряды и Южнобережного субсредиземноморья ($T_c 1,995$ и $0,981$).

Фаунистические комплексы экосистем Степной провинции по этим показателям значительно ниже – 54 вида, сумма таксонов 121, коэффициент сложности организации комплекса – 2,904, иерархическое разнообразие таксонов – $N_{\text{вид}} 5,755$; $N_{\text{п/род}} 4,170$; $N_{\text{род}} 4,755$; $N_{\text{триба}} 4,087$. Ниже и показатели типичности их фаунистических комплексов: типичности по видовому разнообразию $T_{\text{вид}} 0,793$, а по разнообразию насыщенности видами родов $T_{\text{род}} 0,778$.

Применение полученных коэффициентов биоразнообразия могут помочь в выделении особо охраняемых территорий на полуострове, их центров и ядер биоразнообразия, буферных зон и экологических коридоров.

Список литературы

1. Арнольди Л. В. Горный Крым. Жесткокрылые / Л. В. Арнольди // Животный мир СССР. Горные области Европейской части СССР. – М.-Л.: Изд-во АН СССР, 1958. – С. 147–162.
2. Бартенев А. Ф. Ревизия фауны жуков-усачей (*Coleoptera, Cerambycidae*) Крымского полуострова / А. Ф. Бартенев // Природные комплексы Крыма, их оптимизация и охрана. – Симферополь: СГУ, 1984. – С. 109–116.
3. Загайкевич И. К. Таксономия и экология усачей / И. К. Загайкевич – К.: Наукова думка, 1991. – 180 с.
4. Касаткин Д. Г. Новые сведения о распространении жуков-дровосеков (*Coleoptera, Cerambycidae*) на юге России / Д. Г. Касаткин // Известия Харьковского энтомологического общества – 1997. – Т. V, вып. 2. – С. 86–87.
5. Плавильщиков Н. Н. Фауна СССР. Жесткокрылые / Н. Н. Плавильщиков // тт. XXI–XXIII. Ч. 1–3. Жуки-дровосеки (*Cerambycidae*). – М.: Л. Т. XXI, 1936. – 612 с.; Т. XXII, 1940. – 785 с.; Т. XXIII, 1958. – 592 с.
6. Пышкин В. Б. Эколого-географическая характеристика церамбрицидофауны (*Insecta: Cerambycidae*) Крымского полуострова / В. Б. Пышкин, В. Г. Кобчинская // Ученые записки Крымского федерального университета имени В. И. Вернадского. Биология. Химия. – 2022. – Том 8 (74), №4. – С. 150–159.

7. Пышкин В. Б. К охране энтомофауны Крыма / В. Б. Пышкин, В. Л. Апостолов // Экосистемы Крыма их оптимизация и охрана. – Симферополь: СГУ, 1998. – С. 41–45.
8. Пышкин В. Б. Красная Книга Крыма: список видов насекомых и их охрана. Заповедники Крыма / В. Б. Пышкин // Заповедники Крыма. Биоразнообразие на приоритетных территориях. – Симферополь, 2002. – С. 195–198.
9. Пышкин В. Б. Ячеистая система охраняемых территорий: новая стратегия сохранения разнообразия насекомых Крыма / В. Б. Пышкин, В. Г. Кобечинская // Заповедники Крыма. Биоразнообразие на приоритетных территориях. – Симферополь, 2002. – С. 198–201.
10. Пышкин В. Б. Проблемы сохранения биоразнообразия насекомых Крыма и вопросы их охраны / В. Б. Пышкин, В. Г. Кобечинская – Крымский РЦНТЭИ – Симферополь, 2002. – №5. – 5 с.
11. Пышкин В. Б. Проблемы биоразнообразия и охраны исчезающих видов насекомых Крыма / В. Б. Пышкин // Экосистемы Крыма их оптимизация и охрана. – Симферополь ТНУ, 2002. – Вып.12. – С. 142–147.
12. Пышкин В. Б. Биоразнообразие и охрана насекомых Крыма / В. Б. Пышкин, Ю. Э. Тарасов // Биоразнообразие и роль зооценоза в естественных и антропогенных экосистемах. – Днепропетровск: ДНУ, 2003. – С. 151–154.
13. Пышкин В. Б. Насекомые в Красной книге Крыма: генеральный и региональный статус вида / В. Б. Пышкин, Ю. Э. Тарасов // VI съезд Украинского энтомологического общества, Белая Церковь: Наука-Сервис, 2003. – С. 100.
14. Пышкин В. Б. ГИС-технологии в построении экологической модели Крыма: проект *BisCrim* / В. Б. Пышкин, Ю. Э. Тарасов, Т. С. Рыбка // Ученые записки ТНУ. Серия: География. – 2004. – Т.17(56), №2 – С. 156–164.
15. Пышкин В. Б. Биоразнообразие Крыма: проект *BisCrim* / В. Б. Пышкин, Ю. Э. Тарасов, Т. С. Рыбка // Экосистемы Крыма, их оптимизация и охрана. – Симферополь: Таврия, 2003. – Вып.13. – С. 184–187.
16. Пышкин В. Б. Создание региональных баз данных насекомых: проект *CrimInsecta* / В. Б. Пышкин, А. И. Евстафьев // Динамика научных исследований, Днепропетровск: Наука и образование, 2004. – С. 26–27.
17. Пышкин В. Б. Применение ГИС-технологий в хронологическом анализе насекомых Крыма / В. Б. Пышкин, Ю. Э. Тарасов // Ученые записки ТНУ. им. В.И. Вернадского. – 2003. – Т.16(55), №2. – С. 167–170.
18. Бартенев А. Ф. Жуки-усачи Левобережной Украины и Крыма / А. Ф. Бартенев – Х.:ХНУ имени В. Н. Каразина, 2009. – 418 с.
19. Мартынов В. В. Эколого-фаунистический обзор жуков-усачей (*Coleoptera, Cerambycidae*) Юго-восточной Украины / В. В. Мартынов, Т. А. Писаренко // Известия Харьковского энтомологического общества. – 2003 (2004). – Т. XI, вып. 1-2. – С. 44–69.
20. Пышкин В. Б. К биоразнообразию (*Insecta, Cerambricidae*) церамбицидофауны Крымского полуострова / В. Б. Пышкин // Материалы Научной конференции «Ломоносовские чтения». – Севастополь: НПЦ «ЭКОСИ-Гидрофизика», 2008. – С. 60–62.
21. Мэггаран Э. Экологическое разнообразие и его измерение / Мэггаран Э. – М.: Мир, 1992. – С. 182–184.
22. Емельянов И. Г. Таксономическая структура и сложность биотических сообществ / Емельянов И. Г., Загороднюк И. В., Хоменко В. Н. // Экология и ноосферология. – 1999. – Т. 6, № 1-2. – С. 6–17.
23. Емельянов И. Г. Разнообразие и его роль в функциональной устойчивости и эволюции экосистем / И. Г. Емельянов. – К., 1999. – 31 с.
24. Емельянов И. Г. Таксономическое разнообразие фаунистических комплексов и стратегия сохранения генофонда животного мира / Емельянов И. Г., Загороднюк И. В. // Проблемы изучения и сохранения биологического разнообразия. – Фрунзе: Илим, 1990. – С. 45–46.

HIERARCHICAL DIVERSITY AND TAXONOMIC COMPLEXITY OF
ENTOMOLOGICAL COMPLEXES OF CERAMBYCIDS (INSECTA:
CERAMBYCIDAE) IN ECOSYSTEMS OF THE CRIMEAN PENINSULA

Pyshkin V. B.¹, Prygunova I. L.²

¹*Institute of Biochemical Technologies, Ecology and Pharmacy (structural unit) of the Crimean Federal University named after V. I. Vernadsky, Simferopol, Republic of Crimea, Russia*

²*Branch of Moscow State University M. V. Lomonosov in Sevastopol, Sevastopol, Russia*
E-mail: vpbisrim@mail.ru

The database on taxonomy, ecology, biology and horology of cerambycids of Crimea created within the framework of the *CrimInsecta* program made it possible to study the distribution of species across the physico-geographical provinces and regions of the peninsula, identify entomological complexes of biocenoses of landscape ecosystems, establish their species and taxonomic richness, assess hierarchical diversity and complexity. The created database "Cerambycidae" of the database bank "CrimInsecta" includes 153 cerambycid species belonging to 6 subfamilies, 36 tribes, which unite 69 genera. Almost all of them belong to saprophytic beetles. The core of the cerambycid fauna of Crimea are Mediterranean – 63 (47 %) and European – 50 (38 %) species; Palearctic (10 %), European-Siberian (3 %), and Holarctic (2 %) species are much less represented in the complex. The greatest species and taxonomic diversity on the peninsula is achieved by the subfamilies *Cerambycinae* – 56 species (28 genera, 13 tribes) and *Lamiinae* – 67 species (21 genera, 13 tribes). The other four subfamilies (*Prioninae*, *Lepturinae*, *Necydalinae*, and *Aseminae*) account for only 22 % of the species.

In the modern conservation movement, it is generally recognized that the main efforts should be directed not at the conservation of individuals of individual species, but at the creation of specially protected natural territories, which are distinguished not only by the presence of rare and very rare species of fauna, but also on the basis of studying the species and taxonomic richness, hierarchical and taxonomic diversity, complexity and typicality of faunal complexes.

The faunal complexes of ecosystems of the Mountainous Province have the greatest species and taxonomic richness – 121 species, the sum of taxa is 258, the coefficient of complexity of the complex organization is 3,127, the hierarchical diversity of taxa is H_{vid} 6,919; $H_{p/rod}$ 5,129; H_{rod} 5,977; H_{triba} 5,044. Faunal complexes of ecosystems of the Steppe province are significantly lower in these indicators – 54 species, the sum of taxa 121, the complexity coefficient of the complex organization is 2.904, the hierarchical diversity of taxa is H_{vid} 5,755; $H_{p/genus}$ 4,170; H_{rod} 4,755; H_{triba} 4,087.

The obtained coefficients of entomofauna diversity can be used to identify specially protected natural territories of the Crimea, their centers of biodiversity, buffer zones and ecological corridors.

Keywords: Crimea, ecosystem, insects, horology, entomocomplex, species and taxonomic richness.

References

1. Arnoldi L. V. *Gorny Crimea. Coleoptera, Animal world of the USSR. Mountain regions of the European part of the USSR*, 147 p. (1958).
2. Bartenev A. F. *Revision of the fauna of barbel beetles (Coleoptera, Cerambycidae) Of the Crimean Peninsula, Natural complexes of the Crimea, their optimization and protection*, 109 p. (1984).
3. Zagaikovich I. K. *Taxonomy and ecology of barbels*, 180 p. (Naukova dumka, 1991).
4. Kasatkin D. G. New information on the distribution of woodcutter beetles (Coleoptera, Cerambycidae) in the south of Russia, *Izvestiya Kharkiv Entomological Society*, **V(2)**, 86 p. (1997).
5. Plavilshchikov N.N. Fauna of the USSR. Coleoptera, *Woodcutter beetles (Cerambycidae)*, **XXI**, 612 p. (1936); **XXII**, 785 p. (1940); **XXIII**, 592 p. (1958).
6. Pyshkin V. B., Kobechinskaya V. G. Ecological and geographical characteristics of cerambycidofauna (Insecta: Cerambycidae) Of the Crimean Peninsula, *Scientific notes of the V.I. Vernadsky Crimean Federal University. Biology. Chemistry*, **8 (74)**, 150 (2022).
7. Pyshkin V. B., Apostolov V. L. On the protection of the entomofauna of the Crimea, *Ecosystems of the Crimea, their optimization and protection*, 41 p. (1998).
8. Pyshkin V. B. The Red Book of Crimea: a list of insect species and their protection, *Reserves of the Crimea. Biodiversity in priority areas*, 195 p. (2002).
9. Pyshkin V. B., Kobechinskaya V. G. Cellular system of protected areas: a new strategy for preserving the diversity of insects of the Crimea, *Nature Reserves of the Crimea. Biodiversity in priority areas*, 198 p. (2002).
10. Pyshkin V. B., Kobechinskaya V. G. Problems of preserving the biodiversity of insects of the Crimea and issues of their protection, *Crimean RCNTEI*, **5**, 5p. (2002).
11. Pyshkin V. B. Problems of biodiversity and protection of endangered species of insects of the Crimea, *Ecosystems of the Crimea, their optimization and protection*, **12**, 142 p. (2002).
12. Pyshkin V. B., Tarasov Yu. E. Biodiversity and insect protection of Crimea, *Biodiversity and the role of zoocenosis in natural and anthropogenic ecosystems*, 151 p. (2003).
13. Pyshkin V. B., Tarasov Yu. E. Insects in the Red Book of Crimea: general and regional status of the species, *VI Congress of the Ukrainian Entomological Society*, 100 p. (2003).
14. Pyshkin V. B., Tarasov Yu. E., Rybka T. S. GIS technologies in building an ecological model of Crimea: the BisCrim project, *Scientific notes of TNU. Series: Geography*, **17(56), 2**, 156 (2004).
15. Pyshkin V. B., Tarasov Yu. E., Rybka T. S. Biodiversity of Crimea: BisCrim project, *Ecosystems of Crimea, their optimization and protection*, **13**, 184 (2003).
16. Pyshkin V. B., Evstafyev A. I. Creation of regional insect databases: the CrimInsecta project, *Dynamics of scientific research*, 26 p. (2004).
17. Pyshkin V. B., Tarasov Yu. E. Application of GIS technologies in the chorological analysis of insects of the Crimea, *Scientific notes of the V.I. Vernadsky THY*, **16(55), 2**, 167 (2003).
18. Bartenev A.F. *Barbel beetles Left-bank Ukraine and Crimea*, 418 p. (2009).
19. Martynov V. V., Pisarenko T. A. Ecological and faunal review of barbel beetles (Coleoptera, Cerambycidae) of Southeastern Ukraine, *Proceedings of the Kharkov Entomological Society*, **XI (1-2)**, 44 p. (2004).
20. Pyshkin V. B. Towards biodiversity (Insecta, Cerambycidae) of cerambycidofauna of the Crimean peninsula, *Proceedings of the Scientific conference "Lomonosov readings"*, 60 p. (2008).
21. Maggaran E. *Ecological diversity and its measurement*, 182 (Moscow, Mir, 1992).
22. Yemelyanov I. G. Taxonomic structure and complexity of biotic communities, *Ecology and noospherology*, **6 (1-2)**, 6 p. (1999).
23. Yemelyanov I. G. *Diversity and its role in the functional stability and evolution of ecosystems*, 31 p. (Kiev, 1999).
24. Yemelyanov I. G., Zagorodnyuk I. V. Taxonomic diversity of faunal complexes and a strategy for preserving the gene pool of the animal world, *Problems of studying and preserving biological diversity*, p. 45 (1990).

УДК 574.64, 574.24

DOI 10.29039/2413-1725-2025-11-1-140-150

ВЛИЯНИЕ ДИСПЕРГЕНТА НА ЭМБРИОНАЛЬНОЕ И ПОСТЭМБРИОНАЛЬНОЕ РАЗВИТИЕ СЕВРЮГИ *ACIPENSER STELLATUS*

Руднева И. И.¹, Шайда В. Г.², Медянкина М. В.³

¹*ФГБУН Морской гидрофизический институт РАН, Севастополь, Российская Федерация*

²*ООО «ЭкоСервис-А», Москва, Российская Федерация*

³*МГУТУ Московский государственный университет технологий и управления МГУТУ
им. К. Г. Разумовского (Первый казачий университет), Москва, Российская Федерация
E-mail: svg-41@mail.ru*

Изучали влияние диспергента, применяемого при нефтяных разливах с целью снижения загрязнения акваторий, в концентрации 0,1; 0,5; 1; 5 и 10 мг/л на выживаемость оплодотворенной икры, предличинки и динамику их вылупления себрюги *Acipenser stellatus* в пресной и 5‰ соленой воде. Число вылупившихся предличинки в контрольных и опытных вариантах не имело различий. Начало вылупления предличинки при всех исследуемых концентрациях произошло одновременно с контролем. Выживаемость предличинки в растворах токсиканта при концентрации 0,1–1 мг/л не отличалась от контроля, но при концентрации препарата 5 и 10 мг/л была достоверно ниже. Обсуждается возможность использования эмбрионов рыб для оценки экологического состояния прибрежных вод в районах интенсивной добычи нефти и газа, а также в случае аварийных разливов нефти в морских акваториях.

Ключевые слова: загрязнение, токсичность, качество воды, разливы нефти, икра и предличинки рыб.

ВВЕДЕНИЕ

Функционирование нефтегазового комплекса связано с применением большого количества сложных химических препаратов, которые используются в процессе бурения скважин и возможных разливов нефти при ее добыче, транспортировке и переработке, что крайне негативно влияет на морские гидробионты. Предполагают, что в Мировой Океан ежегодно попадает 1,3 миллиона метрических тонн нефти как природного, так и антропогенного происхождения [1]. Проблема актуальна для Черного моря, где периодически происходят аварии танкеров в Керченском проливе, следствием которых является загрязнение значительных акваторий нефтью и нефтепродуктами. В частности, в результате аварии в 2007 г. в море вылилось около 2000 мазута, а в результате аварии двух танкеров 15 декабря 2024 г. разлив мазута в Керченском проливе вдвое превысил этот объем.

Диспергенты являются химическими реагентами, применяемыми для ликвидации разливов нефти на участках береговой линии [2]. Они ускоряют ее растекание в виде тонкой пленки, которая затем распадается на множество мелких капель, быстро разводящихся до безопасной концентрации и подвергающихся биodeградации. В их состав входят 30–40 % синтетических поверхностно-активных

веществ (СПАВ), уменьшающих поверхностное натяжение воды и рассеивающих нефтепродукты, 50–70 % растворителя (углеводороды, спирты, вода), 5–10 % стабилизатора образующейся эмульсии и различных добавок, повышающих рассеивающую способность [3]. Считается, что нефть, обработанная диспергентами, не оказывает вредного воздействия на морских обитателей. Применение диспергентов признано в мировой практике экологически приемлемым и эффективным способом быстрой ликвидации аварийных разливов нефти. [4, 5].

Несмотря на то, что диспергенты считаются относительно экологически безвредными, оценка их токсичности для водных объектов является непременным условием их применения в природных водоемах для обеспечения безопасности биоты и экосистемы в целом. Количество нефти, обработанной диспергентами, может значительно уменьшиться на песчаных субстратах прибрежной зоны, что снизит ее вредное воздействие на морские организмы [6]. Хотя токсичность диспергентов для гидробионтов многократно изучалась перед их массовым применением, тем не менее вопрос этот остается актуальным, так как появляются новые вещества, требующие тщательного анализа [7, 8]. Поскольку диспергенты предназначены для усиления мобилизации нефти в толщу воды, это может вызвать дополнительные экологические риски в пострадавших районах из-за повышенных концентраций нефти. Кроме того, диспергенты и их компоненты являются чужеродными соединениями для морской среды и ее обитателей, поэтому оценка их возможной токсичности является важной и актуальной проблемой для обеспечения функционирования нефте-газового комплекса в прибрежной зоне морей и океанов.

Ранние стадии развития рыб подвержены негативному влиянию токсикантов и широко применяются в различных эмбриотоксических тестах при анализе качества пресных и морских вод [9]. Возрастающее развитие добычи нефти и газа в прибрежной зоне морей и океанов неизбежно увеличивает риски аварийных ситуаций, сопровождающихся разливом нефти в морской среде, что может привести к катастрофическим последствиям для экосистемы и ее обитателей. Если негативное действие нефти на гидробионтов достаточно подробно представлено в литературе, то информация о биологических эффектах диспергентов крайне ограничена, и исследование этих вопросов имеет важное теоретическое и практическое значение.

Севрюга (*Acipenser stellatus*) относится к осетровым рыбам, обитающим в Каспийском, Чёрном и Азовском морях. Нерест происходит в реках с апреля по сентябрь, плодовитость составляет 20–630 тыс. икринок (диаметр до 3 мм). Развитие икры при температуре 16° С продолжается 132 ч, при 23° С – 67,5 ч. После нереста взрослая севрюга и выклюнувшаяся молодь скатываются в море. Длина взрослых особей достигает 220 см, масса до 60 кг. В море молодь питается зоопланктоном, взрослые особи мелкой рыбой, беспозвоночными (черви, мизиды, бокоплавы и т.д.). Совершает длительные кормовые миграции. Ценный объект промысла и аквакультуры. Включена в Красную книгу МСОП [10, 11].

Целью данного исследования является определение токсичности диспергента в концентрациях 0,1; 0,5; 1; 5 и 10 мг/л для оплодотворенной икры и предличинок севрюги *Acipenser stellatus*.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Исследуемый диспергент представляет собой жидкость светло-коричневого цвета, плотность при 20 °С – 0,9618 г/см³, динамическая вязкость при 20 °С – 152 мПа*с. Это смесевой препарат, в состав которого входят вода, соединения сорбитана, сульфонат натрия, 1,2-пропиленгликоль, нефтяной жидкий парафин.

Оплодотворенная икра севрюги на стадии 31–35, на которой хорошо просматривается эмбрион и его глаза, была получена на Темрюкском рыболовном заводе в мае 2022 года. Икринки помещали в стеклянные емкости по 10 экземпляров в каждую из расчета 1 икринка в 10 мл соответствующей инкубационной среды и выдерживали при температуре окружающей среды от +16.3 ° до +18.1 °С в течение эмбриогенеза, который составил 6 суток. Параллельно контроль за развитием эмбрионов осуществляли в стандартных емкостях, где выращивали рыб для промышленного разведения. Воду меняли один раз в 3 дня. Все эксперименты проводили в трехкратной повторности [12], продолжительность которых составила 5 дней. Контролем и фоновой средой в экспериментах служила природная пресная вода реки Кубань, прошедшая специальную водообработку на предприятии. Искусственную морскую воду готовили на той же пресной воде с добавлением морской соли в концентрации 5 ‰, что соответствует средней солености воды Азовского моря, где обитает севрюга. Концентрация диспергента составили 0,1; 0,5; 1; 5 и 10 мг/л. Анализировали процент живых икринок, из которых выклюнулись предличинки, их динамику выклева и выживаемость.

Результаты обрабатывали статистически с использованием общепринятых методов, рассчитывали среднее значение и ошибку средней ($M \pm m$). Индекс выживаемости определяли как отношение процента живых эмбрионов и предличинок в опытных группах к контрольным значениям. Достоверность различий анализировали с помощью критерия Манна-Уитни при уровне значимости $p < 0,05$. Для изучения взаимосвязи между концентрацией диспергента, вылуплением предличинок и их выживаемостью использовали компьютерную программу CURFVIT (версия L2).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Как можно видеть на рис.1, вылупление предличинок из икринок, инкубированных в растворах диспергента, несколько увеличивалось по отношению к контролю при концентрации вещества 0,1 и 0,5 мг/л, но затем резко снижалось при возрастании концентрации токсиканта. Однако, различия были не достоверны по отношению к контролю.

Значения индекса, характеризующего отношение числа вылупившихся предличинок в экспериментальных группах к их количеству в обеих контрольных вариантах, представлены на рис. 2. Можно заключить, что тенденция вылупления предличинок из икринок как в пресной воде, так и в солоноватоводной среде одинакова: индекс увеличивался при содержании икринок в растворе диспергента с концентрацией 0,5 мг/л, но затем снижался при повышении его концентрации.

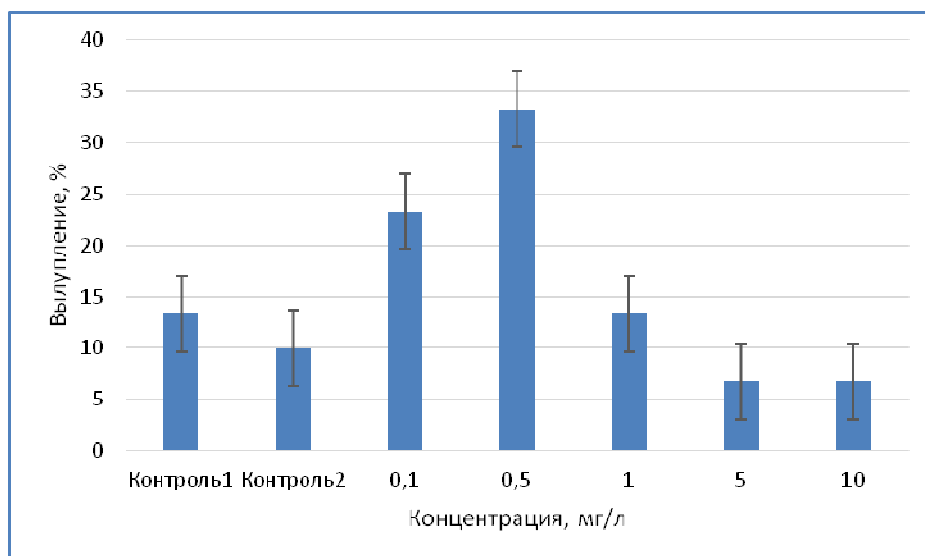


Рис. 1. Вылупление предличинки из икры севрюги (%), инкубированной в растворе диспергента.

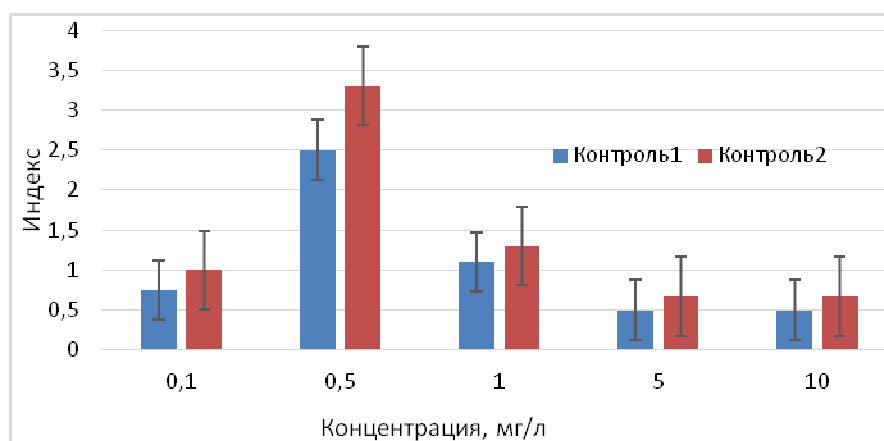


Рис. 2. Изменение индекса (отношение числа выклюнувшихся предличинок в опытных вариантах по отношению к показателям контроля 1 – в пресной воде, и контроля 2 – в соленой 5 ‰ воде).

Динамика вылупления предличинок из икринок рыб также имела особенности и зависела от концентрации вещества (рис. 3). Вылупление предличинок при всех исследуемых концентрациях диспергента произошло одновременно с контролем на 5-е сутки инкубации. При этом максимальный выход предличинок из икринок был отмечен на 6-е сутки при концентрации диспергента 0.5 мг/л.

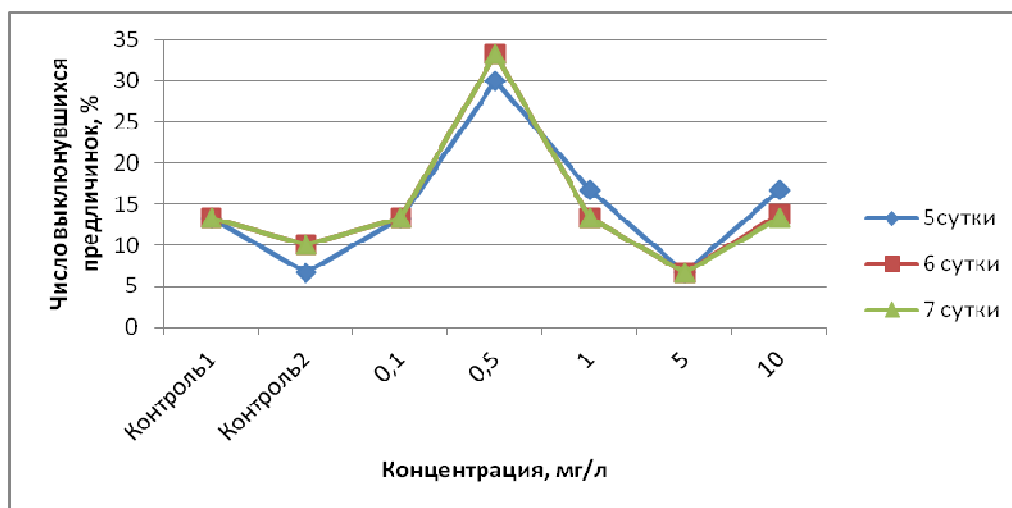


Рис. 3. Динамика вылупления предличинок из икринок, инкубированных в растворе диспергента.

Выживаемость вылупившихся предличинок в растворах вещества с концентрацией 0,1–1 мг/л не отличалась от контроля (рис. 4). Однако, этот показатель был достоверно ниже ($p < 0.01$) при содержании в растворах с концентрацией вещества 5 и 10 мг/л. При этом индекс, характеризующий отношение выживших личинок в опытных вариантах к их количеству в обеих контрольных группах, также снижался уже при концентрациях 0,5 и 1 мг/л, а при концентрациях 5 и 10 мг/л эти различия были достоверны ($p < 0.01$).

Таким образом, результаты исследований позволили выявить неоднозначную реакцию эмбрионов и предличинок севрюги на действие диспергента.

Наши исследования позволили установить модифицирующее влияние диспергента на развитие эмбрионов севрюги, что согласуется с данными других исследователей. Так например, токсическое действие диспергента Сликгона НС было обнаружено на *Artemia salina* (0,1 мг/л), на рыбах *Menidia* и мизид *Mysidopsis* [13]. Лабораторные исследования показали, что поверхностно-активные вещества, входящие в состав диспергентов, могут увеличивать концентрацию СПАВ сырой нефти в толще воды, в результате возрастает токсичность среды по сравнению с контролем, не содержащим СПАВ [14, 15]. Наличие в среде СПАВ изменяет химический состав воды и модифицирует протекающие в ней процессы, в том числе ухудшает кислородный режим и влияет на жизнедеятельность гидробионтов. Так например, при концентрациях 5–15 мг/дм³ у рыб теряется слизистый покров, при повышении содержания этих компонентов происходит кровотечение жабр, а при концентрациях свыше 25 мг/дм³ детергенты вызывают гибель многих рыб (для планктона эта величина близка к 1 мг/дм³). В меньших дозах СПАВ задерживают рост и развитие гидробионтов, ухудшают усвоение питательных веществ [16]

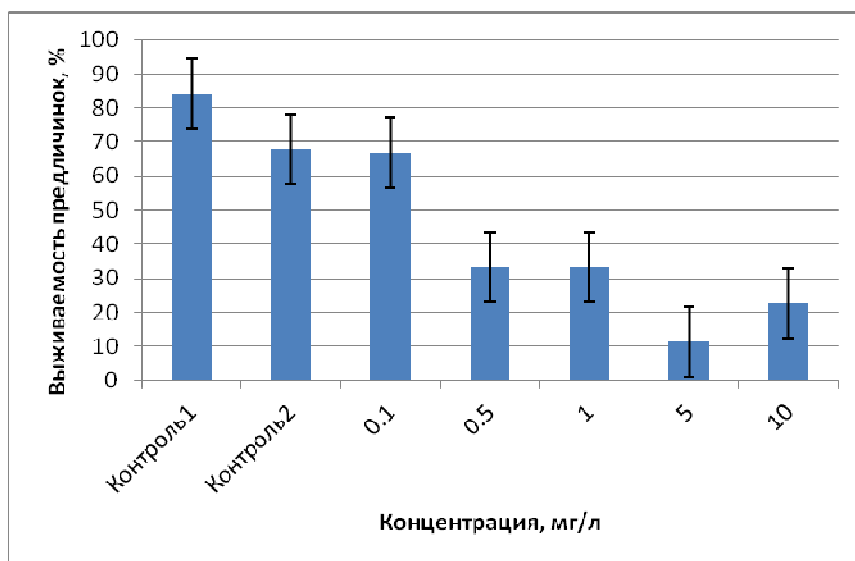


Рис. 4. Выживаемость предличинок (%), инкубированных в растворе диспергента

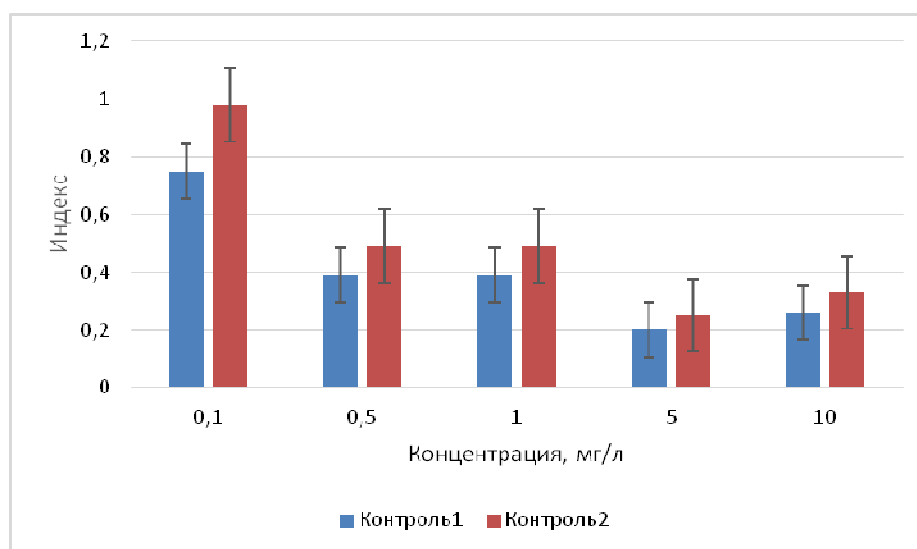


Рис. 5. Изменение индекса (отношение числа выклюнувшихся предличинок в опытных вариантах по отношению к показателям контроля 1 – в пресной воде, и контроля 2 – в соленой 5 ‰ воде)

Нами также установлены неоднозначные эффекты действия диспергента на развивающихся эмбрионов и предличинок севрюги. При небольших концентрациях диспергента (0,1–0,5 мг/л) наблюдалась некоторая тенденция стимуляции

вылупления предличинок, тогда как при повышении содержания токсиканта в среде происходило существенное снижение этого показателя. Это может быть связано с взаимодействием оболочки икры со СПАВ, изменением ее конфигурации, способствующей вылуплению предличинок. Следует отметить, что в данном случае проявляется нелинейный характер токсических эффектов, когда при определенных концентрациях происходит выраженное изменение анализируемых параметров, тогда как при других, даже близких по значению, этого не наблюдается. Вероятно, именно концентрация 0,5 мг/л оказалась эффективной, которая стимулировала вылупление личинок. При более низких концентрациях эффект был не столь выражен, а при более высоких наблюдалась обратная реакция. Неоднозначность действия детергентов, входящих в состав диспергентов, подтверждается результатами исследований действия этих веществ на эмбриогенез рыб: они ускоряли этапы эмбрионального развития, но повышали уровень смертности личинок радужной форели *Oncorhynchus mykiss* [17]. Другими исследователями также были отмечены изменения активности бактерий и нарушения их жизнедеятельности при действии поверхностно-активных веществ [18]. В то же время диспергент не оказал существенного влияния на динамику вылупления предличинок севрюги, которая соответствовала обоим контрольным вариантам.

Иная картина была отмечена при инкубации предличинок в растворах диспергента. Если их выживаемость при концентрации вещества 0,1–1 мг/л достоверно не отличалась от показателей обеих контрольных групп, то при увеличении содержания вещества до 5 и 10 мг/л значения были достоверно снижены ($p < 0.01$). Из этого следует, что предличинки оказались более чувствительными к действию диспергента, чем икра рыб. Это обусловлено защитной функцией оболочки икры, которая предохраняет развивающийся зародыш от неблагоприятных внешних факторов, включая токсиканты антропогенного происхождения. Ранее мы также отмечали, что чувствительность предличинок и личинок рыб к действию нефти значительно выше, чем икринок [19].

Диспергенты прямо и косвенно наносят вред гидробионтам, особенно рыбам и их ранним стадиям развития. В частности, наличие в воде этих веществ снижает содержание кислорода, нарушает газовый обмен, светопропускание, изменяет pH и соленость. Совершенно очевидно, что ухудшение условий среды обитания крайне негативно сказывается на ранних стадиях развития рыб. Помимо не прямых эффектов, эти вещества уменьшают поверхностное натяжение воды, что делает возможным поглощение личинками других органических токсикантов, присутствующих в воде [20].

Нефть оказывает крайне негативное влияние на развитие рыб даже в концентрациях значительно ниже ПДК (0,05 мг/л): Так например, при концентрации нефти в 10 раз ниже ПДК – 0,005 мг/л на 30–40 % снижается оплодотворяемость икры осетра и севрюги, а количество уродливых личинок может достигать 30 % [16]. На этом основании меры борьбы с нефтяным загрязнением являются актуальными и востребованными, в том числе разработка новых экологически безопасных диспергентов и способов их применения [21].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Результаты исследований влияния диспергента, применяемого для снижения последствий нефтяных разливов, на развивающихся эмбрионов и выклюнувшихся предличинок севрюги позволили установить, что вещество более токсично для предличинок, чем для икры. Если число вылупившихся предличинок севрюги при инкубации в растворах токсиканта не отличалось в опытных и контрольных вариантах, динамика вылупления также была одинаковой, то выживаемость предличинок при концентрации вещества 5 и 10 мг/л была существенно ниже, чем в контроле. В этом случае оболочка икры выполняет защитную функцию, которая предохраняет развивающийся зародыш от неблагоприятных внешних воздействий, вызванных присутствием диспергента в среде. Предличинки лишены этой защиты, и совокупность факторов, связанных с ухудшением условий обитания и непосредственным влиянием химических веществ, входящих в состав диспергента, приводит к их повышенной гибели. Проведение исследований по определению токсичности диспергентов необходимо для разработки новых экологически безопасных препаратов и методов их применения.

БЛАГОДАРНОСТЬ

Авторы выражают благодарность сотрудникам Темрюкского рыбоводного завода и лично А. В. Емельянову за помощь в организации и проведении экспериментальных работ

Список литературы

1. Fuller C. Comparative toxicity of oil, dispersant and oil plus dispersant to several marine species / C. Fuller, J. Bonner, C. Page [et al.] // Environ. Toxicol. Chem. – 2004. – Vol. 23(12). – P. 2941–2949.
2. Voskoboinikov G. M. Participation of the green algae *Ulvaria obscura* in bioremediation of sea water from oil products / G. M. Voskoboinikov, G. G. Matishov, L. O. Metelkova, [et al.] // Doklady Akademii Nauk. – 2018. – Vol. 481(1). – P. 139–141.
3. Морской энциклопедический словарь
https://sea_enc_reference.academic.ru/911/%D0%94%D0%98%D0%A1%D0%9F%D0%95%D0%A0%D0%93%D0%95%D0%9D%D0%A2%D0%AB?ysclid=m3h510hu9f222149902 (дата обращения 15.08.2024)
4. Чурсин Ф. В. Аварийные разливы нефти: средства локализации и методы ликвидации / Ф. В. Чурсин, С. В. Горбунов, Т. В. Федотова // Пожарная безопасность. – 2004. – №3. – С. 176–189.
5. Мочалова О. С. Методы борьбы с аварийным загрязнением водоёмов нефтью / О. С. Мочалова, Л. М. Гурвич, Н. М. Антонова // Защита окружающей среды в нефтегазовом комплексе. – 2004. – №3. – С. 20–25.
6. Page C. A. Behavior of a chemically-dispersed oil and a whole oil on a near-shore environment / C. A. Page, J. Bonner, P. Sumner [et al.] // Water Res. – 2000. – Vol. 34. – P. 2507–2516.
7. Брадик Д. И. Токсичность диспергентов, применяемых при ликвидации разливов нефти / Д. И. Брадик, Е. А. Мазлова, О. А. Куликова // Материалы V Международной научно-практической конференции (XIII Всероссийской научно-практической конференции) Нефтепромысловая химия 28 июня 2018 года. Москва, 2018. – С. 95–96.
8. Edwards K. R. Toxicity comparison of biosurfactants and synthetic surfactants used in oil spill remediation of two estuarine species / K. R. Edwards, J. E. Lepo, M. A. Lewis // Mar Pollut Bull. – 2003. – Vol. 46. – P. 1309–1316.
9. Beyer J. Environmental effects of the Deepwater Horizon oil spill: A review. / J. Beyer, H. C. Trannum, T. Bakke [et al.] // Mar. Pollut. Bull. – 2016. – Vol. 110 (1). – P. 28–51.

10. Vecsei P. Threatened fishes of the world, *Acipenser stellatus*, Pallas, 1771 (Acipenseridae) / P. Vecsei, D. Peterson, R. Suci [et al.]. // *Environmental Biology of Fishes*. – 2007. – Vol. 78. – P. 211–212.
11. Moghim M. Determination of sex and maturity in *Acipenser stellatus* by using ultrasonography / M. Moghim, A. R. Vajhi, A. Veshkini [et al.] // *J. Appl. Ichthyol.* – 2002. – Vol. 18. – P. 325–328.
12. Методические указания по разработке нормативов качества воды водных объектов рыбохозяйственного значения, в том числе нормативов ПДК вредных веществ в водах водных объектов от 04.08.2009 г. рыбохозяйственного значения, утв. приказом Росрыболовства № 695
13. Симаков Ю. Г. Оценка токсичности диспергентов на организмы зоопланктона / Ю. Г. Симаков, Д. Л. Никифоров-Никишин, П. Ю. Татаренко // Сборник статей Второй международной конференции «Инновационное развитие. Потенциал науки и современного образования». Пенза, 20 апреля 2018. – № 29. – С. 23–25.
14. Etkin D. Oil Spill Dispersants: From Technology to Policy / D. Etkin // *Cutter Information*, Arlington, MA, USA. – 1999. – 306 p.
15. Kanga S. A. Solubilization of naphthalene and methyl-substituted naphthalenes from crude oil using biosurfactants / S. A. Kanga, J. S. Bonner, C. A. Page [et al.]. // *Environ. Sci. Technol.* – 1997. – Vol. 31. – P. 556–561.
16. Барабашин Т. О. Методическое обеспечение мониторинга загрязнения водных объектов Азово-Черноморского бассейна. / Т. О. Барабашин, И. В. Кораблина, Л. Ф. Павленко [и др.]. // *Водные биоресурсы и среда обитания*. – 2018. – Т. 1 (3–4). – С. 9–27.
17. Soleimanpour M. Effect of some detergents (Anionic surfactants) on embryogenesis, hatch percentage, larvae abnormalities, and cortisol levels in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). / M. Soleimanpour, B. M. Amiri, H. Farahmand [et al.] // *Journal of Fisheries*. – Vol. 75 (1). – P. 1–16.
18. Антипова К. А. Влияние поверхностно-активных веществ на рост и деструктивную активность углеводородокисляющих микроорганизмов / К. А. Антипова, А. С. Мурадян // *Вестник Казанского технологического университета*. – 2014. – Т. 17 (3) – С. 24–27.
19. Rudneva I. I. Interspecies peculiarities of biomarkers response of marine fish embryos to oil pollution. / I. I. Rudneva // *Pollution*. – 2023. – Vol. 9 (1). – P. 243–253.
20. Khan R. A. Chapter 7 - Detergents, Editor(s): Muhammad Zaffar Hashmi, Shuhong Wang, Zulkifil Ahmed / R. A. Khan // *In Advances in Pollution Research, Environmental Micropollutants*, Elsevier. – 2022. – P. 117–130.
21. Иванова М. А. Ликвидация нефтяных загрязнений / М. А. Иванова, Н. С. Чикина, Л. А. Зенитова // *Бутлеровские сообщения*. – 2012. – Т. 29 (3). – С. 1–12.

INFLUENCE OF DISPERSANT ON EMBRYONIC AND POST-EMBRYONIC DEVELOPMENT OF STELLATED STURGEON ACIPENCER

Rudneva I. I.¹, Shaida V. G.², Medyankina M. V.³

¹*Marine Hydrophysical Institute, Sevastopol, Russia*

²*Company "EcoService-A", Moscow, Russia*

³*Moscow State University of Technology and Management MSUTU. K. G. Razumovsky (First Cossack University), Moscow, Russia*

E-mail: svg-41@mail.ru

The functioning of the oil and gas complex is associated with the use of a large number of complex chemicals that are used in the process of drilling wells and possible oil spills during its extraction, transportation and processing, which has an extremely negative impact on marine aquatic organisms. To reduce the consequences of oil accidents, special substances are used – dispersants, which are sprayed in the marine environment and help accelerate the degradation of oil. At the same time, dispersants and their components are

xenobiotic compounds for the marine environment and its inhabitants, therefore, the assessment of their possible toxicity is an important and urgent problem for ensuring the functioning of the oil and gas complex in the coastal zone of the seas and oceans. The effect of a dispersant used in oil spills to reduce pollution of water areas was studied at concentrations of 0.1; 0.5; 1; 5 and 10 mg/l on the survival rate of fertilized eggs, prelarvae and the dynamics of their hatching of stellate sturgeon *Acipenser stellatus* in fresh and 5‰ salt water. The results observed, that hatching of prelarvae from eggs incubated in dispersant solutions increased slightly in relation to the control at a substance concentration of 0.1 and 0.5 mg/l, but then sharply decreased with an increase in the concentration of the toxicant. Hatching of prelarvae at all studied concentrations of dispersant occurred simultaneously with the control on the 5th day of incubation. In this case, the maximum output of prelarvae from eggs was noted on the 6th day at a dispersant concentration of 0.5 mg/l. The survival rate of hatched prelarvae in solutions of the substance with a concentration of 0.1–1 mg/l did not differ from the control. However, this indicator was significantly lower ($p < 0.01$) when kept in solutions with a concentration of the substance of 5 and 10 mg/l. Therefore, our studies also allowed us to establish a certain effect of the dispersant on the development of stellate sturgeon embryos. It was found that at low dispersant concentrations (0.1–0.5 mg/l), there is a certain tendency to stimulate the hatching of prelarvae, whereas with an increase in the content of the toxicant in the medium, a significant decrease in this indicator occurred. This may be due to the interaction of the shell of the eggs with the surfactant, a change in its configuration, facilitating the hatching of prelarvae. Other researchers also noted changes in the activity of bacteria and disruption of their vital functions under the action of surfactants. At the same time, the dispersant did not have a significant effect on the dynamics of hatching of stellate sturgeon prelarvae, which corresponded to both control variants. A different picture was noted during the incubation of prelarvae in dispersant solutions. If their survival at a substance concentration of 0.1–1 mg/l did not differ significantly from the indicators of both control groups, then with an increase in the substance content to 5 and 10 mg/l, the values were significantly reduced ($p < 0.01$). It follows from this that the prelarvae were more sensitive to the action of the dispersant than the fish eggs. This is due to the protective function of the egg shell, which protects the developing embryo from unfavorable external factors, including toxicants of anthropogenic origin. Earlier, we also noted that the sensitivity of prelarvae and larvae of fish to the action of oil is significantly higher than that of eggs. The possibility of using fish embryos to assess the ecological state of coastal waters in areas of intensive oil and gas production, as well as in the event of emergency oil spills in water areas is discussed. this parameter. The possibility of using fish embryos to assess the ecological state of coastal waters in areas of intensive oil and gas production and well drilling is discussed. Conducting studies to determine the toxicity of dispersants is necessary for the development of new environmentally safe preparations and methods of their use.

Keywords: pollution, toxicity, water quality, oil spills, fish embryos and prelarvae.

References

- Fuller C., Bonner J., Page C., Ernst A., McDonald T., and McDonald S. Comparative toxicity of oil, dispersant and oil plus dispersant to several marine species, *Environ Toxicol Chem*, **23** (12), 2941 (2004).
- Voskoboinikov G. M., Matishov G. G., Metelkova L. O., Zhakovskaya Z. A., Lopushanskaya E. M. Participation of the Green Algae *Ulvaria obscura* in Bioremediation of Sea Water from Oil Products. *Doklady Akademii Nauk*, **481** (1), 139 (2018).
- Marine encyclopedic dictionary
https://sea_enc_reference.academic.ru/911/%D0%94%D0%98%D0%A1%D0%9F%D0%95%D0%A0%D0%93%D0%95%D0%9D%D0%A2%D0%AB?ysclid=m3h510hu9f222149902
- Chursin F. V., Gorbunov S. V., Fedotova T. V. Oil spills: localization means and liquidation methods *Fire Safety*, **3**, 176 (2004).
- Mochalova O. S., Gurvich L. M., Antonova N. M. Methods of combating accidental oil pollution of water bodies. *Environmental protection in the oil and gas complex*, **3**, 20 (2004).
- Page C. A., Bonner J., Sumner P., McDonald T., Autenrieth R., Fuller C. Behavior of a chemically-dispersed oil and a whole oil on a near-shore environment. *Water Res.* **34**, 2507 (2000).
- Bradik D. I., Mazlova E. A., Kulikova O. A. Toxicity of dispersants used in oil spill response. Proceedings of the V International Scientific and Practical Conference (XIII All-Russian Scientific and Practical Conference, Oilfield Chemistry, Moscow, June 28, 2018) 95 (2018).
- Edwards K. R., Lepo J. E., Lewis M. A. Toxicity comparison of biosurfactants and synthetic surfactants used in oil spill remediation of two estuarine species. *Mar Pollut Bull.* **46**, 1309 (2003).
- Beyer J., Trannum H. C., Bakke T., Hodson P., Collier T. Environmental effects of the Deepwater Horizon oil spill: A review. *Mar. Pollut. Bull.* **110** (1), 28 (2016).
- Vecsei P., Peterson D., Suci R., Artyukhin E. Threatened fishes of the world, *Acipenser stellatus*, Pallas, 1771 (Acipenseridae) *Environ.l Biol. Fishes.* **78**, 211 (2007).
- Moghim M., Vajhi A. R., Veshkini A., Masoudifard M. Determination of sex and maturity in *Acipenser stellatus* by using ultrasonography *J. Appl. Ichthyol.* **18**, 325 (2002).
- Methodological recommendations for the development of the legal levels of water quality of water bodies of fishery production including legal levels of harmful substances in the waters of water bodies of fishery*, The Declaration of Rosrybolovstvo № 695 of 04. 08. 2009 (in Russian)
- Simakov Yu. G., Nikiforov-Nikishin D. L., Tatarenko P. Yu. *Assessment of dispersant toxicity on zooplankton organisms*. Collection of articles of the Second International Conference "Innovative Development. Potential of Science and Modern Education". Penza, April 20, 2018. **29**, 23(2018).
- Etkin D. *Oil Spill Dispersants: From Technology to Policy*, 306 (Cutter Information, Arlington, MA, USA, 1999).
- Kanga S. A., Bonner J. S., Page C. A., Mills M. A., Autenrieth R. L. Solubilization of naphthalene and methyl-substituted naphthalenes from crude oil using biosurfactants. *Environ Sci Technol.* **31**, 556 (1997).
- Barabashin T. O., Korablina I. V., Pavlenko L. F., Skripnik G. V., Korotkova L. I. Methodological support for monitoring pollution of water bodies of the Azov-Black Sea basin. *Aquatic bioresources and habitat*, **1** (3–4), 9 (2018).
- Soleimanpour M., Amiri B. M., Farahmand H., Mirvaghefi A., Dastar Y. Effect of some detergents (anionic surfactants) on embryogenesis, hatch percentage, larvae abnormalities, and cortisol levels in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Journal of Fisheries*, **75** (1), 1 (2022).
- Antipova K. A., Muradyan A. S. Effect of surfactants on the growth and destructive activity of hydrocarbon-oxidizing microorganisms. *Bulletin of the Kazan Technological University*, **17**(3), 24 (2014).
- Rudneva I. I. Interspecies peculiarities of biomarkers response of marine fish embryos to oil pollution. *Pollution*. **9** (1), 243 (2023).
- Khan R. A. Chapter 7 – Detergents, Editor(s): Muhammad Zaffar Hashmi, Shuhong Wang, Zulkfil Ahmed, In Advances in Pollution Research, *Environmental Micropollutants*, Elsevier, 117 (2022).
- Ivanova M. A., Chikina N. S., Zenitova L. A. Liquidation of oil pollution, *Butler's messages*, **29** (3), 1 (2012).

УДК 581.1:579.64

DOI 10.29039/2413-1725-2025-11-1-151-161

АКТИВНОСТЬ КАТАЛАЗЫ И ПЕРОКСИДАЗЫ ПШЕНИЦЫ И ТОМАТОВ ПРИ ИНОКУЛЯЦИИ *TRICHODERMA* SP. НА РАННИХ ЭТАПАХ ОНТОГЕНЕЗА

Сидякин А. И., Чмелёва С. И., Белоусов В. В., Джелдубаева Э. Р., Туманянц К. Н.

**ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет имени В. И. Вернадского», Симферополь,
Республика Крым, Россия
E-mail: acid2302@mail.ru**

В статье приведены результаты исследования влияния различных штаммов микроорганизмов *Trichoderma* sp., полученных из ризопланы дикорастущих злаков флоры Республики Крым на активность каталазы и пероксидазы в проростках пшеницы и томатов. Показано, что предпосевная инокуляция штаммами *Trichoderma* sp. № 2, № 4 и № 5 стимулирует прорастание семян томатов и не оказывает влияние на прорастание семян пшеницы. Получены экспериментальные данные, свидетельствующие, что штаммы не оказывают отрицательного действия на ферментативную активность. Данный эффект не зависит от штамма и сохраняется на протяжении всего эксперимента.

Ключевые слова: *Trichoderma* sp., энергия прорастания семян, всхожесть, *Lycopersicon esculentum* Mill., *Triticum durum* L., каталаза, пероксидаза.

ВВЕДЕНИЕ

В процессе онтогенеза культурные растения подвергаются воздействию различных биотических факторов, в том числе, почвенных микроорганизмов [1]. Видовой состав микрофлоры, способной заселить ризосферу, во многом определяет развитие растительного организма и, в конечном счете, влияет на его урожайность. Одним из распространенных компонентов микрофлоры в ризосфере растений являются грибы рода *Trichoderma*. Они обладают развитой системой ферментативного аппарата, благодаря которому обеспечивается их высокая приживаемость и конкурентоспособность [1]. Воздействие микроорганизмов может сказываться как отрицательно, так и положительно на ростовые процессы растений и, их восприимчивость к различного рода болезням [2].

Создание и применение биопрепаратов на основе микроскопических грибов рода *Trichoderma* – современный и наиболее действенный способ повышения продуктивности растений, качества урожая, а также сохранение естественного плодородия почв.

Колонизация корней видами *Trichoderma* вызывает изменение в метаболизме растений, которые в будущем могут приводить к усилению развития корневой системы, увеличению урожая и повышения общего сопротивления к абиотическим и биотическим факторам. Но данный признак является штаммоспецифичным, и поэтому, исследование новых штаммов рода *Trichoderma* на предмет типа его

воздействия на растительные организмы является актуальным и важным вопросом при разработке биопрепаратов.

Грибы рода *Trichoderma* являются полиантагонистами, способными в естественных условиях подавлять развитие многих патогенных микроорганизмов, обитающих в корневой зоне растений, кроме того, они обладают способностью влиять на вредные организмы через стимулирование защитных свойств растений [3, 4]. Они также могут оказывать положительное действие на ростовые процессы растений и влиять на их продуктивность [5, 6]; способны синтезировать физиологически активные вещества, которые влияют на биохимические процессы, протекающие в растениях. Так, внесение грибов этого рода в ризосферу значительно активизируют многие ферменты растений – инвертазу, каталазу, амилазу, уреазу, что, в свою очередь, увеличивает интенсивность окислительно-восстановительных процессов, фотосинтез и поглощение питательных элементов корневой системой [7]. Все это влияет не только на уровень урожайности сельскохозяйственных культур, но и на качественные характеристики продукции, увеличивая содержание белков, незаменимых аминокислот и витаминов [8].

В связи с вышеизложенным целью работы явилось оценка влияния новых штаммов *Trichoderma* sp. на активность каталазы и пероксидазы пшеницы и томатов при инокуляции *Trihoderma* sp. на ранних этапах онтогенеза в условиях вегетационного лабораторного опыта.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Экспериментальная часть работы проводилась на базе кафедры ботаники и физиологии растений и биотехнологий Института биохимических технологий, экологии и фармации Крымского федерального университета имени В. И. Вернадского в период 2023–2024 гг.

Для определения влияния различных штаммов *Trichoderma* sp. на ферментативную активность проростков *Lycopersicon esculentum* Mill. (сорт Ранний низкий 83) и *Triticum durum* L. (сорт Одари), семена по 100 штук в трехкратной повторности промывали теплым мыльным раствором, а затем протравливали для дезинфекции 1 %-ным раствором формалина в течение 5 минут. После дезинфекции семена промывали в трех сменах водопроводной воды по 10–15 минут, и переносили в чашки Петри на фильтровальную бумагу. Затем в чашки Петри наливали по 10 мл отстоянную водопроводную воду (контроль) или растворы препаратов. В соответствии со схемой опыта семена инокулировали штаммами микроорганизмов *Trichoderma* sp, полученными из ризопланы дикорастущих злаков флоры Республики Крым сотрудниками НПО Биотехсоюз и предоставленные нам из их коллекции:

- 1 – Контроль, отстоянная водопроводная вода;
- 2 – Штамм 1, 1,0%-ный раствор спор штамма *Trichoderma* sp. Б7 NO₃ поли 10⁵ 100 мкл 2;
- 3 – Штамм 3, 1,0%-ный раствор спор штамма *Trichoderma* sp. СС 3 Б10 моно 10⁷ 1,0 мл 1;

4 – Штамм 4, 1,0%-ный раствор спор штамма *Trichoderma* sp. СС 3 Б10 моно 10^7 1,0 мл 2;

5 – Штамм 5, 1,0%-ный раствор спор штамма *Trichoderma* sp. N₂Na Cl 7,5 10^7 1мл;

6 – Штамм 6, 1,0%-ный раствор спор штамма *Trichoderma* sp. СС 3 Na Cl 7,5 10^3 1 мл.

Семена помещали в термостат типа ТС–80–М–2, согласно требованиям государственного стандарта для сельскохозяйственных культур 12038–84 [9]. Проростки на третьи-пятые сутки выращивания (с нормально развитым корнем) переносили в стеклянные материальные сосуды, содержащие 500 см³ минерального питательного раствора Цинцадзе, для выращивания растений в водной культуре в условиях лабораторного вегетационного опыта [8]. Проростки, а затем и растения выращивали в лаборатории, при освещенности не менее 2500 лк, температуре +20–25 °С и естественном освещении и фотопериоде [9].

Активность ферментов определяли у 3- и 7-суточных проростков пшеницы и 5-, 10-суточных проростков томатов, активность каталазы – газометрическим способом [10], для определения активности пероксидазы 7-суточных проростков пшеницы и 10-суточных проростков томатов использовали фотометрический метод [10].

Исследования проводили в трехкратной повторности, статистическую обработку полученных данных осуществляли, рассчитывая среднюю арифметическую и стандартную ошибку средней арифметической, стандартное отклонение, критерий достоверности Стьюдента для сравнения двух выборок. Все измерения и исследования осуществляли на оборудовании, прошедшем метрологическую проверку и экспертизу [11].

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

При прорастании семян в них генерируются активные формы кислорода, защита от которых осуществляется за счет использования высокоактивной антиоксидантной системы, состоящей из низко- и высокомолекулярных соединений [12]. В комплекс высокомолекулярной системы антиоксидантной защиты входят ферменты: каталаза, супероксиддисмутаза, пероксидаза и др. [13]. Действие компонентов системы антиоксидантной защиты в основном сводится к подавлению образования свободных радикалов, поддержанию нормального уровня свободнорадикальных процессов и перекисного окисления липидов в тканях [14, 15]. Однако роль антиоксидантов в механизмах покоя и прорастания семян пшеницы мало изучена. Хотя известно, что многие из низкомолекулярных антиоксидантов могут быть субстратами пероксидазы [13, 16]. Первичная активизация метаболических процессов в прорастающих семенах обусловлена интенсификацией дыхания, сопряженного с окислительно-восстановительными реакциями растительного организма. Согласно современным представлениям, каталаза играет ведущую роль, регулируя окислительный режим в организме и её активность может рассматриваться в качестве меры интенсивности и продуктивности общего метаболизма.

В результате наших исследований установлено, что инокуляция семян *Triticum durum* L. новыми штаммами *Trichoderma* sp. в целом не оказала стимулирующего влияния на активность каталазы в проростках пшеницы, что

согласовывалось с влиянием исследуемых штаммов на процессы прорастания семян. Под влиянием новых штаммов *Trichoderma sp.* такие параметры прорастания семян пшеницы твердой сорта Одари, как: энергия прорастания и всхожесть семян не изменяются (рис. 1).

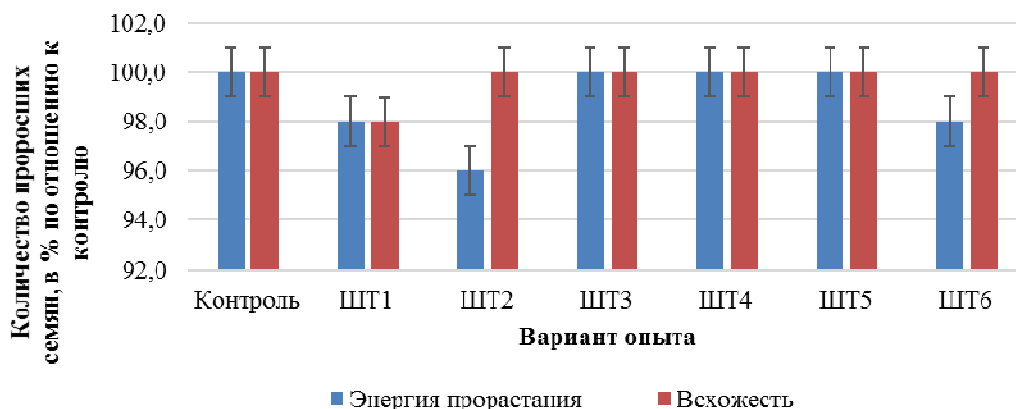


Рис. 1. Влияние новых штаммов *Trichoderma sp.* на энергию прорастания и всхожесть семян пшеницы; Б-томаты. Контроль-отстоянная водопроводная вода; ШТ1,2...6-штаммы триходермы.

В опытных вариантах, при инокуляции семян штаммом № 1 каталазная активность проростков пшеницы увеличилась в среднем на 31,19 %, что составляет 131,19 % по отношению к контролю. Под действием штамма № 2, № 4 и № 6 каталазная активность проростков пшеницы увеличивалась недостоверно (табл. 1).

При использовании штаммов № 3 и № 5 наблюдалась положительная динамика. Штамм № 3 увеличил показатель каталазной активности проростков пшеницы в среднем на 27,72 % (127,72 % по отношению к контролю). В опыте со штаммом № 5 показатель каталазной активности составил 141,87 % по отношению к контролю (табл. 1).

Как следует из представленных в таблице данных, каталазная активность проростков пшеницы твердой сорта Одари в контрольном варианте опыта на 7 сутки составила 1,03 мкМ O_2 /г сыр. массы тк*мин. В варианте с использованием штамма № 1 каталазная активность проростков пшеницы твердой сорта Одари на 7 сутки составила 100,56 %, что является недостоверным увеличением показателя.

Штамм № 2 уменьшил данный показатель на 6,46 %, что составляет 93,54 % по отношению к контролю. В варианте с использованием штамма № 3 каталазная активность проростков пшеницы твердой уменьшилась 12,02 % (87,98 % по отношению к контролю). Штамм № 4 снизил данный показатель на 8,61 % (91,33 % по отношению к контролю). Под действием штамма № 5 показатель каталазной активности проростков составил 84,31 % по отношению к контролю. Незначительно ниже показатель каталазной активности при использовании штамма № 6 84,54 % по отношению к контролю.

Таблица 1

Влияние новых штаммов *Trichoderma* sp. на каталазную активность проростков пшеницы

Вариант опыта	Исследуемый показатель			
	3-суточные проростки		7-суточные проростки	
	мкМ О ₂ /г сыр. массы тканей×мин	в % к контролю	мкМ О ₂ /г сыр. массы тканей×мин	в % к контролю
Контроль	0,44±0,01	100,00	1,03±0,02	100,00
Штамм 1	0,58±0,02	131,19	1,04±0,03	100,56
Штамм 2	0,45±0,01	103,59	0,97±0,02	93,54
Штамм 3	0,56±0,02	127,72	0,91±0,01	87,98
Штамм 4	0,46±0,03	104,25	0,94±0,04	91,33
Штамм 5	0,62±0,05	141,87	0,87±0,02	84,31
Штамм 6	0,45±0,03	103,63	0,87±0,04	84,54

Примечание к таблице: разница средних значений контроля и опыта достоверна при $P < 0,05$ для всех вариантов.

Таким образом, проведенные исследования влияния новых штаммов *Trichoderma* sp. на показатель каталазной активности проростков пшеницы твердой сорта Одари показали, что на 7 сутки новые штаммы *Trichoderma* sp. снижали данный показатель.

Проведенные лабораторные исследования по изучению влияния новых штаммов *Trichoderma* sp. на каталазную активность проростков томатов сорта Ранний низкий 83 на 5 и 10 сутки, представленные в таблице 2 показали, что каталазная активность проростков томатов в вариантах, с инокуляцией штаммом № 1 достоверно уменьшилась на 47,61 %, что составляет 52,39 % по отношению к контролю. Обработка семян штаммами № 2 и № 6 также достоверно снижает показатель каталазной активности проростков томатов, что согласуется с показателями прорастания семян. Штаммы *Trichoderma* sp. № 2, № 4, № 5 повышают по сравнению с контролем энергию прорастания и всхожесть семян томата сорта Ранний низкий 86 (рис. 2).

Штамм № 2 на 25,52 % (74,48 % по отношению к контролю), штамм № 6 на 17,98 % (82,02 % по отношению к контролю). Штамм № 3 недостоверно снижает каталазную активность проростков томатов сорта Ранний низкий 83 на 0,04 % (99,96 % по отношению к контролю). В вариантах с использованием штаммов № 4 и № 5 каталазная активность проростков томатов достоверно увеличивается. Штамм № 4 увеличил данный показатель на 15,27 %, что составляет 115,27 % по отношению к контролю. Обработка семян штаммом № 5 увеличило каталазную активность на 8 % (108 % по отношению к контролю).

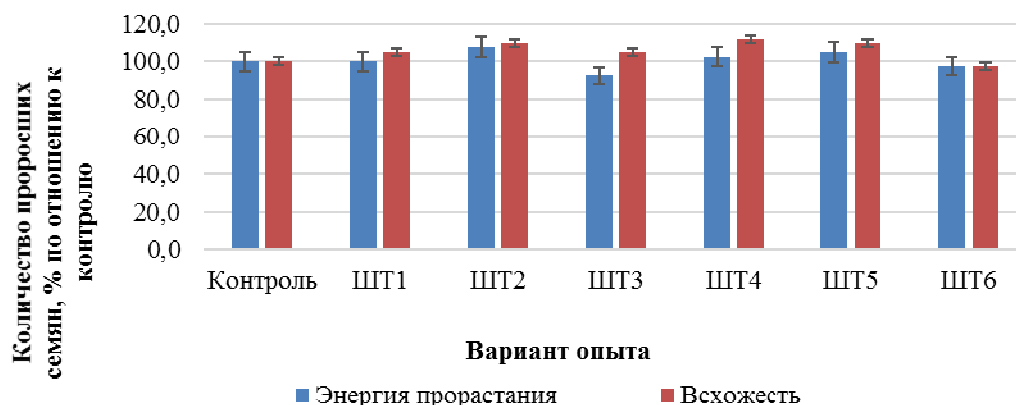


Рис. 2. Влияние новых штаммов *Trichoderma* sp. на энергию прорастания и всхожесть семян томатов. Контроль-отстоянная водопроводная вода; ШТ1,2...6-штаммы триходермы.

Таблица 2
Влияние новых штаммов *Trichoderma* sp. на каталазную активность проростков томатов

Вариант опыта	Исследуемый показатель			
	5-суточные проростки		10-суточные проростки	
	мкМ О ₂ /г сыр. массы тк*мин	в % к контролю	мкМ О ₂ /г сыр. массы тк*мин	в % к контролю
Контроль	0,44±0,01	100,00	1,34±0,03	100,00
Штамм 1	0,23±0,02	52,39	0,94±0,03	70,04
Штамм 2	0,32±0,02	74,48	0,87±0,02	64,95
Штамм 3	0,44±0,03	99,96	1,33±0,03	99,10
Штамм 4	0,50±0,04	115,27	1,26±0,01	94,05
Штамм 5	0,47±0,03	108,00	1,61±0,03	120,39
Штамм 6	0,36±0,02	82,02	1,42±0,04	105,93

Примечание к таблице: разница средних значений контроля и опыта достоверна при $P < 0,05$ для всех вариантов.

Проведенные лабораторные исследования влияние новых штаммов *Trichoderma* sp. на показатель каталазной активности проростков томатов на 5 сутки показали, что максимальный эффект оказали штаммы № 4 и № 5 достоверно увеличив этот показатель. На 10 сутки каталазная активность проростков томатов увеличилась под действием штаммов № 5 и № 6, остальные штаммы достоверно снижали каталазную активность.

Повышение активности пероксидазы при прорастании семян свидетельствует о том, что фермент может участвовать в пусковых механизмах прорастания семян,

инициируя реакции свободно-радикального окисления. Наилучшие результаты по влиянию штаммов *Trichoderma* sp. активность пероксидазы были получены нами в вариантах, в которых использовалось предпосевное инокулирование семян пшеницы штаммом № 6. Как следует их представленных в таблице 3 данных, пероксидазная активность проростков пшеницы твердой сорта Одари в контрольном варианте опыта на 7 сутки составила 23,45 ед. опт. плотн. / (г сыр.массы)*(сек).

Повышение активности пероксидазы при прорастании семян свидетельствует о том, что фермент может участвовать в пусковых механизмах прорастания семян, инициируя реакции свободно-радикального окисления. Наилучшие результаты по влиянию штаммов *Trichoderma* sp. активность пероксидазы были получены нами в вариантах, в которых использовалось предпосевное инокулирование семян пшеницы штаммом № 6. Как следует их представленных в таблице 3 данных, пероксидазная активность проростков пшеницы твердой сорта Одари в контрольном варианте опыта на 7 сутки составила 23,45 ед. опт. плотн. / (г сыр.массы)*(сек).

Таблица 3

Влияние новых штаммов *Trichoderma* sp. на пероксидазную активность проростков пшеницы твердой сорта Одари на 7 сутки

Вариант опыта	Активность пероксидазы	
	ед. опт. плотн. / (г сыр.массы)*(сек)	% к контролю
Контроль	23,45 ± 1,07	100,00
Штамм 1	26,61 ± 1,02	113,48
Штамм 2	23,05 ± 1,02	98,29
Штамм 3	31,60 ± 1,04	134,77
Штамм 4	33,43 ± 1,05	142,58
Штамм 5	28,41 ± 1,01	121,18
Штамм 6	40,25 ± 1,08	171,69

Примечание к таблице: разница средних значений контроля и опыта достоверна при $P < 0,05$ для всех вариантов.

Повышение активности пероксидазы при прорастании семян свидетельствует о том, что фермент может участвовать в пусковых механизмах прорастания семян, инициируя реакции свободно-радикального окисления. Наилучшие результаты по влиянию штаммов *Trichoderma* sp. активность пероксидазы были получены нами в вариантах, в которых использовалось предпосевное инокулирование семян пшеницы штаммом № 6. Как следует их представленных в таблице 3 данных, пероксидазная активность проростков пшеницы твердой сорта Одари в контрольном варианте опыта на 7 сутки составила 23,45 ед. опт. плотн. / (г сыр.массы)*(сек).

При использовании штамма № 1 пероксидазная активность проростков пшеницы твердой увеличилась на 13,48 %, что составляет 113,48 % по отношению к контролю. Использование штамма № 2 уменьшает значение показателя. Штаммы № 3, № 4, № 5 и № 6 достоверно увеличивают данный показатель. Использование штамма № 3 на 34,77 % (134,77 % по отношению к контролю). В варианте с использованием штамма № 4, пероксидазная активность проростков пшеницы твердой сорта Одари увеличилось на 42,58 %. Штамм № 5 увеличил показатель на 21,18 %, что составило 121,18 % по отношению к контролю. Использование штамма № 6 увеличило пероксидазную активность проростков пшеницы твердой сорта Одари на 71,69 % (171,69 % по отношению к контролю).

Таблица 4

Влияние новых штаммов *Trichoderma* sp. на пероксидазную активность проростков томатов сорта Ранний низкий 83 на 10 сутки

Вариант опыта	Активность пероксидаза	
	ед.опт.плотн./ (г сыр.массы)*(сек)	% к контролю
Контроль	39,67 ± 1,11	100,00
Штамм 1	18,81 ± 0,93	47,41
Штамм 2	19,28 ± 0,85	48,60
Штамм 3	19,71 ± 0,23	49,69
Штамм 4	14,98 ± 0,08	37,77
Штамм 5	17,20 ± 0,74	43,36
Штамм 6	18,63 ± 0,56	46,95

Примечание к таблице: разница средних значений контроля и опыта достоверна при $P < 0,05$ для всех вариантов.

Максимальный эффект на показатель пероксидазной активности проростков пшеницы твердой сорта Одари на 7 сутки оказал штамм № 6. Все остальные штаммы за исключением штамма № 2, также увеличивали данный показатель.

Как следует из представленных в таблице 4 данных, пероксидазная активность проростков томатов сорта Ранний низкий 83 на 10 сутки в контрольном варианте опыта составила 39,67 ед.опт.плотн. / (г сыр.массы)*(сек). В варианте с использованием штамма №1 пероксидазная активность проростков томатов уменьшилась на 52,59 %, что составило 47,41 % по отношению к контролю. Штамм № 2 также снижал пероксидазную активность проростков томатов и составил 48,60 % по отношению к контролю. Использование штамма № 3 снизило данный показатель на 50,31 % (49,69 % по отношению к контролю). Штаммы № 4, № 5 и № 6 аналогично снижают пероксидазную активность проростков томатов сорта Ранний низкий 83.

Таким образом, проведенные лабораторные исследования пероксидазной активности на 10 сутки проростков томатов сорта Ранний низкий 83 показали, что все новые штаммы *Trichoderma* sp. снижают данный показатель.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенные исследования по влиянию новых штаммов *Trichoderma* sp., выделенных из ризопланы дикорастущих злаков флоры Республики Крым на активность каталазы и пероксидазы проростков *Lycopersicon esculentum* Mill. (сорт Ранний низкий 83) и *Triticum durum* L. (сорт Одари) показали, что инокуляция семян не оказывает отрицательного влияния на ферментативную активность. Данные штаммы могут быть рекомендованы для создания биопрепаратов на основе микроскопических грибов рода *Trichoderma*.

Список литературы

1. Голованова Т. И. Роль грибов рода *Trichoderma* в повышении урожайности пшеницы и ячменя / Т. И. Голованова, Е. В. Долинская, Е. А. Сичкарук // Вестник КрасГАУ. – 2009. – Т. 6. – С. 53–58.
2. Голованова Т. И. Взаимоотношения пшеницы с микроорганизмами прикорневой зоны растений // Голованова Т. И., Литовка Ю. А., Долинская Е. В., Сичкарук Е. А., Валиулина А. Ф., Савицкая А. Г., Схиладзе О. Л. // Вестник КрасГАУ. – 2010. – № 9. – С. 10.
3. Голованова Т. И. Физиолого-морфологические параметры растений при действии спор гриба рода *Trichoderma* / Т. И. Голованова, А. А. Аксентьева // Вестник КрасГУ. Серия Естественные науки. – 2003. – С. 134–139.
4. Громовых Т. И. Эффективность действия *Trichoderma asperellum* G. Samuels штамм МГ – 97 на развитие фузариоза на сеянцах *Larix sibirica* L. / Т. И. Громовых, Ю. А. Литовка, В. С. Громовых, Е. Г. Махова // Микология и фитопатология. – 2002. – Т. 36, Вып. 4. – С. 70–75.
5. Великанов Л. Л. Сравнение гиперпаразитической и антибиотической активности изолятов рода *Trichoderma* Pers.: Fr. и *Gliocladium virens* Miller, Giddens et Foster по отношению к патогенам, вызывающим корневые гнили гороха / Л. Л. Великанов, Е. Ю. Сухоносенко, С. И. Николаева, И. Л. Завелишко // Микология и фитопатология. – 1994. – Т. 28, Вып. 6. – С. 52–56.
6. Громовых Т. И. Фитопатогенные микромицеты семян хвойных в Средней Сибири: видовой состав, экология, биологический контроль : Автореф. диссертации... доктора биологических наук. / Громовых Т. И. – Москва, 2002. – 37 с.
7. Гринько Е. К. Экологически безопасная система защиты овощных культур закрытого грунта от фитопатогенов / Гринько Е. К. // Рекомендации. – Краснодар: Агропромполиграфист, 2000. – 44 с.
8. Алимова Ф. К. Промышленное применение грибов рода *Trichoderma*: учебное пособие / Ф. К. Алимова. – Казань: Казанский государственный университет им. В. И. Ульянова-Ленина, 2006. – 209 с.
9. ГОСТ 12038. Семена сельскохозяйственных культур, Методы определения всхожести. – Введ. 1986-07-01. – М.: Госстандарт России: Изд-во стандартов, 2011. – 64 с.
10. Емельянов В. В. Активность каталазы и пероксидазы в растениях пшеницы и риса в условиях аноксии и постаноксической аэрации / В. В. Ласточкин, Е. Г. Приказюк, Т. В. Чиркова // Физиология растений – 2022. – Т. 69, № 6. – С. 675–690.
11. Лакин Г. Ф. Биометрия / Г. Ф. Лакин. – М., Высшая школа. – 1980. – 146 с.
12. Верхотуров В. В. Взаимное влияние пероксидазы и низкомолекулярных антиоксидантов при прорастании семян пшеницы: автореферат дис. ... кандидата биологических наук: 03.00.12, 03.00.04 / Верхотуров В. В. – Сиб. ин-т физиологии и биохимии растений СО РАН. – Иркутск, 1999. – 23 с.
13. Андреева В. А. Фермент пероксидаза / В. А. Андреева. – М.: Наука, 1988. – 128 с.
14. Бурлакова Е. Б. Перекисное окисление липидов мембран и природные антиоксиданты / Е. Б. Бурлакова, Н. Г. Храпова // Успехи химии. – 1985. – Т. 54, № 9. – С. 1540–1558.
15. Кения М. В. Роль низкомолекулярных антиоксидантов при окислительном стрессе / М. В. Кения, А. И. Лукаш, Е. П. Гуськов // Успехи современной биологии. – 1993. – Т. 113, № 4. – С. 456–470.
16. Запрометов М. Н. Фенольные соединения растений и их биогенез / М. Н. Запрометов // Итоги науки и техники. Серия биологическая химия. ВИНТИ, 1993. – Т. 27. – 188 с.

CATALASE AND PEROXIDASE ACTIVITY IN WHEAT AND TOMATO PLANTS INOCULATED WITH *TRICHODERMA* SP. AT EARLY STAGES OF ONTOGENESIS

Sidyakin A. I., Chmelyova S. I., Belousov V. V., Dzheldubaeva E. R., Tumanyants K. N.

V. I. Vernadsky Crimean Federal University, Simferopol, Russian Federation
E-mail: acid2302@mail.ru

This article presents the results of a study on the effects of novel strains of microscopic fungi of the genus *Trichoderma*, isolated from the rhizoplane of wild cereals native to the flora of the Republic of Crimea, on the enzymatic activity of seedlings of durum wheat (*Triticum durum* L., cultivar “Odari”) and tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill., cultivar “Ranniy nizkiy 83”) during the early stages of ontogenesis. At the current stage of biotechnology development, one of the pressing challenges is the creation of effective and environmentally safe biopreparations based on antagonistic microorganisms that can not only suppress the development of pathogenic microflora in the rhizosphere but also positively influence the physiological and biochemical processes in plants.

The aim of this study was to assess the influence of seed inoculation with different *Trichoderma* sp. strains on the activity of key antioxidant enzymes—catalase and peroxidase—as markers of the metabolic activity of seedlings. Under laboratory vegetation conditions, the activity levels of these enzymes were studied in wheat seedlings (on days 3 and 7) and tomato seedlings (on days 5 and 10) after seed germination in spore suspension solutions of six fungal strains.

The results showed that the effects of *Trichoderma* sp. strains are strain-specific. Some strains (e.g., strains No. 4 and No. 5) caused statistically significant increases in catalase activity in tomato seedlings, while strain No. 6 exhibited the most pronounced stimulating effect on peroxidase activity in wheat seedlings. At the same time, other strains either reduced enzymatic activity or had no significant effect. It was found that seed inoculation with *Trichoderma* sp. strains did not suppress enzymatic activity, which indicates the absence of stress effects and supports the potential of these strains as components of biopreparations.

The findings contribute to the understanding of the interactions between microscopic fungi and plants at early developmental stages and may be used in the selection of promising *Trichoderma* strains for enhancing crop resistance to biotic and abiotic stresses, as well as for the development of new microbial products aimed at stimulating plant growth and development in agriculture.

Keywords: *Trichoderma* sp., seed germination energy, germination rate, *Lycopersicon esculentum* Mill., *Triticum durum* L., catalase, peroxidase.

References

1. Golovanova T. I., Dolinskaya E. V., Sichkaruk E. A. The role of fungi of the genus *Trichoderma* in increasing the yield of wheat and barley, *Vestnik KrasGAU*, **6**, 53 (2009).

2. Golovanova T. I., Litovka Yu. A., Dolinskaya E. V., Sichkaruk E. A., Valiulina A. F., Savitskaya A. G., Skhiladze O. L. Wheat relations with microorganisms of the root zone of plants, *Vestnik KrasGAU*, **9**, 10 (2010).
3. Golovanova T. I., Aksent'eva A. A. Physiological and morphological parameters of plants under the action of spores of the fungus *Trichoderma*, *Vestnik KrasGAU. Seriya Estestvennye nauki*, 134 (2003).
4. Gromovykh T. I., Litovka Yu. A., Gromovykh V. S., Makhova E. G. The effectiveness of the action of *Trichoderma asperellum* G. Samuels strain MG – 97 on the development of fusarium on seedlings of *Larix sibirica* L., *Mikologiya i fitopatologiya*, **36** (4), 70 (2002).
5. Velikanov L. L., Sukhonosenko E. Yu., Nikolaeva S. I., Zavelishko I. L. Comparison of hyperparasitic and antibiotic activity of isolates of the genus *Trichoderma* Pers.: Fr. and *Gliocladium virens* Miller, Giddens et Foster against pathogens causing pea root rot, *Mikologiya i fitopatologiya*, **28** (6), 52 (1994).
6. Gromovykh T.I. *Phytopathogenic micromycetes of coniferous seedlings in Central Siberia: species composition, ecology, biological control*, Abstract of dissertation... doctor of biological sciences (Moscow, 2002).
7. Grin'ko E. K. *Environmentally safe system for protecting greenhouse vegetable crops from phytopathogens*, (Agroprompoligrafist, Krasnodar, 2000).
8. Alimova F.K. *Industrial application of fungi of the genus Trichoderma* (Kazanski Gosudarstvennyy Universitet im. V. I. Ul'yanova-Lenina, Kazan', 2006).
9. GOST 12038. *Seeds of agricultural crops, Methods for determining germination* (Gosstandart Rossii, Izd-vo standartov, Moscow, 2011).
10. Emel'yanov V. V., Lastochkin V. V., Prikazyuk E. G., Chirkova T. V. Catalase and peroxidase activity in wheat and rice plants under conditions of anoxia and post-anoxic aeration, *Fiziologiya Rastenii*, **69** (6), 675 (2022).
11. Lakin G. F. *Biometry* (Vysshaya shkola, Moscow, 1980).
12. Verkhoturov V. V. *The mutual influence of peroxidase and low-molecular antioxidants during the germination of wheat seeds*, Abstract of dissertation... candidate of biological sciences. (Sib. In-t fiziologii i biokhimii rastenii SO RAN, Irkutsk, 1999).
13. Andreeva V. A. *The enzyme peroxidase* (Nauka, Moscow, 1988).
14. Burlakova E. B., Khrapova N. G. Lipid peroxidation of membranes and natural antioxidants, *Uspekhi khimii*, **54** (9), 1540 (1985).
15. Keniya M. V., Lukash A. I., Gus'kov E. P. The role of low-molecular antioxidants in oxidative stress, *Uspekhi sovremennoi biologii*, **113** (4), 456 (1993).
16. Zaprometov M. N. Phenolic compounds of plants and their biogenesis, *Itogi nauki i tekhniki. Seriya biologicheskaya khimiya* (VINITI, Moscow, 1993).

УДК 612.08

DOI 10.29039/2413-1725-2025-11-1-162-169

СИСТЕМА ЗЕРКАЛЬНЫХ НЕЙРОНОВ – ВРОЖДЁННЫЙ МЕХАНИЗМ ИЛИ РЕЗУЛЬТАТ ОБУЧЕНИЯ?

Скрябина А. А., Бушов Ю. В.

*Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего
образования «Национальный исследовательский Томский государственный университет»,
Томск, Россия
E-mail: skryabina.anastasiya1994@yandex.ru*

При наблюдении и произнесении слов мужчинами и женщинами (монолингвами и билингвами) на родном (русском) и неродном (английском) языках проверяли гипотезу о важной роли обучения в формировании системы зеркальных нейронов. У билингвов (мужчин и женщин) обнаружили более выраженную по сравнению с монолингвами (мужчинами и женщинами) активацию «коммуникативных» зеркальных нейронов. Последнее проявилось в более выраженном снижении спектральной мощности мио-ритма у билингвов по сравнению с монолингвами. Предполагается, что обнаруженные межгрупповые различия активации зеркальных нейронов обусловлены тем, что освоение второго языка сопровождалось у билингвов (мужчин и женщин) ростом числа «коммуникативных» зеркальных нейронов в соответствующих зонах коры за счет нейрогенеза. Полученные результаты подтверждают гипотезу о важной роли обучения в формировании системы зеркальных нейронов. Однако, это не исключает возможное влияние наследственных факторов на этот процесс.

Ключевые слова: система зеркальных нейронов, мио-ритм, наблюдение и произнесение слов, нейрогенез, обучение.

ВВЕДЕНИЕ

С момента открытия зеркальных нейронов в вентральной премоторной коре макак такой тип нейронов был найден у многих видов животных.

У летучих мышей зеркальные нейроны обнаружены в гиппокампе; у птиц – в каудальном ядре вентрального гиперстриатума и премоторной области, где расположен высший голосовой центр у певчих птиц; у крыс – в префронтальной коре, передней поясной коре, премоторной коре; у макак и человека – в префронтальной коре, передней поясной коре, первичной моторной коре, премоторной коре, нижней теменной доле [1, 2]. Кроме того, у человека зеркальные нейроны обнаружены в нижней лобной коре [1].

Согласно современным представлениям, зеркальные нейроны участвуют в понимании целей и намерений других, в моторной имитации (произвольной и непроизвольной) и моторном обучении, двигательной мимикрии, в осуществлении высших когнитивных функций (в обучении и памяти, эмпатии, социальном познании, самосознании, формировании модели психического состояния другого

человека и реализации речи), в восприятии времени и эмоций, эмоциональном общении [3].

Считается, что зеркальные нейроны могут быть задействованы в различных процессах, связанных с речью: в овладении языком, в восприятии и продукции речи, в возникновении и развитии речи у человека в ходе эволюционного развития [2, 3].

Вместе с тем, вопрос о происхождении зеркальных нейронов по-прежнему остается открытым. Некоторые исследователи полагают, что система зеркальных нейронов не является врождённым механизмом, а является результатом обучения [1, 4].

Целью настоящего исследования явилась проверка гипотезы о важной роли обучения в формировании системы зеркальных нейронов.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Для достижения поставленной цели исследовали спектральные характеристики мю-ритма ЭЭГ при наблюдении и произнесении эмоционального и неэмоционального слов на родном и неродном языках. В качестве маркера активации зеркальных нейронов использовали депрессию мю-ритма в центральных отведениях ЭЭГ. В исследованиях приняли участие добровольцы – практически здоровые юноши и девушки (55 человек: среди них 10 монолингвов-юношей; 17 монолингвов-девушек; 9 билингвов-юношей; 19 билингвов-девушек) в возрасте от 18 до 29 лет – учащиеся Томского государственного университета.

Основным критерием выбора участников послужило: владение родным (русским) и неродным (английским) языками. Уровень владения английским языком у монолингвов являлся элементарным A1 (elementary) или ниже среднего A2 (pre-intermediate), тогда как уровень владения английским у билингвов – выше среднего B2 (upper intermediate) или продвинутый C1 (advanced) по шкале CEFR (Common European Framework of Reference).

Для отнесения добровольцев к монолингвам или билингвам участники исследования проходили предварительное тестирование на определение уровня владения английским языком, разработанное британской языковой школой (<https://www.europa-school.co.uk/language-level-test/>).

Для подтверждения высокого уровня владения английским языком участники, отнесённые к группе билингвов, проходили тест «English Placement Test C1/C2», разработанный Экономическим университетом в Катовице (Uniwersytet Ekonomiczny w Katowicach) и направленный на установление владения английским языком на профессиональном уровне (https://www.ue.katowice.pl/fileadmin/_migrated/content_uploads/Placement_test_C1-C2_01.pdf).

Для всех участников тип билингвизма являлся одинаковым: последовательный и искусственный. Все испытуемые дали информированное согласие на участие в данном исследовании, которое было одобрено Комиссией по биоэтике Биологического института Томского государственного университета.

В ходе предварительного обследования осуществлялся сбор анамнеза с целью исключения лиц, страдающих неврологическими (эпилепсия), сердечно-сосудистыми и другими заболеваниями. Также проводился сбор языкового анамнеза, на основе которого определялся тип двуязычия. С помощью анкеты Аннет выявляли ведущую руку. По результатам анкетирования подсчитывали в баллах показатель мануального предпочтения (ПМП).

В сериях с наблюдением за произнесением слов испытуемый наблюдал за оператором, который беззвучно одними губами произносил слово, когда стрелка секундомера на экране монитора пересекала деления 0, 5, 10 и т. д. секунд. Всего стрелка секундомера совершала 5 оборотов. В сериях с произнесением слов испытуемый сам выполнял указанную деятельность. Серии чередовались следующим образом: наблюдение за произнесением слова «Раз», произнесение слова «Раз», наблюдение за произнесением слова «Боль», произнесение слова «Боль», наблюдение за произнесением слова «Опе», произнесение слова «Опе», наблюдение за произнесением слова «Райн», произнесение слова «Райн».

В ходе эксперимента оператор располагался за столом, на котором на расстоянии 40–50 см от него находился монитор компьютера. Испытуемый при этом находился спереди и справа на расстоянии 70–80 см от него и следил только за его губами. При произнесении слов испытуемый занимал место оператора и следил за движением стрелки секундомера на экране монитора. Перед выполнением деятельности и в процессе ее выполнения регистрировали ЭЭГ монополярно с помощью 24-канального энцефалографа-анализатора «Энцефалан-131-03» (фирма «Медиком», г. Таганрог, Россия) в лобных (F3, F4, Fz, F7, F8), центральных (C3, C4, Cz), височных (T3, T4, T5, T6), теменных (P3, P4, Pz) и затылочных (O1, O2) отведениях по системе «10–20 %». В качестве референтов использовали отведения A1 и A2. С целью исключения артефактов, связанных с движением глаз и мышечной активностью, регистрировали ЭОГ и ЭМГ мышц шеи и лба. При вводе аналоговых сигналов в ЭВМ частота дискретизации составляла 250 Гц. При обработке полученных данных подсчитывали оценки спектральной мощности мю-ритма на коротких отрезках записи ЭЭГ (1,5 с), лишенных артефактов: за 1,5 секунды до пересечения стрелкой секундомера соответствующего деления (этап «подготовка» к действию), сразу после пересечения стрелкой секундомера деления (этап «выполнение» действия) и через 1,5 секунды после пересечения стрелкой секундомера (этап «фон»). Полученные значения спектральной мощности усредняли отдельно для каждого этапа деятельности, для каждой серии и по всем испытуемым. Для описания спектра мощности ЭЭГ применяли преобразование Фурье. Расчет спектра выполнен с аппроксимацией на целые гармоники (8, 9, 10, 11, 12, 13, 14 Гц), что позволило существенно упростить последующую статистическую обработку и сравнительный анализ результатов. При статистической обработке данных использовали пакет «MatLab v6.5» и критерий Вилкоксона для связанных выборок.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Результаты изучения мануального предпочтения показали, что в группах монолингвов и билингвов преобладают праворукие участники. Так, в группе монолингвов-юношей 9 из 10 человек оказались праворукими и 1 человек – амбидекстром, в группе монолингвов-девушек 14 из 17 человек оказались праворукими, 1 человек отличался выраженной леворукостью, 1 – слабой леворукостью и 1 человек оказался амбидекстром; в группе билингвов-юношей 8 из 9 человек оказались праворукими и 1 человек – амбидекстром, а в группе билингвов-девушек 16 из 19 человек оказались праворукими, 1 человек отличался выраженной леворукостью и 2 человека слабой леворукостью.

Изучение спектральных характеристик мю-ритма у мужчин и женщин (билингвов и монолингвов) при наблюдении и произнесении эмоционального и неэмоционального слов на родном и неродном языках позволило обнаружить у билингвов более выраженную, чем у монолингвов, депрессию мю-ритма.

Так, если при наблюдении за произнесением слова «РАЗ» у мужчин-билингвов на этапе выполнения по сравнению с фоном отмечается статистически значимое ($p < 0,05$) снижение спектральной мощности мю-ритма в отведении Cz на частоте 8 Гц на 22,7 %, на частоте 9 Гц – на 45,5 %, на частоте 10 Гц – на 15,5 %, в отведении C3 на частоте 8 Гц – на 2,1 %, а также увеличение спектральной мощности в отведении C3 на частоте 10 Гц на 5,4 %, то у мужчин-монолингвов отмечается только повышение спектральной мощности мю-ритма в отведении C3 на частоте 10 Гц на 5,6 %.

Если у мужчин-билингвов при произнесении слова «ONE» на этапе выполнения по сравнению с фоном отмечается статистически значимое ($p < 0,05$) снижение спектральной мощности мю-ритма в отведении Cz на частоте 13 Гц на 13,2 %, то у мужчин-монолингвов отмечается повышение спектральной мощности мю-ритма в том же отведении на той же частоте на 11,2 %.

Если у мужчин-билингвов при наблюдении за произнесением слова «PAIN» на этапе подготовки по сравнению с фоном отмечается статистически значимое ($p < 0,05$) снижение спектральной мощности мю-ритма в отведении Cz на частоте 11 Гц на 6,2 %, при произнесении того же слова – в отведении C3 на частотах 8 и 11 Гц – на 13,1 % и 32,6 % соответственно, а в отведении C4 на частоте 14 Гц – на 27,8 %, то у мужчин-монолингвов снижение спектральной мощности мю-ритма наблюдается только при произнесении слова «PAIN» и только в отведении Cz на частоте 13 Гц на 27 %.

Изучение спектральных характеристик мю-ритма у женщин (монолингвов и билингвов) при наблюдении и произнесении слов на родном и неродном языках позволило обнаружить ту же закономерность: более выраженную депрессию мю-ритма у женщин-билингвов по сравнению с монолингвами.

Так, если у женщин-билингвов при наблюдении за произнесением слова «РАЗ» на этапе выполнения по сравнению с фоном отмечается статистически значимое ($p < 0,05$) снижение спектральной мощности мю-ритма в отведении C3 на частоте 8 Гц на 17,1 %, на частоте 9 Гц – на 23,7 %, на частоте 14 Гц – на 11,2 %, а в отведении C4 на частоте 9 Гц – на 10,2 %, то у женщин-монолингвов отмечается

снижение спектральной мощности мю-ритма только в отведении С3 и только на частоте 13 Гц на 12 %.

Если у женщин-билинггов при произнесении слова «РАЗ» на этапе выполнения по сравнению с фоном отмечается снижение спектральной мощности мю-ритма в отведении С3 на частоте 8 Гц на 23,2 % и увеличение спектральной мощности в отведении С3 на частотах 12 и 13 Гц на 18,7 % и на 29,3 %, соответственно, то у женщин-монолингвов отмечается только повышение спектральной мощности мю-ритма в отведении С3 на частоте 8 Гц на 8,9 %, в отведении Cz на частоте 9 Гц – на 13,7 %, а в отведении С4 на частоте 8 Гц – на 13,6 %, на частоте 9 Гц – на 20,4 %.

Если у женщин-билинггов при наблюдении за произнесением слова «ONE» на этапе выполнения по сравнению с фоном отмечается статистически значимое ($p < 0,05$) снижение спектральной мощности мю-ритма в отведении С3 на частоте 9 Гц на 17,9 %, в отведении Cz на частоте 9 Гц – на 14,6 %, а в отведении С4 на частоте 9 Гц – на 24,5 % и увеличение спектральной мощности в отведении С3 на частоте 12 Гц на 11,4 %, то у женщин-монолингвов отмечается снижение спектральной мощности мю-ритма только в отведении Cz на частотах 9 и 10 Гц на 0,4 % и 22,4 %, соответственно,

Если у женщин-билинггов при наблюдении за произнесением слова «БОЛЬ» на этапе подготовки по сравнению с фоном отмечается статистически значимое ($p < 0,05$) снижение спектральной мощности мю-ритма в отведении Cz на частоте 13 Гц на 9,9 %, в отведении С4 на частоте 8 Гц – на 19,1 %, а при произнесении слова «БОЛЬ» отмечается снижение спектральной мощности мю-ритма в отведении С3 на частотах 9, 10 и 14 Гц, соответственно, на 5,3 %, 19,7 % и 26,3 % и в отведении Cz на частоте 9 Гц – на 9,6 % и увеличение спектральной мощности на частоте 12 Гц в отведениях С3 и С4 на 38,2 % и 0,003 %, соответственно, то у женщин-монолингвов статистически значимые по сравнению с фоном изменения спектральной мощности мю-ритма при наблюдении и произнесении слова «БОЛЬ» отсутствуют.

Если при произнесении слова «PAIN» у женщин-билинггов на этапе выполнения по сравнению с фоном отмечается статистически значимое ($p < 0,05$) снижение спектральной мощности мю-ритма в отведении С3 на частотах 9 и 14 Гц, соответственно, на 33,4 % и 15,3 % и увеличение спектральной мощности на частоте 12 Гц – на 6,8 %, то у женщин-монолингвов отмечается статистически значимое ($p < 0,05$) по сравнению с фоном повышение спектральной мощности мю-ритма в отведении Cz на частоте 13 Гц на 13,5 %, а в отведении С4 на частоте 11 Гц – на 12,9 %. Снижение спектральной мощности на 3,3 % отмечается у них только в отведении Cz на частоте 8 Гц.

Согласно имеющимся данным снижение спектральной мощности мю-ритма является характерным индикатором активации зеркальных нейронов [5–8], поэтому обнаруженное у билингвов (мужчин и женщин) более выраженное по сравнению с монолингвами (мужчинами и женщинами) снижение спектральной мощности мю-ритма при наблюдении и произнесении слов указывает на более значительную активацию «коммуникативных» зеркальных нейронов у билингвов по сравнению с монолингвами.

Вероятно, это связано с тем, что освоение второго языка сопровождалось у билингвов ростом числа «коммуникативных» зеркальных нейронов в соответствующих зонах коры за счет нейрогенеза.

В пользу этого предположения свидетельствуют и некоторые литературные данные. В частности установлено [9], что через три месяца интенсивных занятий у курсантов (будущих военных переводчиков) достоверно увеличилась толщина коры в нижней лобной извилине, верхней лобной извилине, верхней височной извилине и средней лобной извилине левого полушария. Помимо этого, увеличился объем гиппокампа, причем сильнее всего у тех курсантов, которые достигли наибольших результатов в освоении иностранного языка.

Можно ожидать, что те же процессы – нейрогенез и обучение – наблюдаются и на этапе освоения родного языка.

Полученные результаты и имеющиеся литературные данные [9] указывают на важную роль обучения в формировании системы зеркальных нейронов. Однако, это не исключает возможное влияние наследственных факторов на этот процесс, так как зеркальные нейроны обнаружены только у отдельных видов животных [1, 2] и существует сенситивный период в освоении языка.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, проведённые исследования показали, что наблюдение и произнесение эмоционального и неэмоционального слов на родном (русском) и неродном (английском) языках сопровождалось у билингвов (мужчин и женщин) более выраженной по сравнению с монолингвами (мужчинами и женщинами) активацией «коммуникативных» зеркальных нейронов.

Последнее проявилось в более выраженном снижении спектральной мощности мю-ритма у билингвов по сравнению с монолингвами.

Предполагается, что обнаруженные межгрупповые различия активации зеркальных нейронов обусловлены тем, что освоение второго языка сопровождалось у билингвов ростом числа «коммуникативных» зеркальных нейронов в соответствующих зонах коры за счет нейрогенеза.

Полученные результаты свидетельствуют о важной роли обучения в формировании системы зеркальных нейронов. Однако, это не исключает возможное влияние наследственных факторов на этот процесс.

Список литературы

1. Bonini L. Rotunno C. Mirror neurons 30 years later: implications and applications / Bonini L. Rotunno C., Arcuri E., Gallese V. // Trends in cognitive sciences. – 2022. – Т. 26, № 9. – P. 767–781.
2. Hari E. Ayna nöron sistemi ve fonksiyonlarına klinik yaklaşım / Hari E., Cengiz C., Kılıç F., Yurdakoş E. // Journal of Istanbul Faculty of Medicine. – 2021. – Т. 84, № 3. – P. 430–438.
3. Farina E. Mirror neurons and their relationship with neurodegenerative disorders / Farina E., Borgnis F., Pozzo T. // Journal of Neuroscience Research. – 2020. – Т. 98, № 6. – P. 1070–1094.
4. Heyes C. What happened to mirror neurons? / Heyes C., Catmur C. // Perspectives on Psychological Science. – 2022. – Т. 17, № 1. – P. 153–168.
5. Rizzolatti G. The mirror-neuron system / Rizzolatti G. and Craighero L. // Annual Review of Neuroscience Volume. – 2004. – № 27. – P. 169–192.

6. Аликина М. А. Амплитудно-частотные, топографические, возрастные особенности и функциональное значение сенсомоторного ритма ЭЭГ / М. А. Аликина, С. А. Махин, В. Б. Павленко // Ученые записки Крымского федерального университета имени В. И. Вернадского. Биология и химия. – 2016. – Т. 2, № 2. – С. 3–24.
7. Farina E. Mirror neurons and their relationship with neurodegenerative disorders / Farina E., Borgnis F., Pozzo T. // J. of Neurosci. Research. – 2020. – V. 98, № 6. – P. 1070–1094.
8. Emre H. Ayna nöron sistemi ve fonksiyonlarına klinik yaklaşım / Emre H., Canberk C., Ferhat K., Ertan Y. // Journal of Istanbul Faculty of Medicine. – 2021. – Т. 84, № 3. – P. 430–438.
9. Mårtensson J. Growth of language-related brain areas after foreign language learning / Mårtensson J., Eriksson J., Bodammer N.C., Lindgren M., Johansson M., Nyberg L., Lövdén M. // Neuroimage. – 2012. – Vol. 63, № 1. – P. 240–244. doi: 10.1016/j.neuroimage.2012.06.043

THE SYSTEM OF MIRROR NEURONS – AN INNATE MECHANISM OR A RESULT OF LEARNING?

Skryabina A. A., Bushov Yu. V.

*Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education “National Research Tomsk State University”, Tomsk, Russia
E-mail: skryabina.anastasiya1994@yandex.ru*

The study of the role of mirror neurons in cognitive processes is a pressing problem of modern neuroscience. It is believed that mirror neurons are involved in understanding the goals and intentions of others, in motor imitation and motor learning, motor mimicry, in the implementation of higher cognitive functions (in learning and memory, empathy, social cognition, self-awareness, the formation of a model of the mental state of another person and the implementation of speech), in the perception of time and emotions, emotional communication. However, the origin of mirror neurons remains an open question. Some researchers believe that the mirror neuron system is not an innate mechanism, but is the result of learning. The aim of this study was to test the hypothesis about the important role of learning in the formation of the mirror neuron system.

Methods. The study involved young men and women: monolinguals with an English proficiency level of A1 (elementary) or A2 (pre-intermediate) on the CEFR (Common European Framework of Reference) scale and bilinguals with an English proficiency level of B2 (upper intermediate) or C1 (advanced). Type of bilingualism: sequential and artificial. The participants in the experiment either silently pronounced emotional ("PAIN") and unemotional words ("ONE") in their native (Russian) and non-native (English) languages with their lips alone, or watched the operator pronounce the same words. The words were pronounced by the operator or the subject at the moments when the stopwatch hand on the monitor screen moved through the divisions of 0, 5, 10, etc. seconds. In this case, the stopwatch hand made 5 revolutions. Before and during the activity, the participants' EEG was recorded monopolarly using a 24-channel encephalograph-analyzer "Encephalan-131-03" in the frontal (F3, F4, Fz, F7, F8), central (C3, C4, Cz), temporal (T3, T4, T5, T6), parietal (P3, P4, Pz) and occipital (O1, O2) leads

according to the "10–20 %" system. Leads A1 and A2 were used as referents. When processing the obtained data, spectral power estimates were calculated on short segments of the EEG recording (1.5 s) free of artifacts: 1.5 seconds before the stopwatch arrow crossed the corresponding division (the "preparation" stage for the action), immediately after the stopwatch arrow crossed the division (the "execution" stage of the action) and 1.5 seconds after the stopwatch arrow crossed the division (the "background" stage). The obtained spectral power values were averaged separately for each stage of the activity, for each series and for all subjects. The "MatLab v6.5" package and the Wilcoxon test for related samples were used for statistical data processing.

Results. Bilinguals (men and women) showed a more pronounced decrease in the spectral power of the mu rhythm when observing and pronouncing emotional and non-emotional words in their native and non-native languages compared to monolinguals (men and women), which indicates a more significant activation of "communicative" mirror neurons in bilinguals.

Conclusion. It is assumed that the detected intergroup differences in the activation of mirror neurons are due to the fact that the acquisition of a second language was accompanied by an increase in the number of "communicative" mirror neurons in the corresponding areas of the cortex due to neurogenesis in bilinguals.

The results obtained indicate an important role of learning in the formation of the mirror neuron system. However, this does not exclude the possible influence of hereditary factors on this process.

Keywords: mirror neuron system, mu rhythm, observation and pronunciation of words, neurogenesis, learning.

References

1. Bonini L., Rotunno C., Arcuri E., Gallese V. Mirror neurons 30 years later: implications and applications, *Trends in cognitive sciences*, **26**, **9**, 767 (2022).
2. Hari E., Cengiz C., Kılıç F., Yurdakoş E. Ayna nöron sistemi ve fonksiyonlarına klinik yaklaşım, *Journal of Istanbul Faculty of Medicine*, **84**, **3**, 430 (2021).
3. Farina E., Borgnis F., Pozzo T. Mirror neurons and their relationship with neurodegenerative disorders, *Journal of Neuroscience Research*, **98**, **6**, 1070 (2020).
4. Heyes C., Catmur C. What happened to mirror neurons? *Perspectives on Psychological Science*, **17**, **1**, 153 (2022).
5. Rizzolatti G., Craighero L. The mirror-neuron system, *Annual Review of Neuroscience*, **27**, 169 (2004).
6. Alikina M. A., Makhin S. A. and Pavlenko V. B. EEG sensorimotor rhythm: amplitude, frequency, topography, age-dependency and functional meaning, *Scientific Notes of V. I. Vernadsky Crimean Federal University. Biology and chemistry*, **2** (**2**), **3** (2016).
7. Farina E., Borgnis F., Pozzo T. Mirror neurons and their relationship with neurodegenerative disorders, *J. of Neurosci. Research*, **98**, **6**, 1070 (2020).
8. Emre H., Canberk C., Ferhat K., Ertan Y. Ayna nöron sistemi ve fonksiyonlarına klinik yaklaşım, *Journal of Istanbul Faculty of Medicine*, **84**, **3**, 430 (2021).
9. Mårtensson J., Eriksson J., Bodammer N. C., Lindgren M., Johansson M., Nyberg L., Lövdén M. Growth of language-related brain areas after foreign language learning, *Neuroimage*, **63**, **1**, 240 (2012). doi: 10.1016/j.neuroimage.2012.06.043

УДК 612.88: 159.935

DOI 10.29039/2413-1725-2025-11-1-170-178

НЕЗАВИСИМОСТЬ ЛАТЕНТНОГО ПЕРИОДА ПРОСТОЙ ТАКТИЛЬНО-МОТОРНОЙ РЕАКЦИИ ОТ ПРЕДСОЗНАТЕЛЬНОЙ КОМПОНЕНТЫ ОЩУЩЕНИЯ В УСЛОВИЯХ ОБРАТНОЙ МАСКИРОВКИ

Соболев В. И., Новак Р. Е.

*Гуманитарно-педагогическая академия (филиал) ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет имени В. И. Вернадского», Ялта, Республика Крым, Россия
E-mail: v.sobolev@mail.ru*

Модель последовательной обратной тактильной маскировки тестового стимула стимулом-маскером применима при исследовании механизмов сопряжения процессов формирования ощущения и реализации сенсомоторных реакций. Эффект полной (100 %) маскировки надежно реализуется при следующих значениях ее параметров: длительность тестового стимула 20 мс, стимула-маскера 70 мс, критическое значение асинхронии включения стимула SOA 25 мс. Простая тактильно-моторная реакция в парадигме последовательной обратной тактильной маскировки всегда инициируется первым, тестовым стимулом, а ее запуск осуществляется вне связи с формированием осознанного тактильного ощущения.

Ключевые слова: обратная маскировка, «Fehrer-Raab effect», тактильно-моторные реакции, латентный период.

ВВЕДЕНИЕ

В физиологии сенсорных систем и психологии восприятия проблема формирования осознанного ощущения представляет как теоретический, так и практический интерес [1–3]. Одним из методологических подходов к ее решению является метод последовательной обратной маскировки. Первые достоверные инструментальные исследования, проведенные в этом направлении, были выполнены Элизабет Ферер и Давидом Раабом [4]. Авторы установили, что значение латентного периода реакции на тестовый световой стимул в условиях обратной маскировки не отличалось от времени реакции в условиях без использования световой маскировки («Fehrer – Raab effect»). Был сделан вывод о том, что для реализации зрительно-моторной реакции в условиях обратной маскировки не требуется формирование осознанного ощущения. Детали этого явления были изучены в многочисленных работах разных авторов [5–7]. Однако практически все они были посвящены исследованию световой обратной маскировки [8–10]. В стороне остались другие типы сенсомоторных реакций, в частности тактильной.

Изучение тактильного анализатора осложняется рядом обстоятельств, прежде всего, многофункциональностью этого анализатора, обусловленной сложной

морфофункциональной организацией тактильных рецепторов, а также методическими трудностями, связанными с техническими требованиями к тактильному стимулятору. В рамках парадигмы исследования механизмов формирования тактильного ощущения в условиях обратной маскировки представляется важным количественное измерение ряда ее параметров, в частности, таких как критическое время асинхронии включения стимулов (stimulus onset asynchrony, $SOA_{\text{крит.}}$). Этот показатель отражает длительность периода абсолютной уязвимости процесса формирования осознанного ощущения (в нашем случае формирование ощущения тестового тактильного стимула).

Целью работы явилось измерение основных параметров последовательной обратной маскировки в ходе выполнения тактильно-моторной реакции.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Исследования проводились с участием 9 студентов-добровольцев Гуманитарно-педагогической академии (филиал) ФГАОУ ВО «КФУ им. В. И. Вернадского» в г. Ялте возрастом от 19 до 20 лет.

При исследовании эффектов обратной маскировки использовался классический алгоритм эксперимента [5], суть которого заключалась в последовательной тактильной стимуляции тестовым стимулом (ТС) и следующим за ним стимулом-маскером (СМ). Стимулы предъявлялись последовательно с регулируемым интервалом межстимульного времени от начала ТС до начала СМ. Такой интервал получил название [5] асинхронии включения стимулов (stimulus onset asynchrony, SOA). Такой алгоритм опыта в дальнейшем позволил определить важный параметр обратной маскировки – «критическое время асинхронии включения стимулов, $SOA_{\text{крит.}}$ ».

В экспериментальной установке использовался тактильный стимулятор на основе соленоида типа КК-0530В и шагового двигателя, выполнявшего роль микровинта. К подвижному сердечнику соленоида для нанесения тактильного стимула крепился металлический стержень площадью сечения 1 мм^2 . Длительность стимулов определялась экспериментатором с помощью DDS-генератора прямоугольных импульсов (FY6900-30M), а SOA-интервал устанавливался с помощью схемы задержки импульса. Для исключения нежелательного звукового эффекта соленоид звукоизолировался, а испытуемый работал в наушниках, подключенных к источнику белого шума.

В ходе опыта при срабатывании соленоида металлический стержень поднимался вверх и касался внутренней поверхности первой фаланги безымянного пальца (тут же появлялась отметка на записи), после чего испытуемый в случае появления тактильного ощущения максимально быстрым скользящим движением указательного пальца той же руки замыкал электрическую цепь (функция кнопки «Стоп»), что сопровождалось появлением на электронной записи еще одной отметки (начало моторного ответа, Рис. 1). В последующем, после соответствующих курсорных измерений на сохраненной цифровой записи электронного USB-самописца (ADClab, S-Recorder-L, Россия) точно измерялась длительность SOA-интервал, а также латентный период тактильно-моторной реакции.

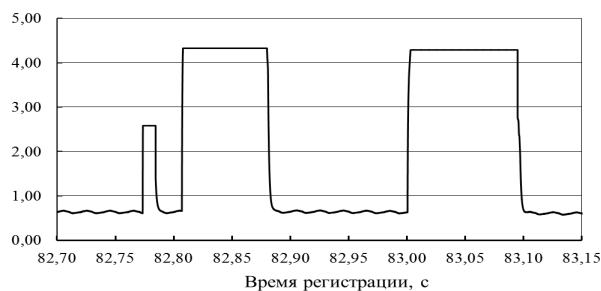


Рис. 1. Образец записи-оригинала тактильно-моторной реакции в ответ на стимуляцию дистальной фаланги безымянного пальца

Обозначения: первая отметка (слева – направо) – тактильный тестовый стимул; вторая отметка – тактильный стимул-маскер; третья отметка – начало отметки указывает на момент остановки секундомера; длительность тактильного стимула равна 20 мс; длительность тактильного стимула-маскера 70 мс; SOA-интервал 40 мс; латентный период реакции составил 235 мс; при построении рисунка на основе оригинальной цифровой записи (alf-файл) применялась программа Excel.

измеряли латентный период (ЛП) простой тактильно-моторной реакции (ТМР, $n=10$). Во всех случаях длительность ТС составляла 20 мс.

В эксперименте № 2 находили параметры стимуляции, при которых эффект полной обратной маскировки тестового стимула стимулом-маскером вначале развивался, а затем полностью исчезал. Стимулы предъявлялись последовательно при разных значениях SOA. В ходе исследования испытуемые должны были безальтернативно идентифицировать возникновение тактильного ощущения и максимально быстро фиксировать кнопку «СТОП», что приводило к остановке электронного секундомера и появлению отметки на электронной цифровой записи (рис. 1). Алгоритм опыта был следующим. Первоначально устанавливали значение длительности ТС и СМ соответственно на уровне 20 мс и 70 мс при SOA равном 20 мс, т. е. стимул-маскер предъявлялся сразу же после завершения действия первого тестового стимула. В этом случае наблюдался эффект полной маскировки (100 %) и испытуемый ощущал только один тактильный стимул. Тактильно-моторная реакция при этом не активировалась. Затем длительность интервала SOA при неизменной длительности ТС последовательно каждый раз увеличивали до 25, 30, 35, 40, 50, 60, 80 и 100 мс до тех пор, пока испытуемый не начинал четко идентифицировать уже два тактильных стимула – ТС и СМ (эффект маскировки на каком то этапе полностью исчезал). Этот момент наступал при определенном значении SOA-интервала, который соответствовал критическому времени асинхронии включения стимулов, $SOA_{крит}$. Количество предоставляемых попыток в

В подготовительном периоде выбрали интенсивность тактильного раздражения для ТС и СМ, которая определялась не столь длительностью стимуляции, сколько амплитудой движения тактильного стержня. Последняя устанавливалась путем изменения тока стимуляции соленоида. В случае с ТС амплитуда движения тактильного стержня составила 0,5 мм (немного выше пороговой величины), а в случае со стимулом-маскером 2 мм (интенсивный стимул). Предварительно кончик тактильного стержня с помощью шагового двигателя подводился возможно ближе к коже пальца.

В эксперименте № 1 (тактильная маскировка не использовалась) первоначально

каждом тесте-варианте при оценке факта «есть маскировка/нет маскировки» составляло 20 с паузами между очередным измерением от 4 до 7 с.

Статистическая обработка данных. Оценку статистической значимости различий между сравниваемыми выборками осуществляли с использованием t-критерия Стьюдента для вариационных рядов с разной дисперсией, а также с использованием двухвыборочного F-теста для дисперсий. Значения $p < 0,05$ рассматривали как статистически значимые. С помощью регрессионного и корреляционного анализа оценивали характер зависимости между значением SOA-интервала и латентным периодом тактильно-моторной реакции.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Эксперимент № 1. На первом этапе анализа результатов представляют интерес данные измерения параметров простой тактильно-моторной реакции в условиях «Без маскировки» (табл.). Как видно из таблицы, латентный период составил $229 \pm 1,5$ мс при небольшой дисперсии выборки. Это свидетельствует о легкой идентификации испытуемыми факта предъявления тактильного стимула. В последующем эти данные послужат точкой отсчета степени отклонения вновь измеренного ЛП в динамике развития и угасания полной обратной маскировки.

Таблица

**Зависимость латентного периода тактильно-моторной реакции (мс)
и эффективности обратной последовательной маскировки (в %)
у испытуемых от длительности SOA-интервала**

Параметры стимуляции (ТС–МС–SOA), мс	Латентный период тактильно-моторной реакции, мс	Показатель степени полной маскировки, (%)
	Среднее, ошибка средней и (дисперсия)	
20 - 0 - 0 (Без маскировки)	$229 \pm 1,5$ (21)	-
20 - 70 - 20	-	100 %
20 - 70 - 25	-	100 %
20 - 70 - 30	$297 \pm 11,4$ (815)* ^{##}	70 %
20 - 70 - 35	$277 \pm 4,3$ (212)* ^{##}	30 %
20 - 70 - 40	$254 \pm 0,9$ (16) *	0
20 - 70 - 50	$246 \pm 1,0$ (20) *	0
20 - 70 - 60	$243 \pm 1,1$ (25) *	0
20 - 70 - 80	$231 \pm 0,8$ (12)	0
20 - 70 - 100	$229 \pm 0,9$ (17)	0

Примечание: * – различия статистически значимы ($p < 0,05$) по отношению к значению латентного периода, измеренного в условиях «Без маскировки»; ^{##} – по результатам использования двухвыборочного F-тест для дисперсий различия между дисперсиями выборок статистически значимы ($p < 0,05$) по отношению к значению в условиях «Без маскировки».

Эксперимент № 2. На следующем этапе исследования латентный период тактильно-моторной реакции определяли на фоне помехи, создаваемой тактильным стимулом-маскером (табл.). Следует напомнить, что стимул-маскер предъявлялся испытуемому вслед за тестовым стимулом с последовательно изменяющимся SOA-интервалом. Как следует из таблицы, при значениях SOA, равных 20 и 25 мс, испытуемый не мог идентифицировать два отдельных тактильных стимула, ощущая их как один (полная последовательная маскировка тестового стимула стимулом-маскером, степень маскировки 100 %). В связи с этим тактильно-моторная реакция им не запускалась.

При удлинении SOA-интервала до 30 мс в 70 % случаев (14 проб из 20) у испытуемого тактильное ощущение все еще не формировалось (т. е. сохранялась 100 % маскировка), но в 30 % случаев (в 6 из 20) испытуемый начинал различать не один тактильный стимул, а два, что вызывало запуск тактильно-моторной реакции. Латентный период в этот момент составлял $297 \pm 11,4$ мс при очень высокой степени вариабельности (дисперсии). При значении SOA 35 мс ЛП составил уже $277 \pm 4,3$ мс. Полная маскировка в этом случае наблюдалась в 30 % случаев. После удлинения SOA-интервала до 40, 50 и 45 мс латентный период реакции еще более укорачивался, но все еще был длиннее, чем в условиях «Без маскировки». Наконец, при SOA-интервале 60–100 мс скорость тактильно-моторной реакции уже статистически значимо ($p < 0,05$) не отличалась значений ЛП в опытах без использования маскировки.

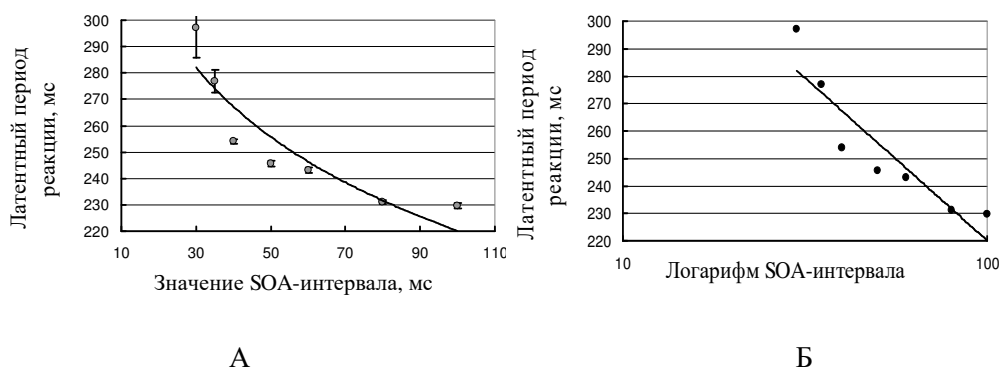


Рис. 2. Характер зависимости латентного периода тактильно-моторной реакции (мс) от значения SOA-интервала в шкале прямых (А) и логарифмических (Б) единиц.

Одной из задач настоящей работы явился вопрос о характере зависимости между длительностью SOA-интервала и значением латентного периода тактильно-моторной реакции. Такого рода зависимости принято описывать кривой «сила – эффект». На рис. 2 в графическом виде изображены кривые зависимости «SOA-ЛП». Обращает на себя особое внимание график на рис. 2,Б, где шкала абсцисс представлена в логарифмическом виде и отображает значение SOA-интервала в диапазоне 30–100 мс, т.е. в пределах постепенного угасания эффекта полной

обратной маскировки. Соответствующее уравнение, имеющее одинаковый вид для Рис. 2,А и Рис. 2Б, приведено ниже:

$$\text{ЛП} = 457 - 51,5 \ln(\text{SOA})$$

при высоком значении коэффициента достоверности аппроксимации кривой ($R^2 = 0,84$).

Если принять за аксиому то, что интенсивность тактильного стимула коррелирует с продолжительностью SOA-интервала, а выраженность тактильного ощущения отражается в латентном периоде тактильно-моторной реакции, то характер зависимости «сила – эффект» имеет в логарифмической шкале вид прямой линии, т.е. в исследуемом диапазоне SOA-интервалов соответствует закону Вебера-Фехнера, согласно которому сила ощущения пропорциональна логарифму интенсивности раздражителя [11]. Следует принять во внимание, что в нашем случае, чем меньше латентный период, тем больше скорость сенсомоторной реакции, или тем более выражен физиологический эффект.

Результаты исследований позволяют определить такой важный параметр обратной маскировки, как «критическое время асинхронии включения стимулов, $\text{SOA}_{\text{крит}}$ ». Этот показатель отражает длительность периода абсолютной уязвимости процесса формирования осознанного ощущения (в нашем случае формирование ощущения тестового стимула), который в наших экспериментах составил 25 мс; при длительности SOA-интервала более 25 мс маскировка начинала угасать, а при 40 мс полностью исчезала. Можно полагать, что в данном случае имел место процесс прерывания цепочки формирования тактильного ощущения, т.е. запуск простой тактильно-моторной реакции носил бессознательный характер. Следовательно, для реализации простой тактильно-моторной реакции не требовалось формирование тактильного ощущения. Такой феномен, но в отношении простой зрительно-моторной реакции, был описан ранее и получил название «Ферер-Рааб-феномена» [4]. Механизм прерывания цепочки формирования ощущения при обратной маскировке представляет самостоятельный интерес и требует отдельных исследований. Отметим, что в настоящее время предложено несколько десятков гипотез, объясняющих эффект обратной маскировки [12–14].

Факт выполнения тактильно-моторной реакции вне зависимости от формирования соответствующего ощущения свидетельствует о том, что механизм ее реализации и механизм формирования ощущения разобщены как во времени проявления, так и в отношении структур мозга, координирующих эти процессы. Можно полагать, что существует укороченный отдельный скоростной тракт, используемый для простого обнаружения тактильного стимула и необходимости его осознания. С другой стороны, предполагается существование отдельного пути, предназначенного для формирования осознанного тактильного ощущения. Оба механизма функционируют параллельно, но с разной латентностью, а в условиях обратной маскировки скоростной механизм простого обнаружения сигнала функционирует сугубо изолированно, не предполагая неременного формирования осознанного ощущения.

Бессознательная реакция на тестовый стимул предполагает участие отдельной функциональной системы, обеспечивающей реализацию всего комплекса тактильно-моторного ответа. Мы полагаем, что такая функциональная система, вернее ее шаблон, хранится в сенсорной памяти и сформирована ранее на основании предшествующего

индивидуального эмпирического опыта. В ходе словесной установки экспериментатора в виде описания алгоритма поведенческой реакции испытуемого такого рода функциональная система корректируется в соответствии с новыми условиями ее выполнения, несколько раз (5–10) апробируется в процессе начального цикла обучения, закрепляясь в оперативной памяти, переходит в режим активного ожидания, а в случае предъявления тактильного стимула запускается по принципу триггера. Однако обсуждаемый аспект проблемы нейрофункциональной организации «Ферер-Рааб-феномена» в условиях обратной маскировки является отдельной задачей и требует фундаментальных исследований нейрофизиологического характера [3, 14–16].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Модель обратной тактильной маскировки тестового стимула стимулом-маскером применима при исследовании механизмов сопряжения процессов формирования ощущения и реализации сенсомоторных реакций. Эффект полной (100 %) маскировки надежно реализуется при следующих значениях ее параметров: длительность тестового стимула 20 мс, стимула-маскера 70 мс, диапазон асинхронии включения стимулов (SOA) до 25 мс. В диапазоне значений SOA от начальной величины до 35 мс степень проявления полной маскировки снижается до 30 %, а при SOA, равном 40 мс, полностью исчезает.

Вычисленное критическое значение асинхронии включения стимула SOA (25 мс) указывает на относительно короткую длительность фазы абсолютной уязвимости процесса формирования осознанного тактильного ощущения в центральных структурах тактильного анализатора на стадии консолидации следов тактильного стимула.

Простая тактильно-моторная реакция в парадигме последовательной обратной тактильной маскировки всегда инициируется первым, тестовым стимулом, а ее запуск осуществляется вне связи с формированием осознанного тактильного ощущения.

Список литературы

1. Есаков А. И. Нейрофизиологические основы тактильного восприятия, М., 1971, библиогр.; Ильинский О. Б. Физиология механорецепторов, Л., 1975; Физиология сенсорных систем, под ред. А. С. Батуева, Л., 1976.
2. Современная экспериментальная психология: В 2 т. / Под ред. В. А. Барабанщикова. – М.: Изд-во «Институт психологии РАН», 2011 – Т. 2 – 493 с.
3. Костандов Э. А. Психофизиология сознания и бессознательного. / Костандов Э. А. – СПб.: Питер, 2014. – 167 с.
4. Fehrer E. Reaction time to stimuli masked by metacontrast [Электронный ресурс] / Fehrer E., Raab D. // Journal of Experimental Psychology. – 1962. – Vol. 63, № 2. – P. 143–147. <https://psycnet.apa.org/doi/10.1037/h0040795>
5. Бахманн Т. Психофизиология зрительной маскировки. / Бахманн Т. – Тарту, 1989. – 400 с.
6. Bachmann T. Metacontrast masking of target-area internal contours and target overall surface brightness: the case of mutually coherent and incoherent visual objects [Электронный ресурс] / Bachmann T. // Spatial Vision. – 2009. – Vol. 22, № 2. – P. 127–146. <http://dx.doi.org/10.1163/156856809787465645>
7. Francis G. Quantitative Theories of Metacontrast Masking [Электронный ресурс] / Francis G. // Psychological Review. – 2000. – Vol. 107, № 4. – P. 768–685. <https://psycnet.apa.org/doi/10.1037/0033-295X.107.4.768>

8. Jeffreys D. A. A visual evoked potential study of metacontrast masking / Jeffreys D. A., Musselwhite M. J. // *Vision Research*. – 1986. – Vol. 26. – P. 631–642.
9. Klotz W. Motor activation without conscious discrimination in metacontrast masking [Электронный ресурс] / Klotz W., Neumann O. // *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*. – 1999. – Vol. 25, № 2. – P. 976–992. <http://psycnet.apa.org/doi/10.1037/0096-1523.25.4.976>
10. Соболев В. И. Независимость простой зрительно-моторной реакции от предсознательной компоненты ощущения при обратной маскировке двухцветными стимулами / Соболев В. И. // *Экспериментальная психология*. – 2020. – Т. 13, № 2. – С. 4–16. doi: 10.17759/exppsy.2020130201
11. Fechner G. T. *Elements of psychophysics* / Fechner G. T. – (H.E. Adler, Trans.) New York: Holt, Rinehart and Winston, 1966. (Original work published 1860)
12. Aalderen-Smeets S. I. Investigating neurophysiological correlates of metacontrast masking with magnetoencephalography [Электронный ресурс] / Aalderen-Smeets S. I., Oostenveld R., Schwarzbach J. // *Advances in Cognitive Psychology*. – 2006. – № 2. – P. 21–35. <http://www.ac-psych.org/en/issues/volume/2/issue/1>
13. Breitmeyer B. G. Recent models and findings in visual backward masking: A comparison, review, and update / Breitmeyer B. G., Ogmen H. // *Perception and Psychophysics*. – 2000. – Vol. 62, № 8. – P. 1572–1595.
14. Francis G. Quantitative Theories of Metacontrast Masking [Электронный ресурс] / Francis G. // *Psychological Review*. – 2000. – Vol. 107, № 4. – P. 768–685. <https://psycnet.apa.org/doi/10.1037/0033-295X.107.4.768>
15. Иваницкий А. М. Наука о мозге на пути к решению проблемы сознания / Иваницкий А. М. // *Вестник РАН*. – 2010. – Т. 80, № 5, 6. – С. 447–455.
16. Aalderen-Smeets S. I. Investigating neurophysiological correlates of metacontrast masking with magnetoencephalography [Электронный ресурс] / Aalderen-Smeets S. I., Oostenveld R., Schwarzbach J. // *Advances in Cognitive Psychology*. – 2006. – № 2. – P. 21–35. <http://www.ac-psych.org/en/issues/volume/2/issue/1>

THE INDEPENDENCE OF THE LATENT PERIOD OF A SIMPLE TACTILE-MOTOR REACTION FROM THE PRECONSCIOUS COMPONENT OF SENSATION DURING OF BACKWARD MASKING

Sobolev V. I., Novak R. E.

*V. I. Vernadsky Crimean Federal University, Republic of Crimea, Yalta, Russia
E-mail: v.sobolev@mail.ru*

In the physiology of sensory systems and the psychology of perception, the problem of forming a conscious sensation is of both theoretical and practical interest. One of the methodological approaches to its solution is the method of successive reverse masking. The aim of the work was to measure the main parameters of sequential reverse masking during the execution of a tactile-motor reaction.

Method. The research was conducted with the participation of 9 student volunteers. Using a tactile stimulator and an electronic stopwatch, the latent period of the tactile-motor reaction was measured during successive backward masking. During the experiment, the subjects found the stimulation parameters at which the effect of complete backward masking of the test stimulus by the masker stimulus first developed and then completely disappeared. The stimuli were presented sequentially at different values of stimulus onset asynchrony (SOA).

Results. The model of sequential backward tactile masking of a test stimulus by a masker stimulus is applicable in studying the mechanisms of coupling the processes of sensation formation and the implementation of sensorimotor reactions. The effect of complete (100 %) masking is reliably realized with the following values of its parameters: the duration of the test stimulus is 20 ms, the masker stimulus is 70 ms, the critical value of asynchrony of the stimulus inclusion SOA is 25 ms.

Conclusion. A simple tactile-motor reaction in the paradigm of sequential backward tactile masking is always initiated by the first, test stimulus, and its launch is carried out independently of the formation of a conscious tactile sensation. The nature of the dependence “intensity of tactile stimulus – latent period” has the form of a straight line in the logarithmic scale, i.e. in the studied range of SOA intervals it corresponds to the Weber-Fechner law.

Keywords: backward masking, "Fehrer-Raab effect", tactile-motor reactions, latent period.

References

1. Esakov A. I. *Neurophysiological Foundations of Tactile Perception*, (Moscow, 1971). (In Russ.).
2. Modern experimental psychology: In 2 volumes / Ed. by V. A. Barabanshchikov, M.: Publishing house Institute of Psychology of the Russian Academy of Sciences, 2, 493 (2011). (In Russ.).
3. Kostandov E. A. *Psikhofiziologiya soznaniya i bessoznatel'nogo*, (SPb. : Piter, 2014, p.167).
4. Fehrer E., Raab D. Reaction time to stimuli masked by metacontrast, *Journal of Experimental Psychology*, **63**(2), 143 (1962). <https://psycnet.apa.org/doi/10.1037/h0040795>
5. Bachmann Talis. *Psychophysiology of visual masking*, (Tartu, 1989. 400 p.). (In Russ.).
6. Bachmann T. Metacontrast masking of target-area internal contours and target overall surface brightness: the case of mutually coherent and incoherent visual objects, *Spatial Vision*, **22** (2), 127 (2009). <http://dx.doi.org/10.1163/156856809787465645>
7. Francis G. Quantitative Theories of Metacontrast Masking, *Psychological Review*, **107** (4), 768 (2000). <https://psycnet.apa.org/doi/10.1037/0033-295X.107.4.768>
8. Jeffreys D. A., Musselwhite M. J. A visual evoked potential study of metacontrast masking, *Vision Research*, **26**, 631 (1986).
9. Klotz W., Neumann O. Motor activation without conscious discrimination in metacontrast masking, *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, **25**(2), 976 (1999). <http://psycnet.apa.org/doi/10.1037/0096-1523.25.4.976>
10. Sobolev V. I. The Independence of a Simple Visual-Motor Reaction from the Preconscious Component of Sensation during Backward Masking by Two-Color Stimuli, *Experimental Psychology*, **13**(2), 4 (2020).
11. Fechner G. T. Elements of psychophysics (H.E. Adler, Trans.) New York: Holt, Rinehart and Winston, 1966. (Original work published 1860).
12. Aalderen-Smeets S. I., Oostenveld R., Schwarzbach J. Investigating neurophysiological correlates of metacontrast masking with magnetoencephalography, *Advances in Cognitive Psychology*, **2**, 21 (2006). <http://www.ac-psych.org/en/issues/volume/2/issue/1>
13. Breitmeyer B. G., Ogmen H. Recent models and findings in visual backward masking: A comparison, review, and update, *Perception and Psychophysics*, **62**(8), 1572 (2006).
14. Francis G. Quantitative Theories of Metacontrast Masking, *Psychological Review*, **107**(4), 768 (2000). <https://psycnet.apa.org/doi/10.1037/0033-295X.107.4.768>
15. Ivanitskij A. M. Nauka o mozge na puti k resheniyu problemy soznaniya. *Vestnik RAN*, **80**(5-6), 447 (2010). (In Russ.).
16. Aalderen-Smeets S. I., Oostenveld R., Schwarzbach J. Investigating neurophysiological correlates of metacontrast masking with magnetoencephalography, *Advances in Cognitive Psychology*, **2**, 21 (2006). <http://www.ac-psych.org/en/issues/volume/2/issue/1>

УДК 581.1:546.62

DOI 10.29039/2413-1725-2025-11-1-179-188

РЕАКЦИЯ ОВСА ПОСЕВНОГО НА ПРИСУТСТВИЕ НАНОЧАСТИЦ АЛЮМИНИЯ В ПИТАТЕЛЬНОМ СУБСТРАТЕ

Сытников Д. М.¹, Мусса А.², Губарев Ф. А.¹

¹Севастопольский государственный университет, Севастополь, Россия

²Томский политехнический университет, Томск, Россия

E-mail: sytnikov@list.ru

В условиях вегетационного опыта изучена реакция овса посевного (*Avena sativa* L.) на присутствие в субстрате выращивания растений наночастиц алюминия. Показано, что под действием наночастиц у овса изменяется содержание фотосинтетических пигментов в листьях, указывающее на перестройку адаптационных механизмов растения. При прохождении основных фаз развития, у овса, выращенного в присутствии возрастающих доз наночастиц (10, 100 и 1000 мг/кг), в листьях и корнях растений отмечается снижение активности каталазы и повышение активности пероксидазы, обусловленные реакцией растительного организма на стресс. Установлено, что содержание в субстрате выращивания овса посевного наночастиц в концентрации 1000 мг/кг приводит к снижению массы корней в фазу кущения, а также надземной массы растений в фазах кущения, колошения и молочной спелости. При этом высота растений, длина соцветий, количество и масса зёрен также снижаются, что свидетельствует об отрицательном воздействии высоких концентраций наночастиц алюминия на продукционный процесс.

Ключевые слова: *Avena sativa* L., наночастицы алюминия, фотосинтетические пигменты, антиоксидантные ферменты, структура урожая, продуктивность растений.

ВВЕДЕНИЕ

Исследования, посвящённые вопросам взаимодействия растений с наночастицами, ведутся в течение последних двух десятилетий. Их появление во многом связано с возрастающим интересом к нанотехнологиям и возможными нежелательными экологическими эффектами от поступления наночастиц в окружающую среду [1]. За указанный период опубликован ряд работ о влиянии наночастиц, в том числе металлов, на растительный организм, при этом отличительной особенностью таких сообщений остаётся их противоречивость. По-прежнему нерешёнными остаются и вопросы, связанные с обеспечением биобезопасности.

Химическая природа, размер, форма, поверхностный заряд и концентрация относятся к основным факторам, обуславливающим процессы внутриклеточного проникновения наночастиц [2]. Следует отметить, что токсичность ионов металлов превосходит таковую у наночастиц. В свою очередь воздействие наночастиц металлов и их оксидов на биологические системы отличается от влияния частиц ещё больших размеров [3].

Предполагается возможное отрицательное воздействие наночастиц металлов на окружающую среду, в то же время механизмы таких эффектов и их долгосрочные последствия для живых организмов изучены мало. При этом одним из самых востребованных металлов в хозяйственной деятельности человека является алюминий, он широко используется в качестве компонента высокоэнергетических материалов в виде нанопорошков.

Алюминий не является тяжёлым металлом и широко распространён в земной коре, его физиологические функции в растительном организме до конца неясны [4]. Современные методы [5] позволяют определять локализацию металлов в органах, а также идентифицировать наночастицы на субклеточном уровне и определять их цитотоксичность. Недостаточно изученной остаётся направленность влияния различных концентраций наночастиц, в том числе алюминия [6–8], на рост и развитие растений, механизмы их морфологических, клеточных и молекулярных изменений. Цель настоящей работы – изучить физиолого-биохимические особенности развития овса посевного (*Avena sativa* L.), испытывающего присутствие различных концентраций наночастиц алюминия в субстрате выращивания.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Объектом исследования служили растения овса посевного (*Avena sativa* L.) сорта Скакун, который отличается устойчивостью к засухе, полеганию, осыпанию зерна, а также к поражению корончатой ржавчиной и пыльной головнёй. Овёс посевной, имеет высокую отзывчивость к токсикантам и используется для проведения фитотестирования, поскольку даёт наиболее стабильные и воспроизводимые результаты по сравнению с другими культурами. Кроме того, овёс официально рекомендован в качестве тест-культуры для определения токсичности техногенно загрязнённых почв [9]. В работе также использовали нанопорошок алюминия (наночастицы), полученный методом электрического взрыва проводника, с распределением частиц по размерам, близким к нормальному логарифмическому с максимумом 100 нм.

Вегетационные исследования проводили в условиях модельных опытов на фитотроне при влажности субстрата 60 % и освещённости не менее 20 тыс. люкс (lx) при температуре воздуха 22–24 °С и относительной влажности в пределах 70 %. На питательный субстрат в 7-килограммовых сосудах Вагнера высевали по 30 семян и после прорывки выращивали по 15 растений. В качестве субстрата использовали промытый речной песок с внесением минеральной питательной смеси по Гельригелю, содержавшей полную норму азота (1 норма соответствует 708 мг $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 \times 4 \text{H}_2\text{O}$ на 1 кг песка) и микроэлементы. В песчаный субстрат также вносили наночастицы алюминия в концентрациях 10, 100 и 1000 мг/кг. Контролем служили растения, выращенные на субстрате без использования наночастиц. Повторность опыта четырёхкратная. Биометрические показатели и массу сырого вещества корней и надземной части растений определяли в десятикратной повторности.

Растения для определения физиолого-биохимических показателей и учёта продуктивности отбирали в фазах 2-х листьев, кущения, колошения, молочной и полной спелости. Для измерений были взяты пробы корней, а также листьев без видимых признаков старения, которые отбирали из средних ярусов трёх-четырёх рандомизированных растений одного варианта.

Определение содержания фотосинтетических пигментов производили по методике Веллбурна [10]. Хлорофиллы и каротиноиды экстрагировали диметилсульфоксидом (на 0,1 г растительного материала 10 мл ДМСО) из высечек листьев, после чего измеряли оптическую плотность раствора на фотоэлектроколориметре (Фотометр КФК-3-01; АО «ЗОМЗ», Россия) при 480, 649 и 665 нм в кювете толщиной 1 см.

Активность антиоксидантных ферментов определяли в растительном материале, который растирали, растворяли в дистиллированной воде и отфильтровывали. Пероксидазную активность определяли методом [11], основанным на измерении времени, за которое опытный раствор достигает необходимой оптической плотности (Фотометр КФК-3-01). В качестве субстрата использовали бензидин, в результате окисления которого образуется соединение синего цвета. Активность пероксидазы (КФ 1.11.1.7) выражали в единицах оптической плотности на грамм сырой массы растительного материала в секунду ($\Delta D_{670} \cdot \text{г}^{-1} \cdot \text{с}^{-1}$). Активность каталазы (КФ 1.11.1.6) определяли газометрическим методом [11] по объёму выделенного кислорода и выражали в $\text{мл O}_2 \cdot \text{г}^{-1} \cdot \text{мин}^{-1}$.

Статистическую обработку полученных данных производили по Доспехову [12]. В таблицах и в тексте представлены средние арифметические и стандартные ошибки. Достоверность разницы значений «*» оценивали путём определения существенности различий между выборками по НСР, используя 5 % уровень значимости ($P \leq 0,05$).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

В ходе вегетационного опыта изучали влияние различных концентраций наночастиц алюминия (10, 100 и 1000 мг/кг) в среде выращивания овса посевного (*Avena sativa* L.). Из данных таблицы 1 следует, что достоверные изменения в накоплении растениями вегетативной массы отмечались в онтогенезе только при использовании максимальных концентраций наночастиц алюминия. Так, содержание в субстрате 1000 мг/кг наночастиц приводило к снижению массы корней в фазу кущения, а также надземной массы растений в фазах кущения, колошения и молочной спелости.

Известно, что различные токсиканты могут изменять нормальное протекание физиолого-биохимических процессов у растений, включая фотосинтез. Содержание фотосинтетических пигментов часто используют в качестве индикатора воздействия загрязняющих веществ. Качественный и количественный состав пигментного комплекса растений рассматривают в качестве показателя их приспособленности к условиям окружающей среды. Результаты опыта показали (табл. 2), что внесение наночастиц алюминия в субстрат выращивания овса посевного в концентрациях 100 и 1000 мг/кг может приводить к снижению содержания хлорофиллов *a* и *b* в листьях

на ранних фазах развития растений. При этом в фазу колошения и молочной спелости было отмечено достоверное увеличение количества как хлорофиллов *a* и *b*, так и каротиноидов, в вариантах с использованием наночастиц алюминия в концентрации 100 мг/кг. Поскольку реакция растений на стресс имеет многофазный характер [13], фаза нарушения гомеостаза и снижения содержания пигментов фотосинтеза иногда может сменяться так называемой парадоксальной фазой, в которой включаются свои адаптационные механизмы, и количество пигментов при этом возрастает.

Таблица 1

Динамика формирования вегетативной массы (г/растение) овса посевного (*Avena sativa* L.) на субстрате, содержащем различные концентрации наночастиц алюминия

Концентрация наночастиц, мг/кг	Фаза развития растений			
	Кущение		Колошение	Молочная спелость
	надземная масса	масса корня	надземная масса	
0 (контроль)	0,45 ± 0,05	0,70 ± 0,13	1,62 ± 0,19	1,39 ± 0,16
10	0,44 ± 0,06	0,84 ± 0,13	1,69 ± 0,19	1,55 ± 0,18
100	0,40 ± 0,07	0,81 ± 0,14	1,29 ± 0,16	1,57 ± 0,18
1000	0,33 ± 0,04*	0,46 ± 0,04*	1,01 ± 0,11*	0,91 ± 0,11*

Примечание: «*» – разница достоверна в сравнении с контролем.

У большинства изученных видов наземных растений величина соотношения хлорофилла *a* к хлорофиллу *b* (*a/b*) находится в пределах 2,0–3,5 [14]. Изменения в соотношении пигментов могут зависеть от техногенной нагрузки, химического состава поллютантов, видовой принадлежности растения [4] и свидетельствуют о преимущественном разрушении одного из них или активации синтеза других. Внесение в субстрат выращивания овса полевого наночастиц алюминия не приводило к значительным отклонениям в соотношении пигментов. Так, в основных фазах развития овса посевного (кущение, колошение, молочная спелость) соотношение хлорофиллов (*a/b*) находилось в пределах 2,1–3,2.

Повышение содержания каротиноидов у овса в вариантах с использованием наночастиц алюминия в концентрации 100 и 1000 мг/кг можно связывать с адаптацией растений к условиям выращивания на поздних фазах развития (см. табл. 2).

Известно, что каротиноиды, помимо участия в фотосинтезе, выполняют роль компонентов антиоксидантной системы, составляя защиту от свободных радикалов, которые образуются в результате метаболических реакций в листьях и в других органах растений [15]. Основные функции в регуляторной деятельности клетки выполняют пероксидаза и каталаза, обеспечивающие нормальный ход окислительных процессов при различного рода неблагоприятных воздействиях.

Таблица 2

Содержание фотосинтетических пигментов (мг/г сырой массы) в листьях овса посевного (*Avena sativa* L.), выращенного на субстрате с содержанием различных концентраций наночастиц алюминия

Концентрация наночастиц, мг/кг	Фаза развития растений											
	2-х листьев			Кущение			Колошение			Молочная спелость		
	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>car</i>	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>car</i>	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>car</i>	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>car</i>
0 (контроль)	1,49	0,88	0,10	1,35	0,54	0,26	0,81	0,32	0,13	1,01	0,39	0,11
	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±
	0,12	0,07	0,01	0,18	0,03	0,03	0,09	0,04	0,01	0,11	0,05	0,01
10	1,46	0,81	0,11	1,47	0,51	0,25	0,80	0,32	0,13	1,01	0,42	0,15
	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±
	0,07	0,06	0,01	0,14	0,04	0,03	0,09	0,05	0,01	0,11	0,05	0,01
100	1,39	0,67	0,12	1,46	0,57	0,28	1,21	0,44	0,19	1,47	0,70	0,19
	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±
	0,01	0,03*	0,01	0,06	0,04	0,02	0,15*	0,06*	0,02*	0,15*	0,08*	0,02*
1000	1,16	0,60	0,10	1,36	0,43	0,23	0,97	0,34	0,16	1,13	0,45	0,24
	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±
	0,04*	0,03*	0,01	0,15	0,05	0,07	0,11	0,04	0,02	0,15	0,01	0,03*

Примечание: «*» – разница достоверна в сравнении с контролем.

Изменение качества и активности окислительно-восстановительных ферментов может служить определённым показателем реакции растительного организма на неблагоприятные факторы среды и для оценки приспособления растений к сложившимся условиям существования. Механизм фитотоксического действия наночастиц зачастую связывают [16] с накоплением в тканях растений активных форм кислорода.

Так, при прохождении основных фаз развития, у овса посевного (табл. 3), выращенного в присутствии возрастающих доз наночастиц алюминия (10, 100 и 1000 мг/кг), в листьях растений отмечалось достоверное снижение активности каталазы и повышение активности пероксидазы. Например, минимальные значения активности каталазы ($4,73 \pm 0,60$ мл $O_2 \cdot g^{-1} \cdot min^{-1}$) были зафиксированы в листьях овса в фазу колошения на фоне 1000 мг/кг наночастиц алюминия в субстрате выращивания, что могло служить показателем реакции растительного организма на неблагоприятные внешние воздействия.

Активность антиоксидантных ферментов в корнях овса посевного (табл. 4) была ниже, чем в листьях надземной части растений. С наступлением более поздних фаз развития внесение наночастиц алюминия в любой концентрации приводило к достоверным изменениям изученных ферментов: активность каталазы снижалась, активность пероксидазы – повышалась. Выявленные направления в изменении активности антиоксидантных ферментов в корнях овса в целом совпадали с данными по их активности в листьях растений (см. табл. 3).

Таблица 3
Активность антиоксидантных ферментов надземной массы овса посевного (*Avena sativa* L.), выращенного на субстрате с содержанием различных концентраций наночастиц алюминия

Концентрация наночастиц, мг/кг	Фаза развития растений							
	2-х листьев		Кущение		Колошение		Молочная спелость	
	каталаза ¹⁾	пероксидаза ²⁾	каталаза ¹⁾	пероксидаза ²⁾	каталаза ¹⁾	пероксидаза ²⁾	каталаза ¹⁾	пероксидаза ²⁾
0 (контроль)	16,85 ± 1,75	0,06 ± 0,01	11,63 ± 0,42	0,80 ± 0,08	10,53 ± 1,50	0,43 ± 0,07	20,10 ± 0,09	0,50 ± 0,06
10	14,42 ± 1,85	0,06 ± 0,01	8,73 ± 0,40*	0,64 ± 0,07	7,40 ± 0,36*	0,55 ± 0,05	17,30 ± 1,08*	0,56 ± 0,02
100	12,17 ± 1,90*	0,09 ± 0,01*	8,40 ± 0,53*	0,64 ± 0,08	7,90 ± 0,43*	0,54 ± 0,01*	17,07 ± 1,36*	0,68 ± 0,02*
1000	11,80 ± 0,44*	0,09 ± 0,01*	8,70 ± 0,90*	0,68 ± 0,04	4,73 ± 0,60*	0,62 ± 0,07*	12,83 ± 2,06*	0,91 ± 0,08*

Примечание: ¹⁾мл O₂·г⁻¹·мин⁻¹; ²⁾ΔД₆₇₀г⁻¹·с⁻¹; «*» – разница достоверна в сравнении с контролем.

Таблица 4
Активность антиоксидантных ферментов корней овса посевного (*Avena sativa* L.), выращенного на субстрате с содержанием различных концентраций наночастиц алюминия

Концентрация наночастиц, мг/кг	Фаза развития растений				
	Кущение		Колошение		Молочная спелость
	каталаза ¹⁾	пероксидаза ²⁾	каталаза ¹⁾	пероксидаза ²⁾	каталаза ¹⁾
0 (контроль)	3,15 ± 0,11	0,28 ± 0,08	3,30 ± 0,35	0,10 ± 0,01	2,10 ± 0,22
10	2,80 ± 0,30	0,24 ± 0,01	2,80 ± 0,20	0,13 ± 0,02	1,60 ± 0,18*
100	2,80 ± 0,24	0,37 ± 0,03	2,07 ± 0,30*	0,13 ± 0,01*	1,30 ± 0,11*
1000	2,33 ± 0,26*	0,48 ± 0,05*	1,63 ± 0,17*	0,14 ± 0,02*	1,14 ± 0,12*

Примечание: ¹⁾мл O₂·г⁻¹·мин⁻¹; ²⁾ΔД₆₇₀г⁻¹·с⁻¹; «*» – разница достоверна в сравнении с контролем.

В таблице 5 представлены показатели структуры урожая растений овса посевного. Согласно полученным результатам, высота растений, длина соцветий, количество и масса зёрен достоверно снижались при внесении в субстрат выращивания растений наночастиц алюминия в концентрации 1000 мг/кг, что однозначно свидетельствует об их отрицательном воздействии на продукционный процесс.

Снижение показателей урожая овса посевного (*A. sativa*) согласуется с данными о содержании фотосинтетических пигментов и изменении активности антиоксидантных ферментов, что показывает физиолого-биохимические особенности развития растений, испытывающих присутствие различных концентраций наночастиц алюминия. Таким образом установлено, что при относительно высокой концентрации наночастиц алюминия в субстрате выращивания растений, в отношении овса посевного проявляется фитотоксический эффект.

Таблица 5
Структура урожая овса посевного (*Avena sativa* L.), выращенного на субстрате с содержанием различных концентраций наночастиц алюминия

Концентрация наночастиц, мг/кг	Высота растения, см	Длина соцветия, см	Зерно		
			шт./соцветие	г/сосуд	масса 1000 шт., г
0 (контроль)	67,59 ± 3,18	17,95 ± 1,24	9,45 ± 2,15	2,32 ± 0,30	20,64 ± 2,64
10	67,32 ± 3,56	20,00 ± 1,11	9,44 ± 2,40	1,97 ± 0,18	17,37 ± 1,59
100	64,36 ± 4,18	16,01 ± 1,82	7,54 ± 2,12	1,82 ± 0,20	20,16 ± 2,21
1000	45,05 ± 7,28*	10,90 ± 1,25*	1,5 ± 0,34*	0,24 ± 0,02*	13,3 ± 1,1*

Примечание: «*» – разница достоверна в сравнении с контролем.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Внесение наночастиц алюминия в субстрат выращивания овса посевного (*Avena sativa* L.) в концентрациях 100 и 1000 мг/кг снижает содержание хлорофиллов *a* и *b* в листьях на ранних фазах развития растений. При этом в фазу колошения и молочной спелости увеличивается количество хлорофиллов и каротиноидов в вариантах с использованием наночастиц. Изменения в содержании фотосинтетических пигментов указывают на перестройку адаптационных механизмов растений в присутствии наночастиц алюминия. В основных фазах развития овса посевного (кущение, колошение, молочная спелость) соотношение хлорофиллов (*a/b*) находилось в пределах 2,1–3,2, что свидетельствует о компенсированной в целом работе пигментного комплекса в присутствии наночастиц в субстрате.
2. При прохождении основных фаз развития, у овса посевного, выращенного в присутствии возрастающих доз наночастиц алюминия (10, 100 и 1000 мг/кг), в листьях и корнях растений отмечается достоверное снижение активности каталазы и повышение активности пероксидазы. Выявленные направления в изменении активности антиоксидантных ферментов указывают на реакцию растительного организма по отношению к неблагоприятным факторам среды.

3. Содержание в субстрате выращивания овса посевного наночастиц алюминия в концентрации 1000 мг/кг приводит к снижению массы корней в фазу кущения, а также надземной массы растений в фазах кущения, колошения и молочной спелости. Высота растений, длина соцветий, количество и масса зёрен также снижаются, что свидетельствует об отрицательном воздействии высоких концентраций наночастиц алюминия на продукционный процесс.

Авторы статьи выражают благодарность д.т.н., профессору Томского политехнического университета Мостовщикову А. В. за интерес к работе и нанопорошок алюминия, предоставленный для проведения вегетационных исследований.

Список литературы

1. Colman B. P. Low concentrations of silver nanoparticles in biosolids cause adverse ecosystem responses under realistic field scenario / B. P. Colman, C. L. Arnaout, S. Anciaux [et al.] // PLoS ONE. – 2013. – Vol. 8, Iss. 2. – e57189. – DOI: 10.1371/journal.pone.0057189.
2. Дыкман Л. А. Взаимодействие растений с наночастицами благородных металлов (обзор) / Л. А. Дыкман, С. Ю. Щёголев // Сельскохозяйственная биология. – 2017. – № 1. – С. 13–24. – DOI: 10.15389/agrobiology.2017.1.13rus.
3. Schwab F. Barriers, pathways and processes for uptake, translocation and accumulation of nanomaterials in plants – Critical review / F. Schwab, G. Zhai, M. Kern [et al.] // Nanotoxicology. – 2016 – Vol. 10, Iss. 3. – P. 257–278. – DOI: 10.3109/17435390.2015.1048326.
4. Стасова В. В. Фотосинтетические пигменты в листьях берёзы повислой при техногенном воздействии / В. В. Стасова, Л. Н. Скрипальщикова, Н. В. Астраханцева, А. П. Барченков // Известия вузов. Лесной журнал. – 2023. – № 3. – С. 35–47. – DOI: 10.37482/0536-1036-2023-3-35-47.
5. Khlebtsov N. G. Biodistribution and toxicity of engineered gold nanoparticles: A review of in vitro and in vivo studies / N. G. Khlebtsov, L. A. Dykman // Chem. Soc. Rev. – 2011. – Vol. 40, Iss. 3. – P. 1647–1671. – DOI: 10.1039/c0cs00018c.
6. Yanik F. Toxic effects of aluminum oxide (Al₂O₃) nanoparticles on root growth and development in *Triticum aestivum* / F. Yanik, F. Vardar // Water, Air, and Soil Pollution. – 2015. – Vol. 226, Iss. 9. – P. 296. – DOI: 10.1007/s11270-015-2566-4.
7. Odat N. Genotypic variation in germination and some growth parameters of wheat (*Triticum turgidum* spp. *Durum*) in response to the toxic effect of aluminum oxide (Al₂O₃) nanoparticles / N. Odat // Research on Crops. – 2020. – Vol. 21, Iss. 3. – P. 441–445. – DOI: 10.31830/2348-7542.2020.071.
8. Burklew C. E. Effects of aluminum oxide nanoparticles on the growth, development, and microRNA expression of tobacco (*Nicotiana tabacum*) / C. E. Burklew, J. Ashlock, W. B. Winfrey, B. Zhang // PLoS ONE. – 2012. – Vol. 7, Iss. 5. – e34783. – DOI: 10.1371/journal.pone.0034783.
9. Методика выполнения измерений всхожести семян и длины корней проростков высших растений для определения токсичности техногенно-загрязнённых почв. ФР 1.39.2006.02264. – СПб, 2009.
10. Wellburn A. R. The spectral determination of chlorophylls a and b, as well as total carotenoids, using various solvents with spectrophotometers of different resolutions / A. R. Wellburn // J. Plant Physiol. – 1994. – Vol. 144, No 3. – P. 307–313.
11. Воскресенская О. Л. Большой практикум по биоэкологии. Ч. 1 : учеб. пособие / Мар. гос. ун-т; О. Л. Воскресенская, Е. А. Алябьева, М. Г. Половникова. – Йошкар-Ола, 2006. – 107 с. – ISBN 5-94808-239-3
12. Доспехов Б. А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований) : учебник [для студентов высших с.-х. учеб. заведений по агроном. спец.] / Б. А. Доспехов ; Б. А. Доспехов. – Изд. 6-е, стер., перепеч. с 5-го изд. 1985 г. – М.: Альянс, 2011. – 351 с. – ISBN 978-5-903034-96-3.

13. Шубина А. Г. Сочетанное влияние химических факторов внешней среды на содержание пигментов в проростках гороха посевного *Pisum sativum* / А. Г. Шубина, Л. В. Розенблюм, С. Е. Синютина // Вестник Тамбовского гос. техн. ун-та. – 2023. – Т. 9, № 4. – С. 688–693. DOI: 10.17277/vestnik.2023.04.pp.688-693.
14. Дымова О. В. Фотосинтетические пигменты в растениях природной флоры таёжной зоны европейского северо-востока России / О. В. Дымова, Т. К. Головки // Физиология растений. – 2019. – Т. 66, № 3. – С. 198–206. – DOI: 10.1134/S0015330319030035.
15. Кавеленова Л. М. К методологии экофизиологических исследований листьев древесных растений / Л. М. Кавеленова, Е. В. Малыгина, С. А. Розно, Ю. В. Смирнов // Поволж. экол. журн. – 2008. – № 3. – С. 200–210. – EDN JWOQFX.
16. Wen Y. Co-exposure of silver nanoparticles and chiral herbicide imazethapyr to *Arabidopsis thaliana*: Enantioselective effects / Y. Wen, L. Zhang, Z. Chen [et al.] // Chemosphere. – 2016. – Vol. 145 – P. 207–214. – DOI: 10.1016/j.chemosphere.2015.11.035.

REACTION OF OAT PLANTS TO THE PRESENCE OF ALUMINUM NANOPARTICLES IN THE NUTRIENT SUBSTRATE

Sytnikov D. M.¹, Moussa A.², Gubarev F. A.¹

¹Sevastopol State University, Sevastopol, Russia

²Tomsk Polytechnic University, Tomsk, Russia

E-mail: sytnikov@list.ru

Aluminum is widespread in the earth's crust and is widely used in human economic activity, but its physiological functions in plants have not been fully clarified. The direction of the influence of various concentrations of aluminum nanoparticles on the growth and development of plants, as well as the features of physiological and biochemical processes in them, remain insufficiently studied.

The reaction of common oat (*Avena sativa* L.) to the presence of aluminum nanoparticles in the plant growing substrate was studied under the conditions of a pot experiment. The introduction of aluminum nanoparticles into the substrate at concentrations of 100 and 1000 mg/kg reduces the content of chlorophylls *a* and *b* in the leaves at the early stages of plant development. At the same time, at the heading and milky ripeness stages, the amount of chlorophylls and carotenoids increases in the variants using nanoparticles. Changes in the content of photosynthetic pigments indicate a restructuring of the adaptive mechanisms of plants in the presence of aluminum nanoparticles. In the main stages of oat development (tillering, heading, milky ripeness), the chlorophyll ratio (*a/b*) was within 2.1–3.2, which indicates compensated work of the pigment complex in the presence of nanoparticles in the substrate.

During the main development phases, oats grown in the presence of increasing doses of aluminum nanoparticles (10, 100 and 1000 mg/kg) showed a reliable decrease in catalase activity and an increase in peroxidase activity in the leaves and roots of plants. The identified trends in the change in the activity of antioxidant enzymes indicate the reaction of the plant organism to unfavorable environmental factors.

The content of aluminum nanoparticles in the oat growing substrate at a concentration of 1000 mg/kg leads to a decrease in the root mass in the tillering phase, as

well as the aboveground mass of plants in the tillering, heading and milk ripeness phases. The height of plants, the length of inflorescences, the number and weight of grains also decrease, which indicates a negative impact of high concentrations of aluminum nanoparticles on the production process.

Keywords: *Avena sativa* L., aluminum nanoparticles, photosynthetic pigments, antioxidant enzymes, crop structure, productivity.

References

1. Colman B. P., Arnaout C. L., Anciaux S. [et al.] Low concentrations of silver nanoparticles in biosolids cause adverse ecosystem responses under realistic field scenario, *PLoS ONE*. **8**, 2 (2013). DOI: 2010.1371/journal.pone.0057189.
2. Dykman L. A., Shchyogolev S. Yu. Interactions of plants with noble metal nanoparticles (review), *Sel'skokhozyaistvennaya biologiya [Agricultural Biology]*. **1** (2017). DOI: 10.15389/agrobiology.2017.1.13rus. (in Russ.).
3. Schwab F., Zhai G., Kern M. [et al.] Barriers, pathways and processes for uptake, translocation and accumulation of nanomaterials in plants – Critical review, *Nanotoxicology*, **10**, 3 (2016). DOI: 10.3109/17435390.2015.1048326.
4. Stasova V. V., Skripal'shchikova L. N., Astrakhantseva N. V., Barchenkov A. P. Photosynthetic pigments in silver birch leaves (*Betula pendula* Roth.) with technogenic load, *Lesnoy Zhurnal [Russian Forestry Journal]*. **3** (2023). DOI: 10.37482/0536-1036-2023-3-35-47. (in Russ.).
5. Khlebtsov N. G., Dykman L. A. Biodistribution and toxicity of engineered gold nanoparticles: A review of in vitro and in vivo studies, *Chem. Soc. Rev.* **40**, 3 (2011). DOI: 10.1039/c0cs00018c.
6. Yanik F., Vardar F. Toxic effects of aluminum oxide (Al_2O_3) nanoparticles on root growth and development in *Triticum aestivum*, *Water, Air, and Soil Pollution*. **226**, 9 (2015). DOI: 10.1007/s11270-015-2566-4.
7. Odat N. Genotypic variation in germination and some growth parameters of wheat (*Triticum turgidum* spp. *Durum*) in response to the toxic effect of aluminum oxide (Al_2O_3) nanoparticles, *Research on Crops*. **21**, 3 (2020). DOI: 10.31830/2348-7542.2020.071.
8. Burklew C. E., Ashlock J., Winfrey W. B., Zhang B. Effects of aluminum oxide nanoparticles on the growth, development, and microRNA expression of tobacco (*Nicotiana tabacum*), *PLoS ONE*. **7**, 5 (2012). DOI: 10.1371/journal.pone.0034783.
9. *Methodology for measuring seed germination and root length of higher plant sprouts to determine the toxicity of technogenically contaminated soils*. FR 1.39.2006.02264. St. Petersburg, 2009. (in Russ.).
10. Wellburn A. R. The spectral determination of chlorophylls a and b, as well as total carotenoids, using various solvents with spectrophotometers of different resolutions, *J. Plant Physiol.* **144**, 3 (1994).
11. Voskresenskaya O. L., Alyabysheva E. A., Polovnikova A. G. *Large practical course on bioecology. P. I : manual*, 107 p. (Yoshkar-Ola: Mar. state university, 2006). ISBN 5-94808-239-3. (in Russ.).
12. Dospekhov B. A. *Field experiment methodology (with the basics of statistical processing of research results) : textbook*, 351 p. (Moscow: Alliance, 2011). ISBN 978-5-903034-96-3. (in Russ.).
13. Shubina A. G., Rosenblum L. V., Sinyutina S. E. The combined impact of external chemical factors on the content of pigments in seedlings of *Pisum Sativum* Pea, *Transactions TSTU*. **9**, 4 (2023). DOI: 10.17277/vestnik.2023.04.pp.688-693. (in Russ.).
14. Dymova O. V., Golovko T. K. Photosynthetic pigments in plants of the natural flora of the taiga zone of the European north-east of Russia, *Fiziol. Rast. [Russian Journal of Plant Physiology]*. **66**, 3 (2019). DOI: 10.1134/S0015330319030035. (in Russ.).
15. Kavelenova L. M., Malykhina E. V., Rozno S. A., Smirnov Yu. V. On the methodology of tree leaf ecophysiological studies, *Povolzh. ecol. zhurn.* **3** (2008). EDN JWOQFX. (in Russ.).
16. Wen Y., Zhang L., Chen Z. [et al.] Co-exposure of silver nanoparticles and chiral herbicide imazethapyr to *Arabidopsis thaliana*: Enantioselective effects, *Chemosphere*. **145** (2016). DOI: 10.1016/j.chemosphere.2015.11.035. (in Russ.).

УДК 612.621.31-055.2:796.015.6

DOI 10.29039/2413-1725-2025-11-1-189-200

ОСОБЕННОСТИ ФИЗИОЛОГИЧЕСКОЙ РЕАКТИВНОСТИ ДЫХАТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ У ВЫСОКОКВАЛИФИЦИРОВАННЫХ СПОРТСМЕНОВ МУЖСКОГО ПОЛА В ВОЗРАСТНОМ ДИАПАЗОНЕ 17–46 ЛЕТ

Тимофеева С. Н., Погодина С. В., Тимофеев В. Д.

*ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет имени В. И. Вернадского», Симферополь,
Республика Крым, Российская Федерация
E-mail: sveta_pogodina@mail.ru*

В статье обсуждается реактивность дыхательной системы на нагрузку малой и субмаксимальной интенсивности у высококвалифицированных спортсменов в возрастном диапазоне 22–46 лет, тренирующих аэробную выносливость и у спортсменов 17–26 лет, тренирующих силовые качества. Высокая реактивность системы дыхания на малую нагрузку и снижение ответа на нагрузку субмаксимальной интенсивности выявлены у высококвалифицированных спортсменов 17–18 лет, тренирующих аэробную выносливость и у спортсменов 40–46 лет, тренирующих силовые качества, что у первых не снижает эффективности вентиляторного ответа. У высококвалифицированных спортсменов 40–46 лет выявлено относительное ограничение вентиляторного ответа на субмаксимальную нагрузку, что в большей степени проявляется у представителей силовых видов спорта.

Ключевые слова: реактивность, дыхательная система, высококвалифицированные спортсмены, широкий возрастной диапазон.

ВВЕДЕНИЕ

В связи с коммерциализацией современного спорта возрастает количество высококвалифицированных спортсменов юношеского возраста [1], и спортсменов, возраст которых превышает границы четвертого десятилетия [2]. Данный факт актуализирует изучение функциональных возможностей основных систем организма высококвалифицированных спортсменов в широком возрастном диапазоне [3, 4]. В видах спорта с циклической структурой движений одной из первых реагирует на сдвиги в функциональном состоянии система дыхания [5–7]. Ранее большинство исследований было проведено в отношении реактивности дыхательной системы только в области медицины, поэтому данная тема является очень актуальной в спорте высших достижений. Учитывая изменение с возрастом оперативных регуляторных механизмов дыхательной функции (их активация или ослабление) [8], эффективность адаптации к физическим нагрузкам у высококвалифицированных спортсменов в юности и в течение длительного периода зрелости может быть достигнута за счет различных модификаций компенсаторно-

приспособительных реакций системы дыхания, в основе которых лежит оптимизация ее реактивности [6]. Изучение этих механизмов у высококвалифицированных спортсменов в широком возрастном диапазоне позволит выявить особенности возрастных адаптационных перестроек дыхательной функции и оценить потенциальные резервы дыхания спортсменов различных возрастных групп.

В связи с этим **целью работы** явилось изучение особенностей физиологической реактивности системы дыхания у высококвалифицированных спортсменов мужского пола трех возрастных групп – юношеского возраста (17–18 лет), первого периода зрелого возраста (22–26 лет) и второго периода зрелого возраста (40–46 лет).

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В исследованиях приняли участие высококвалифицированные спортсмены мужского пола юношеского возраста 17–18 лет ($n=123$), первого периода зрелого возраста 22–26 лет ($n=82$) и второго периода зрелого возраста 40–46 лет ($n=86$). Контингент мужчин был сформирован из числа спортсменов, представителей видов спорта с преимущественным характером циклической тренировочной нагрузки, направленной на развитие аэробной выносливости (велоспорт, плавание, легкая атлетика (бег на средние и длинные дистанции) – условно обозначены группа «выносливость») и силы (гиревой спорт – условно обозначены группа «сила»). Вентиляторную функцию легких исследовали спиропневмотахометрическим методом с помощью прибора «Spirobank – G» итальянской фирмы «MIR», с последующей компьютерной обработкой регистрируемых показателей. В качестве исследуемых показателей использовали: объем легочной вентиляции (VE , л), дыхательный объем (VT , мл), частота дыхания (fT , мин^{-1}). Все объёмные показатели приводили к условиям BTPS. Определение газового состава выдыхаемого воздуха проводили с использованием оптико-акустического газоанализатора двуокиси углерода «Кедр-1А» (Россия) и термохимического газосигнализатора кислорода «Щит-3» (Украина). Изучали следующие показатели: напряжение кислорода в выдыхаемом воздухе (P_{EO_2} , мм рт.ст.), напряжение двуокиси углерода в выдыхаемом воздухе (P_{ECO_2} , мм рт.ст.), далее расчетным методом [9] определяли скорость потребления кислорода (VO_2 , мл/мин), скорость выделения двуокиси углерода (VCO_2 , мл/мин), газообменное отношение (VCO_2/VO_2 , усл. ед.). Газообменные показатели корректировались с учетом условий STPD. Исследования проводили при выполнении ступенчато-возрастающей нагрузки на велоэргометре (Kettler) в различных зонах интенсивности по частоте сердечных сокращений (ЧСС). Первоначальная ступень нагрузки (W_1) составляла 50–80 Вт при скорости педалирования 60 об/мин в течение 4–5 минут, интенсивность малая (ЧСС 130–140 уд/мин). Последующие ступени нагрузки (W_2 , W_3) увеличивали до 150–220 Вт, соответственно интенсивность средняя и субмаксимальная (соответственно ЧСС 150–160 и 170–180 уд/мин), продолжительность работы на каждой последующей ступени до 4–5 минут. Изучаемые в работе показатели регистрировались в течение 30 секунд в конце последней минуты каждой ступени нагрузки. Результаты обработаны параметрическими методами математической

статистики в программе “OriginPro 8.5.1”. Проверка на нормальность распределения проводилась по методу Шапиро-Уилка. Для определения статистически значимых различий использовали t-критерий Стьюдента. Статистически значимые различия учитывали при $p < 0,05$. Наблюдения проводились во втягивающих мезоциклах подготовительного периода годового тренировочного процесса при условии добровольного информированного согласия спортсменов.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Оптимизацию паттерна дыхания связывают с возрастными особенностями регуляции [8, 10] и с уровнем тренированности организма человека, что особенно проявляется в условиях применения физических нагрузок [11]. В группе «выносливость» у высококвалифицированных спортсменов 17–18 лет на низкую интенсивность стандартной нагрузки установлен наибольший прирост легочной вентиляции от исходного состояния покоя ($185,82 \pm 8,02 \%$, $p < 0,01$) относительно других возрастных групп. Также у 17–18 летних спортсменов группы «выносливость» усиление легочной вентиляции сопровождалось значительным увеличением дыхательного объема на $212,56 \pm 12,65 \%$ ($p < 0,05$). Для 22–26 летних спортсменов в условиях малой интенсивности стандартной нагрузки характерным явилось увеличение показателя fT (на $175,29 \pm 7,19 \%$, $p < 0,01$) (рис. 1). В группе «выносливость» у 40–46 летних высококвалифицированных спортсменов реактивность дыхательной системы на малую интенсивность нагрузки была значимо ниже: показатель VE возростал на $126,45 \pm 5,23 \%$, $p < 0,01$, увеличение fT (на $131,27 \pm 8,93 \%$) преобладало над увеличением VT ($83,32 \pm 7,92 \%$). В условиях нагрузки средней и субмаксимальной интенсивности наибольшая реактивность дыхательной системы выявлена у высококвалифицированных спортсменов в возрасте 22–26 лет. При этом значительный рост легочной вентиляции (на $1200,70 \pm 19,27 \%$, $p < 0,01$) обеспечивался за счет увеличения частоты дыхания (на $424,65 \pm 11,94 \%$, $p < 0,01$). Наименьший прирост VE выявлен у спортсменов 17–18 лет (на $417,22 \pm 10,07 \%$, $p < 0,001$). Для спортсменов 40–46 лет также характерно усиление легочной вентиляции за счет увеличения частоты дыхания, выраженное ограничение роста дыхательного объема относительно других возрастных групп.

При увеличении интенсивности нагрузки у 17–18 летних спортсменов отмечалось преобладание аэробных процессов (VCO_2/VO_2 в диапазоне значений 0,75–0,78 усл. ед.). У 22–26 летних спортсменов, напротив, преобладал анаэробный тип метаболизма (VCO_2/VO_2 в диапазоне значений 0,92–1,08 усл. ед.) Это было особенно выражено при субмаксимальной интенсивности нагрузки, что проявлялось в характере прироста потребления O_2 (17–18 лет – $458,53 \pm 9,65 \%$, 22–26 лет – $1141,37 \pm 8,87 \%$, $p < 0,001$) и выделения CO_2 (17–18 лет – $443,44 \pm 8,71 \%$, 22–26 лет – $1539,81 \pm 11,10$, $p < 0,001$ от исходного состояния). У спортсменов 40–46 лет отмечено значимое увеличение величины прироста потребления O_2 и выделения CO_2 при низкой и средней интенсивности нагрузки относительно 22–26 летних спортсменов. При выполнении субмаксимальной интенсивности нагрузки величина прироста потребления O_2 и выделения CO_2 у 40–46 летних представителей группы

«выносливость» значительно снижалась, соответственно до $1026,32 \pm 8,31 \%$ ($p < 0,05$) и $1278 \pm 11,14 \%$ ($p < 0,01$), относительно 22–26 летних спортсменов.

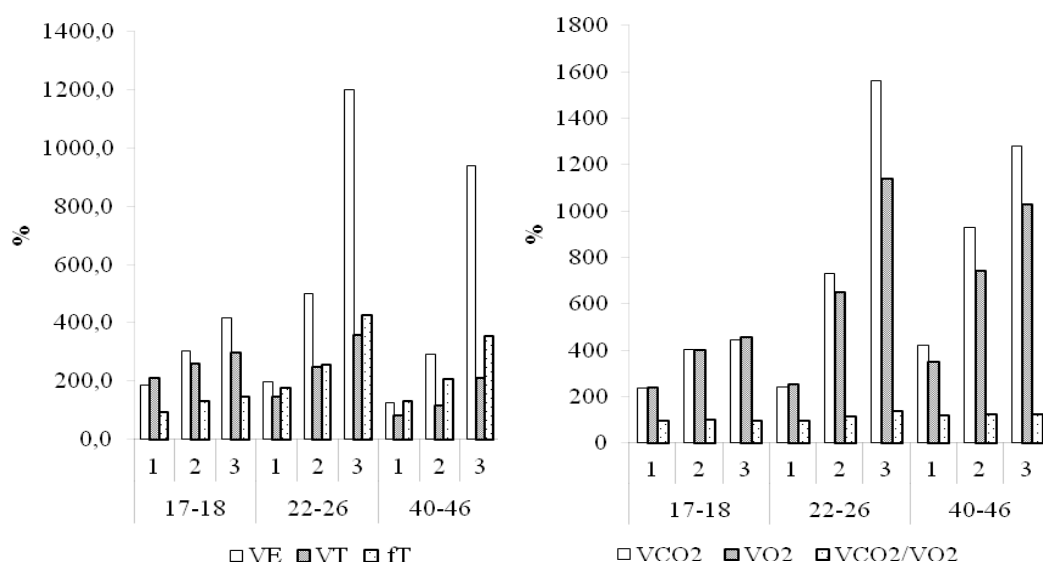


Рис. 1. Особенности изменений показателей вентиляции и газообмена у высококвалифицированных спортсменов мужского пола в группе «выносливость» в различных зонах интенсивности физических нагрузок (изменения выражены в % от исходного уровня, принятого за 100 %): 1 – ЧСС 130–140 уд/мин; 2 – ЧСС 150–160 уд/мин; 3 – ЧСС 170–180 уд/мин.

В группе «сила» на малую интенсивность стандартной нагрузки выявлен наибольший прирост легочной вентиляции у высококвалифицированных спортсменов 40–46 лет (рис. 2). В свою очередь в ответ на субмаксимальную интенсивность нагрузки в данной возрастной группе наблюдался наименьший прирост величины VE. Усиление легочной вентиляции, как в ответ на малую, так и на субмаксимальную интенсивность сопровождалось увеличением показателя fT, что повышало долю работы дыхательных мышц по преодолению резистивного сопротивления. На малую интенсивность стандартной нагрузки у спортсменов данной возрастной группы также зарегистрирован наибольший прирост потребления O_2 (до $311,07 \pm 5,76 \%$, $p < 0,05$), и выделения CO_2 (до $285,25 \pm 3,76 \%$, $p < 0,05$). Газообменное отношение составляло $0,92 \pm 0,01 \%$, $p < 0,05$. У высококвалифицированных спортсменов 22–26 лет группы «сила» регистрировали самую высокую реактивность дыхательной системы на нагрузки средней и субмаксимальной интенсивности, что сопровождалось значительным ростом величины VE за счет повышения доли VT.

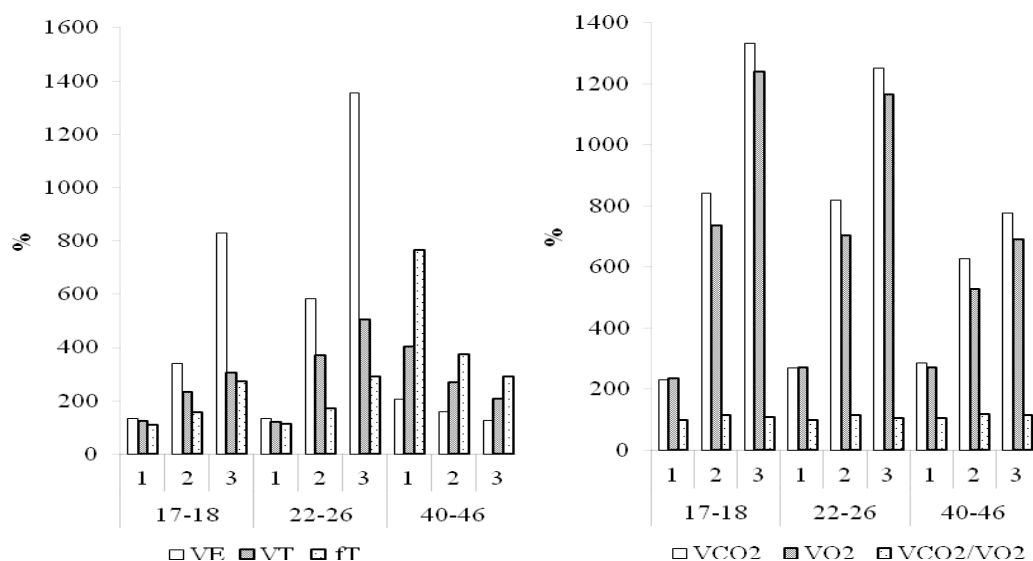


Рис. 2. Особенности изменений показателей вентиляции и газообмена у высококвалифицированных спортсменов мужского пола в группе «сила» в различных зонах интенсивности физических нагрузок (изменения выражены в % от исходного уровня, принятого за 100 %): 1 – ЧСС 130–140 уд/мин; 2 – ЧСС 150–160 уд/мин; 3 – ЧСС 170–180 уд/мин.

Для высококвалифицированных спортсменов 17–18 лет группы «сила» характерным являлся значимо меньший рост легочной вентиляции, в сравнении с 22–26-летними. При этом большие величины прироста VT у 22–26-летних высококвалифицированных спортсменов группы «сила» свидетельствовали о повышении у них доли работы по преодолению дыхательными мышцами эластического сопротивления. Это приводило к значительному приросту у 17–26-летних спортсменов интенсивности потребления кислорода (17-18 лет – $1240,09 \pm 10,01$ %, 22–26 лет – $1166,56 \pm 19,24$ %, $p < 0,05$) и выделения CO_2 (17–18 лет – $1333,06 \pm 14,03$ %, 22–26 лет – $1252,37 \pm 18,83$ %, $p < 0,05$). Прослеживалась тенденция преобладания интенсивности выделения CO_2 над уровнем потребления O_2 , газообменное отношение повышалось до 0,94–0,96 усл. ед.. Наименьший прирост уровня потребления O_2 и выделения CO_2 зарегистрирован у 40–46 летних спортсменов группы «сила». Показатель газообменного отношения в данной возрастной группе увеличивался до $1,05 \pm 0,01$ % ($p < 0,01$), тогда как у 17–26 летних спортсменов группы «сила» он не превышал $0,89 \pm 0,01$ % ($p < 0,001$).

Таким образом, проведенное нами изучение вентиляторных ответов у высококвалифицированных спортсменов возрастного диапазона 17–46 лет на разнообразные по силе стимулы, которыми явилась физическая нагрузка различной интенсивности, позволило выделить два типа реагирования. Первый тип – это низкая реактивность на малую интенсивность нагрузки (слабый стимул) и высокая

на субмаксимальную нагрузку (сильный стимул) – была характерна для 22–46-летних спортсменов группы «выносливость», 17–26-летних группы «сила». Второй тип реагирования – это высокая реактивность на слабый стимул и снижение ответа на раздражитель большой интенсивности – была характерна для 17–18-летних высококвалифицированных спортсменов группы «выносливость» и 40–46-летних высококвалифицированных спортсменов группы «сила». Таким образом, для большинства групп спортсменов, характерной явилась реакция первого типа. Причем, для группы «выносливость» данный тип реакции наблюдался в старших возрастных группах, а именно в возрастном диапазоне 22–46 лет, тогда как в группе «сила» – напротив, в более молодом возрасте (в 17–26 лет). Такой тип реакции в большей степени характерен для спортсменов, тренирующих выносливость и обусловлен относительно низкими величинами $\dot{V}CO_2$ в начале нагрузки и значительным увеличением интенсивности ее нарастания при повышении мощности нагрузки, что способствует повышению концентрации CO_2 в артериальной крови. Показано, что таким типом реакции системы дыхания обладают лица с более экономными реакциями дыхания и кровообращения и большей физической работоспособностью. У них при умеренной нагрузке отмечается незначительный прирост минутного объема дыхания и ЧСС, а при максимальной нагрузке – более выраженный рост этих показателей и способность переносить большие сдвиги кислотно-щелочного равновесия в сторону уменьшения показателя pH. Для таких лиц, характерна относительно низкая скорость основного обмена, что в большей степени соотносится с высокой активностью аэробных процессов образования энергии [9]. В свою очередь у высококвалифицированных спортсменов группы «выносливость» 22–26 и 40–46 лет усиление реактивности системы дыхания при нагрузках средней и субмаксимальной интенсивности проявлялось в виде значительного увеличения легочной вентиляции за счет выраженного прироста частоты дыхания. В данном случае увеличивается доля работы по преодолению резистивного сопротивления, что вызывает увеличение кислородного запроса и в первую очередь для энергоснабжения дыхательных мышц. При этом также значительно увеличивается интенсивность потребления O_2 и выведения CO_2 , повышаются значения вентиляторных эквивалентов O_2 и CO_2 [5, 12]. Такой тип вентиляторной реакции во время нагрузки субмаксимальной интенсивности обуславливает у спортсменов 22–26 лет тенденцию к преобладанию скорости выделения CO_2 над скоростью потребления O_2 (может возникнуть состояние гипокапнии в связи с дыхательной компенсацией метаболического ацидоза). Напротив, у спортсменов 40–46 лет относительное ограничение вентиляторного ответа на высокоинтенсивную нагрузку (в сравнении с 22–26-летними спортсменами) может быть вызвано возрастным снижением резервов кислородтранспортной системы, в связи с чем компенсаторно увеличивается вентиляторный эквивалент O_2 . В данном случае при интенсивной физической нагрузке повышается доля участия анаэробных источников получения энергии. Таким образом, в группе «выносливость» 40–46 лет в условиях субмаксимальной интенсивности нагрузки активация анаэробных путей получения энергии может быть обусловлена недостаточным поступлением кислорода к работающим мышцам.

Причиной этому может служить недостаточное гемодинамическое обеспечение физической нагрузки, которое заключается в ограничении максимальных величин МОК [13].

Отличительной особенностью реакции системы дыхания первого типа у высококвалифицированных спортсменов группы «сила» 17–26 лет явилось снижение эффективности вентиляторной функции в условиях субмаксимальной нагрузки, в сравнении со спортсменами группы «выносливость» 22–46 лет. При этом снижение эффективности вентиляторной функции у 17–26-летних «силовиков» было обусловлено значимым повышением количества вентилируемого воздуха, необходимого для выделения CO_2 , что свидетельствовало о более раннем наступлении порога анаэробного обмена (ПАНО) в сравнении с группой «выносливость». Очевидно, что выраженная активация анаэробных источников энергии на третьей – последней ступени нагрузки субмаксимальной интенсивности явилась критерием относительно низкой аэробной производительности высококвалифицированных спортсменов группы «сила». Если учесть, что одним из факторов, определяющих особенности метаболизма при мышечной деятельности является объем функционирующих мышц, то преобладание в процессе тренировки «силовиков» доли силового компонента рабочего движения (даже на 30–20 %) повышает мощность гликолиза. При этом активизируются ферменты гликолиза, повышается чувствительность к лактату дыхательных и гликолитических ферментов [7, 14]. В связи с этим, выявленная нами активация анаэробных источников энергообеспечения у 17–26 летних высококвалифицированных спортсменов в группе «сила» при высокой интенсивности нагрузки, очевидно является проявлением силовой специфики циклического характера работы. Необходимо отметить, что повышение уровня легочной вентиляции у 17–26 летних высококвалифицированных спортсменов в группе «сила» происходило за счет повышения доли VT в сравнении со спортсменами группы «выносливость» 22–46 лет, у которых легочная вентиляция (как показано выше) повышалась при значительном повышении доли fT. Основной причиной данного различия явился, по-видимому факт преобладания у «силовиков» 17–26 лет тахипноического типа дыхания, при котором в ответ на нагрузку уровень легочной вентиляции возрастает за счет увеличения дыхательного объема, так как данная категория лиц, используя в покое небольшой дыхательный объем, располагает большим резервом для его увеличения. Представители группы «выносливость» 22–46 лет, очевидно, преимущественно имели брадипноический тип дыхания, сформировавшийся под воздействием тренировки, направленной на развитие аэробной выносливости. У этой категории лиц, напротив, глубокий вдох сопряжен с преодолением значительного эластического сопротивления, что делает для них энергетически невыгодным дальнейшее углубление дыхания, рост вентиляции происходит за счет учащения дыхательных циклов [9].

Второй тип реакции в литературе чаще относят к реакции лиц, имеющих недостаточный уровень тренированности. Анализ данного типа вентиляторной реакции у 17–18-летних высококвалифицированных спортсменов группы «выносливость» показал, что в данном случае отмечалась высокая реактивность на

слабый стимул и почти максимальная – на средний. В свою очередь на высокий стимул реакция практически отсутствовала. С одной стороны это могло свидетельствовать о быстром исчерпании энергетических резервов при интенсивности нагрузки на уровне 150–160 уд/мин. А с другой стороны, необходимо учесть, что функция дыхательного аппарата в условиях физической нагрузки заключается, прежде всего, в обеспечении адекватного метаболическому запросу уровня минутного объема легочной вентиляции. Этот уровень может быть получен при различных сочетаниях глубины и частоты дыхания. Увеличение глубины дыхания позволяет еще больше уменьшить его частоту и поддержать легочный газообмен при меньшем минутном объеме вентиляции [12]. Выявленная нами относительно низкая реактивность дыхательной системы у 17–18-летних спортсменов группы «выносливость» в ответ на нагрузку субмаксимальной интенсивности характеризовалась тем, что показатели прироста легочной вентиляции были наименьшими, а прирост дыхательного объема значительный. Более того, высокая реактивность системы дыхания у данной группы высококвалифицированных спортсменов на малую интенсивность нагрузки не вызывала увеличения интенсивности газообменных процессов. Значительный рост легочной вентиляции в данном случае был связан с преобладанием «рабочего стимула». То есть основной вклад принадлежал не гуморальным сдвигам. Это значит, что у 17–18 летних спортсменов группы «выносливость» нейрогенные факторы нехеморецепторной природы, управляющие по принципу возмущения, играют решающую роль в увеличении легочной вентиляции при преодолении физической нагрузки, особенно на начальной стадии [7, 15]. Это имеет большое значение в мобилизации дыхательной функции у спортсменов в ответ на последующее повышение интенсивности нагрузки. При этом причиной формирования рабочего гиперпноэ является условно-рефлекторная реакция на саму нагрузку, тогда как сдвиги гуморальных показателей (РН крови, P_aCO_2) выражены при этом не значительно [6]. По нашему мнению у 17–18-летних спортсменов в большей степени был выражен нейрогенный компонент реакции на слабый стимул нежели гуморальный, что, очевидно, связано с преобладанием у данной категории спортсменов симпатической активности и согласуется с результатами, показанными в работах [1]. Выявленный нами второй тип реагирования системы дыхания у высококвалифицированных спортсменов группы «сила» 40–46 лет характеризовался в условиях малой интенсивности нагрузки наибольшей интенсивностью потребления O_2 и выделения CO_2 , то есть кислородный запрос был значительным. Нагрузка высокой интенсивности сопровождалась незначительным приростом интенсивности потребления O_2 и выделения CO_2 . При этом газообменное отношение превышало значение 1, что свидетельствовало о выраженном преобладании анаэробного типа метаболизма. Если учесть, что в данной группе спортсменов отмечены наибольшие величины вентиляторных эквивалентов (до $47 \text{ л} \cdot \text{мин}^{-1}$) при снижении потребления O_2 на один дыхательный цикл до $52 \text{ мл} \cdot \text{мин} \cdot \text{цикл}^{-1}$, то снижение эффективности вентиляции по причине несоответствия резервов увеличения кислородного запроса и ограниченной

возможности его потребления в связи со снижением аэробных резервов энергообеспечения в условиях высокой интенсивности нагрузки [13].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Низкая реактивность системы дыхания на малую интенсивность нагрузки и высокая реактивность на нагрузку субмаксимальной интенсивности выявлена у высококвалифицированных спортсменов групп «выносливость» 22–46 лет и «сила» 17–26 лет. Напротив, высокая реактивность системы дыхания на малую нагрузку и снижение ответа на нагрузку субмаксимальной интенсивности выявлено в группе «выносливость» 17–18 лет и «сила» 40–46 лет.

У высококвалифицированных спортсменов 40–46 лет выявлено относительное ограничение вентиляторного ответа на субмаксимальную нагрузку, что в большей степени проявляется в группе «сила».

Увеличение легочной вентиляции у высококвалифицированных спортсменов в группе «сила» обеспечивается за счет роста дыхательного объема в сравнении со спортсменами группы «выносливость», у которых легочная вентиляция возрастает при значительном увеличении частоты дыхания.

В группе «сила» эффективность вентиляторного ответа на субмаксимальную нагрузку (сравнительно с группой «выносливость») ниже, что обусловлено значимым повышением количества вентилируемого воздуха, необходимого для выделения CO_2 и свидетельствует о повышении активности гликолиза, что, очевидно, является проявлением специфики долговременной адаптации в гиревом спорте.

Список литературы

1. Иорданская Ф. А. Мужчина и женщина в спорте высших достижений (проблемы полового диморфизма) / Ф. А. Иорданская – М., 2012. – 256 с.
2. Очередыко Б. Влияние здоровья и социальных факторов на спортивное долголетие / Б. Очередыко, О. Шинкарук // Наука в олимпийском спорте. – 2004. – вып. 1. – С. 108–115.
3. Bernardo A. Effects of hypertension and exercise on cardiac proteome remodeling / A. Bernardo, Petriz and Octavio L. Franco // BioMed Research International. – 2014. – вып. 63. – P. 32–41.
4. Kuipou-Kenfack E. N. Proteome analysis in the assessment of ageing / E. N. Kuipou-Kenfack, T. Koeck, H. Mischak, A. Pich, J. P. Schanstra, P. Zürgbig, B. Schumacher // Ageing Research Reviews. – 2014. – №18. – P. 74–85.
5. Лысенко Е. Н. Физиологическая реактивность и особенности мобилизации функциональных возможностей высококвалифицированных спортсменов / Е. Н. Лысенко // Материалы научно-практической конференции «Спортивная медицина. Здоровье и физическая культура». – Сочи. – 2012. – С. 245–249.
6. Мищенко В. С. Оптимизация реактивности системы дыхания в процессе адаптации к напряженной мышечной деятельности / В. С. Мищенко // Пути оптимизации функции дыхания при нагрузках, патологии и в экстремальных состояниях. – Калинин., 1989. – С. 47–51.
7. Міщенко В. С. Типи фізіологічної реактивності системи дихання і специфіка прояву спеціальної працездатності спортсменів / В. С. Міщенко, О. М. Лисенко, В. Є. Виноградов // Фізіологічний журнал. – 2006. – Т.52, вып. 4. – С. 69–77.
8. Колчинская А. З. Система дыхания, гипоксия и возраст / А. З. Колчинская // Физиологический журнал. – 1981. – Т. 27, вып. 3. – С. 419–425.

9. Березовский В. А. Вентиляторный ответ на гиперкапнический стимул, как показатель реактивности системы дыхания человека / В. А. Березовский, Т. В. Серебровская // Физиологический журнал. – 1987. – Т.33, вып. 3. – С. 12–18.
10. Маньковская И. Н. Возрастные особенности развития гипоксии скелетных мышц при острой гипоксической гипоксии / И. Н. Маньковская, М. М. Филиппов // Физиологический журнал. – 1982. – Т.2, вып. 5. – С. 548–555.
11. Агаджанян Н. А. Особенности адаптивных реакций кардиореспираторной системы у лиц с различным уровнем легочной вентиляции при сочетанном воздействии гипоксии и гиперкапнии / Н. А. Агаджанян, В. Г. Двоенцов // Вестник Уральской медицинской академической науки. – 2010. – Т. 32, вып. 2 – С. 17–21.
12. Шик Л. Л. Управление вентиляцией легкого при мышечной нагрузке у здоровых нетренированных лиц / Л. Л. Шик, Р. С. Винницкая, Т. А. Ханларова // Физиологический журнал. – 1987. – Т. 33, вып. 3. – С. 3–7.
13. Чеботарев Д. Ф. Особенности анаэробного энергообеспечения физической нагрузки в различные возрастные периоды / Д. Ф. Чеботарев, О. В. Коркушко, Ю. Т. Ярошенко // Физиологический журнал. – 1984. – Т. 30, вып. 1. – С. 53–59.
14. Суздальницкий Р. С. Специфические изменения в метаболизме спортсменов, тренирующихся в разных биоэнергетических режимах в ответ на стандартную нагрузку / Р. С. Суздальницкий, И. В. Меньшиков, Е. А. Модера // Теория и практика физической культуры. – 2000. – №3. – С. 16–20.
15. Мищенко В. С. Реактивные свойства кардиореспираторной системы как отражение адаптации к напряженной физической тренировке в спорте / В. С. Мищенко, Е. Н. Лысенко, В. Е. Виноградов – Киев., 2007. – 351 с.

FEATURES OF PHYSIOLOGICAL REACTIVITY OF THE RESPIRATORY SYSTEM BY HIGHLY QUALIFIED MALE ATHLETES IN THE AGE RANGE 17–46 YEARS

Timofeeva S. N., Pogodina S. V., Timofeev V. D.

*V. I. Vernadsky Crimean Federal University, Simferopol, Crimea, Russian Federation
E-mail: sveta_pogodina@mail.ru*

The article discusses the reactivity of the respiratory system to low and submaximal intensity loads in highly skilled athletes aged 22–46 years training aerobic endurance and in athletes aged 17–26 years training strength qualities. High reactivity of the respiratory system to low loads and a decrease in the response to submaximal intensity loads were found in highly skilled athletes aged 17–18 years training aerobic endurance and in athletes aged 40–46 years training strength qualities, which in the former does not reduce the effectiveness of the ventilatory response. In highly skilled athletes aged 40–46 years, a relative limitation of the ventilatory response to submaximal loads was revealed, which is more pronounced in representatives of strength sports.

Thus, our study of ventilatory responses in highly qualified athletes aged 17–46 years to stimuli of varying strength, which was physical activity of varying intensity, allowed us to identify two types of response: the first type – low reactivity to low intensity load (weak stimulus) and high reactivity to submaximal load (strong stimulus) – was typical for 22–46-year-old athletes in the “endurance” group, 17–26 year old group “strength”; the

second type – high reactivity to a weak stimulus and a decrease in response to a high-intensity stimulus – was characteristic of 17–18 year old highly qualified athletes of the “endurance” group and 40–46 year old highly qualified athletes of the “strength” group. Thus, for most groups of athletes, the reaction of the first type was typical.

Low reactivity of the respiratory system to low-intensity loads and high reactivity to loads of submaximal intensity were revealed in highly qualified athletes of the “endurance” group, 22–46 years old, and the “strength” group, 17–26 years old.

On the contrary, a high reactivity of the respiratory system to a low load and a decreased response to a load of submaximal intensity were detected in the “endurance” group of 17–18 years old and the “strength” group of 40–46 years old.

In highly qualified athletes aged 40–46 years, a relative limitation of the ventilatory response to submaximal load was revealed, which was more pronounced in the “strength” group.

An increase in pulmonary ventilation in highly qualified athletes in the “strength” group is ensured by an increase in tidal volume in comparison with athletes in the “endurance” group, in whom pulmonary ventilation increases with a significant increase in respiratory rate.

In the “strength” group, the efficiency of the ventilatory response to submaximal load (compared to the “endurance” group) is lower, which is due to a significant increase in the amount of ventilated air required for the release of CO₂ and indicates an increase in the activity of glycolysis, which, obviously, is a manifestation of the specificity of long-term adaptation in kettlebell lifting.

Keywords: reactivity, respiratory system, highly skilled athletes, a wide age range.

References

1. Iordanskaya F. A. *Muzhchina i zhenshchina v sporte vysshih dostizhenij (problemy polovogo dimorfizma)*, 256 (M., 2012).
2. Ochered'ko B., Shinkaruk O. Vliyanie zdorov'ya i social'nyh faktorov na sportivnoe dolgoletie, *Nauka v olimpijskom sporte*, **1**, 108 (2004).
3. Bernardo A., Petriz and Octavio L. Franco. Effects of hypertension and exercise on cardiac proteome remodeling, *BioMed Research International*, **63**, 32 (2014).
4. Kuipou-Kenfack E. N., T. Koeck, H. Mischak, A. Pich, J. P. Schanstra, P. Züribig, B. Schumacher. Proteome analysis in the assessment of ageing, *Ageing Research Reviews*, **18**, 74 (2014).
5. Lysenko E. N. Fiziologicheskaya reaktivnost' i osobennosti mobilizacii funkcional'nyh vozmozhnostej vysokokvalificirovannyh sportsmenov, *Materialy nauchno-prakticheskoy konferencii «Sportivnaya medicina. Zdorov'e i fizicheskaya kul'tura»*, 245 p. (2012).
6. Mishchenko V. S. Optimizaciya reaktivnosti sistemy dyhaniya v proces se adaptacii k napryazhennoj myshchechnoj deyatel'nosti, *Puti optimizacii funkcii dyhaniya pri nagruzkah, patalogii i v ekstremal'nyh sostoyaniyah*, 47 p. (1989).
7. Mishchenko V. S., Lisenko O. M., Vinogradov V. E. Tipi fiziologichnoï reaktivnosti sistemi dihaniya i specifika proyavu special'noï pracedatnosti sportsmeniv, *Fiziologichnij zhurnal*, **4**, 69 (2006).
8. Kolchinskaya A. Z. Sistema dyhaniya, gipoksiya i vozrast, *Fiziologicheskij zhurnal*, **3**, 419 (1981).
9. Berezovskij V. A., Serebrovskaya T. V. Ventilatornyj otvet na giperkapnicheskij stimul, kak pokazatel' reaktivnosti sistemy dyhaniya cheloveka, *Fiziologicheskij zhurnal*, **3**, 12 (1987).
10. Man'kovskaya I. N., Filippov M. M. Vozrastnye osobennosti razvitiya gipoksii skeletnyh myshc pri ostroj gipoksicheskoy gipoksii, *Fiziologicheskij zhurnal*, **5**, 548 (1982).

11. Agadzhanyan N. A., Dvoenovsov V. G. Osobennosti adaptivnyh reakcij kardiorespiratornoj sistemy u lic s razlichnym urovnem legochnoj ventilyacii pri sochetannom vozdejstvii gipoksii i giperkapnii, *Vestnik Ural'skoj medicinskoj akademicheskoy nauki*, **4**, 17 (2010).
12. Shik L. L., Vinnickaya R. S., Hanlarova T. A. Upravlenie ventilyaciej legkogo pri myshechnoj nagruzke u zdorovyh netrenirovannyh lic, *Fiziologicheskij zhurnal*, **3**, 3 (1987).
13. Chebotarev D. F., Korkushko O. V., Yaroshenko Yu. T. Osobennosti anaerobnogo energoobespecheniya fizicheskoy nagruzki v razlichnye vozrastnye periody, *Fiziologicheskij zhurnal*, **1**, 53 (1984).
14. Suzdal'nickij R. S., Men'shikov I. V., Modera E. A. Specificheskie izmeneniya v metabolizme sportsmenov, treniruyushchihsya v raznyh bioenergeticheskikh rezhimakh v otvet na standartnuyu nagruzku, *Teoriya i praktika fizicheskoy kul'tury*, **3**, 16 (2000).
15. Mishchenko V. S., Lysenko E. N., Vinogradav V. E. *Reaktivnye svoystva kardiorespiratornoj sistemy kak otrazhenie adaptacii k napryazhennoj fizicheskoy trenirovke v sporte*, 351 p. (Kiev, 2007).

УДК 612.769:796.015.572

DOI 10.29039/2413-1725-2025-11-1-201-207

ТЕХНОЛОГИИ ЭКСПРЕСС ДИАГНОСТИКИ В УПРАВЛЕНИИ ТРЕНИРОВОЧНОЙ НАГРУЗКОЙ И ФУНКЦИОНАЛЬНЫМ СОСТОЯНИЕМ ЮНЫХ КАРАТИСТОВ НА ПРЕДСОРЕВНОВАТЕЛЬНОМ ЭТАПЕ

Тимофеева С. Н., Тимофеев В. Д., Погодина С. В.

*ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет имени В. И. Вернадского», Симферополь,
Республика Крым, Российская Федерация
E-mail: kafedra.sporta@cfuv.ru*

В статье показана целесообразность применения технологий экспресс диагностики функциональных возможностей организма в специфических условиях тренировочного процесса юных каратистов 10–11 лет на предсоревновательном этапе. Для определения содержания лактата использовали анализатор LACTATE PLUS, содержание кислорода в крови определяли с помощью пульсоксиметра, параметры пульсометрии регистрировали с помощью датчика сердечного ритма POLAR H10. Регуляторные нервные процессы исследовали на аппаратном комплексе БиоМышь Исследовательская. В качестве нагрузочных воздействий предлагалось 6 серий тренировочных форм соревновательных упражнений продолжительностью 1,5 минуты, в которых моделировался соревновательный режим работы – анаэробно-аэробный.

Ключевые слова: экспресс-оценка, метаболические и функциональные эффекты, тренировочные формы соревновательных упражнений, анаэробно-аэробный режим работы, каратисты 10–11 лет, атипичные реакции.

ВВЕДЕНИЕ

Для тренеров и физиологов наиболее актуальным для изучения является вопрос о механизмах перестроек физиологических систем спортсмена в процессе тренировочных занятий. Данным вопросом занимались многие авторы: Калинина И. Н., Кудря О. Н., Потапченко М. А., Рэйляну Р. И. Большинство исследований было проведено в отношении сердечно-сосудистой и дыхательной систем спортсменов. Отмечают, что показатели этих систем являются одними из важнейших критериев для оценки воздействия на организм спортсмена систематических тренировок

При подготовке юных спортсменов к соревнованиям основополагающим является целевое управление тренировочным процессом, которое базируется на углубленном контроле функциональных возможностей организма, перспективных для резервного спорта детей [1]. Сегодня для объективной оценки функционального состояния спортсменов используются технологии экспресс диагностики адаптационных функций: анализаторы лактата [2, 3], датчики сердечного ритма и пульсоксиметры [4], портативные спирографы [5, 6] и реофотоплетизмографы [7]. Применение мобильных комплексов лабораторного оборудования позволяет в

специфических условиях тренировки быстро корректировать выбор тренировочных режимов работы, не снижающих эффективность адаптации на этапе подготовки к соревнованиям. В свою очередь при проведении экспресс оценки функциональных возможностей спортсменов используется методологический подход, позволяющий соотнести величину тренировочной нагрузки и реальных тренирующих эффектов, суммарную пульсовую стоимость работы, направленность метаболических путей энергообеспечения, вентиляционный «запрос», гемодинамические и регуляторные сдвиги [5]. Применение данного подхода в процессе подготовки юных каратистов приобретает особую актуальность, так как тренировочная, и особенно, соревновательная деятельность в этом виде спорта характеризуется режимами высочайшей интенсивности. В то же время в соревнованиях по карате принимают участие совсем юные спортсмены. В связи с этим необходимо иметь объективную информацию о потенциальных возможностях детского организма адаптироваться к высокоинтенсивным нагрузкам, что позволит предотвратить явления форсированной подготовки [1].

Целью работы явилось применить технологии экспресс-диагностики для управления тренировочной нагрузкой и функциональным состоянием юных каратистов на предсоревновательном этапе.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Обследованы каратисты 10–11 лет, занимающиеся каратэ с четырехлетнего возраста ($n=26$, вес до 38 кг, спортивная квалификация не ниже 3 юношеского разряда). Контрольные исследования были проведены в завершении предсоревновательного мезоцикла. Для определения содержания молочной кислоты (La , ммоль/л) использовали анализатор лактата – LACTATE PLUS (Sports), (США), тест полоски для анализатора (Test Strips). Взятие капиллярной крови из пальца проводили с использованием одноразовых ланцетов Safety. Содержание кислорода в артериальной крови (S_pO_2 , %) определяли с помощью пульсоксиметра серии MD300C:MD300M. Параметры пульсометрии (текущую и суммарную частоту сердечных сокращений – ЧСС и ЧСС_{сум}) текущей тренировочной нагрузки регистрировали с помощью датчика сердечного ритма POLAR H10 (Финляндия), закрепленного на грудной клетке спортсмена во время тренировочного процесса. Регуляторные нервные процессы исследовали на аппаратном комплексе «БиоМышь» исследовательская (КПФ-01b) – Нейролаб (Россия) [7]. В качестве анализируемых показателей использовали: продолжительность кардиоинтервала (КИ) R-R, среднее значение интервалов RR (RRNN), стандартное отклонение SDNN, амплитуду моды (АМо), индекс дыхательной модуляции ($ИДМ=(0,5*RMSSD/RRNN)*100\%$), индекс симпато-адреналового тонуса ($САТ=АМо/ИДМ*100\%$), индекс перенапряжения регуляторных систем ($ИПР=произведение\ САТ\ на\ отношение\ времени\ распространения\ пульсовой\ волны\ к\ времени\ ее\ распространения\ в\ состоянии\ покоя$). При использовании аппаратного комплекса применяли следующую последовательность операций: 1) запись фрагмента фотоплетизмограммы пульса в течение двух минут; 2) обработка записанного сигнала математическими методами, вложенными в программное

обеспечение; 3) получение цифровых данных и заключения. В качестве основных нагрузочных воздействий в основной части занятий предлагались серии (до 6 серий) тренировочных форм соревновательных упражнений продолжительностью 1,5 минуты, в которых моделировался соревновательный режим работы – анаэробно-аэробный. Измерения параметров $\dot{V}a$ и S_pO_2 проводили в течение 2-х минутного отдыха после каждой нагрузочной серии. Исследование регуляторных нервных процессов проводили до и после тренировочного занятия. Полученный цифровой материал обрабатывался на персональном компьютере с использованием пакета программ STATISTICA 10.0. Проверка соответствия статистических данных закону нормального распределения проводилась с помощью критерия Шапиро-Уилка. Далее вычисляли среднее значение исследуемых величин ($\bar{x}$) и ошибку среднего арифметического (S_x). Статистически значимые различия определялись с помощью t-критерия Стьюдента, значимыми различия считались при $p < 0,05$. Исследование проведено при добровольном информированном согласии испытуемых.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Оперативный комплексный подход к оценке функциональных возможностей на этапе подготовки к соревнованиям позволяет выявить доминирующие физиологические факторы, лежащие в основе формирования и поддержки высокого уровня функций (состояния пика спортивной формы) у юных спортсменов. Основой данной технологии для детского возраста является выделение адаптационных механизмов – метаболического, миокардиального и регуляторного, обуславливающих функциональные резервы организма детей при мышечной работе разной интенсивности и продолжительности [8, 9]. Предсоревновательный мезоцикл характеризуется увеличением интенсивности и уменьшением объема тренировочных нагрузок. Так же в работе с испытуемыми были включены упражнения с интенсивностью, максимально приближенной к условиям соревновательной деятельности.

Определено, что у юных каратистов в завершении данного типа мезоцикла суммарная интенсивность тренировочного занятия варьировала в показателе ЧСС_{сум} в пределах $138,2 \pm 1,02$ – $146,3 \pm 1,67$ уд/мин, тогда как среднее значение всей группы ЧСС_{сум} в серии соревновательных упражнений достигало пределов $176,4 \pm 2,87$ – $178,9 \pm 3,52$ уд/мин ($p < 0,05$). Выполнение столь высокоинтенсивных соревновательных упражнений каратистами 10–11 лет обуславливало разные метаболические и функциональные эффекты. Так, в 46,15 % случаев (у 12-ти каратистов) определены оптимальные функциональные сдвиги, соответствующие анаэробно-аэробному режиму работы. Так в течение серий содержание $\dot{V}a$ находилось в диапазоне $5,8 \pm 0,02$ – $7,4 \pm 0,04$ мМоль/л, ЧСС_{сум} в пределах $178,1 \pm 3,43$ – $186,3 \pm 4,07$ уд/мин, величина S_pO_2 в пределах $94,7 \pm 2,47$ – $96,2 \pm 3,69$ %.

При этом общей (для всех 12-ти каратистов) тенденцией явилось повышение содержания $\dot{V}a$ по мере выполнения каждой последующей серии соревновательных упражнений. В свою очередь, в 38,46 % случаев (у 10-и каратистов) выявлены эффекты метаболического и функционального напряжения. В течение выполнения серий соревновательных упражнений это выражалось в увеличении: ЧСС_{сум} до

значений $201,6 \pm 3,22$ – $206,8 \pm 3,17$ уд/мин, содержания La до $9,5 \pm 1,01$ – $12,3 \pm 1,34$ ммоль/л, снижении величины S_pO_2 до значений $80,2 \pm 4,25$ – $82,8 \pm 3,92$ %. Необходимо особо отметить, что в 15,38 % случаев (у 4-х каратистов) отмечены атипичные метаболические сдвиги с акцентом на снижение содержания La ниже 1 ммоль/л при выполнении последних серий соревновательных упражнений (табл. 1).

Таблица 1

Индивидуальные особенности функциональных изменений при атипичной (1) и стандартной (2) метаболических реакциях у каратистов 10–11 лет в условиях выполнения серий соревновательных упражнений

№ серии	ЧСС _{сум}		ЧСС _{макс}		La, ммоль/л		S_pO_2 , %	
	1	2	1	2	1	2	1	2
1	179	171	200	185	5,6	5,8	98	99
2	189	175	206	186	6,7	5,7	92	99
3	200	179	205	185	4,6	6,6	88	99
4	199	183	208	188	3,3	6,3	82	98
5	205	179	201	191	2,5	6,7	82	97
6	206	186	207	197	0,8	7,4	80	96

В свою очередь у юных каратистов определяли разную степень напряжения регуляторных механизмов в зависимости от направленности метаболических и функциональных сдвигов. Так, у каратистов, которые составили 46,15 % группы, отмечали величины показателей САТ и ИПС, характеризующего симпатoadреналовые влияния на ВРС в диапазоне нормы рабочего нервно-психического напряжения. Эти величины до тренировочного занятия соответственно составляли $18,6 \pm 0,96$ – $47,7 \pm 2,87$ и $39,9 \pm 1,22$ – $98,2 \pm 5,27$ усл. ед., а после тренировочного занятия – $76,3 \pm 3,42$ – $85,9 \pm 4,31$ и $156,4 \pm 5,48$ – $216,6 \pm 6,21$ усл.ед. По мере выраженности метаболических и функциональных сдвигов у каратистов, которые составили 38,46 % группы, величины САТ и ИПС достоверно увеличились. После тренировки эти показатели находились в пределах $202,8 \pm 7,82$ – $231,6 \pm 5,27$ и $406,21 \pm 8,37$ – $458 \pm 7,91$ усл. ед., $p < 0,001$ и соответствовали значительной нагрузке. Тогда как у 15,38 % каратистов с атипичными метаболическими реакциями величины САТ и ИПС до начала тренировочного занятия варьировали соответственно в пределах $426,2 \pm 6,83$ и $444,6 \pm 8,39$ и $928,3 \pm 18,16$ – $989,9 \pm 14,23$ усл. ед., $p < 0,001$. А после тренировочного занятия величины САТ и ИПС превышали значения 500 и 1200 усл. ед., что соответствует перенапряжению регуляторных механизмов. Учитывая то, что величины ИПС определяются на основе показателя САТ, чувствительного к усилению тонуса симпатического отдела вегетативной нервной системы [3], то можно говорить о его избыточной активации у каратистов с атипичными метаболическими реакциями. Это обуславливает гипермобилизацию миокардиальных механизмов (ЧСС свыше 200 уд/мин) и гликолитических энергетических субстратов, что

приводит к быстрому расходованию последних, падению La до минимальных значений и выраженному снижению эффективности адаптации [10]. Также можно говорить и о достаточно высоком числе каратистов (более 1/3), которые получают физическую нагрузку, вызывающую напряжение адаптации в завершении предсоревновательного мезоцикла.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На основе использования технологий экспресс оценки функциональных возможностей у каратистов 10–11 лет в специфических условиях тренировки определены и дифференцированы по физиологическим эффектам метаболические и регуляторные сдвиги.

При выполнении соревновательных серий в анаэробно-аэробном режиме работы в завершении предсоревновательного мезоцикла у 46,15 % каратистов определены оптимальные метаболические и функциональные изменения. Тогда как у 38,46 % каратистов выявлены признаки напряжения регуляции сердечного ритма и у 15,38 % каратистов признаки атипичных метаболических реакций что может рассматриваться, как критерий дизадаптации с прогнозом низкой результативности на главных соревнованиях сезона.

Список литературы

1. Иорданская Ф. А. Мониторинг функциональной подготовленности юных спортсменов – резерва спорта высших достижений. Этапы углубленной подготовки и спортивного совершенствования / Ф. А. Иорданская, М. С. Юдинцева. – М.: Советский спорт, 2011. – 142 с.
2. Kalva-Filho C. A. Reliability and validity of tethered swimming lactate minimum test and their relationship with performance in young swimmers / C. A. Kalva-Filho, A. Toubekis, A. M. Zagatto [et al.] // *Pediatric exercise science*. – 2017. – Vol. 30, No 3. – P. 383–392.
3. Wahl P. Accuracy of a modified lactate minimum test and reverse lactate threshold test to determine maximal lactate steady state / P. Wahl, C. Manunzio, F. Vogt [et al.] // *J Strength Cond Res*. – 2017. – Vol. 31, No 12. – P. 3489–3496.
4. Plews D. J. Comparison of heart-rate-variability recording with smartphone photoplethysmography, polar h7 chest strap, and electrocardiography / D. J. Plews, B. Scott, M. Altinib [et al.] // *International journal of sports physiology and performance*. – 2017. – Vol. 12. – P. 1324–1328.
5. Погодина С. В. Технология интегральной оценки функциональных возможностей высококвалифицированных спортсменов разного возраста на основе моделирования адаптационных процессов/ С. В. Погодина, Г. Д. Алексанянц // *Физическая культура, спорт – наука и практика*. – 2018. – вып. 3. – С. 68–73.
6. Aleksanyants G. Signal indicators of regulatory changes in the respiratory system under physiological deviation conditions / G. Aleksanyants, S. Pogodina, V. Yuferev, I. Epishkin // *Bulletin of the Georgian national academy of sciences*. – 2018. – Vol.12, No 4. – P. 13–19.
7. Каплан А. Я. Экспериментально-теоретические основания и практические реализации технологий «ИНТЕРФЕЙС МОЗГ – КОМПЬЮТЕР» / А. Я. Каплан, А. Г. Кочетова, С. Л. Шишкин, И. А. Басюл, И. П. Ганин, А. Н. Васильев, С. П. Либушкина // *Бюллетень сибирской медицины*. – 2013. – Т. 127, вып. 2. – С. 21–29.
8. Тамбовцева Р. В. Общие и частные закономерности возрастного развития энергообеспечения мышечной деятельности / Р. В. Тамбовцева // *Новые исследования*. – 2011. – Т. 1, вып. 27. – С. 73–83.

9. Харитонов Л. Г. Теоретическое и экспериментальное обоснование типов адаптации в спортивном онтогенезе лыжников-гонщиков / Л. Г. Харитонов, В. И. Михалев, Ю. В. Шкляев // Теория и практика физической культуры. – 2000. – вып. 10. – С. 24–28.
10. Горст В. Р. Рассогласование ритмов сердечно-сосудистой и дыхательной систем при максимальных физических нагрузках / В. Р. Горст, Н. А. Горст, М. В. Полукова, А. Б. Багамаева, Л. В. Шебеко // Астраханский медицинский журнал. – 2011. – Т. 6, вып. 2. – С. 242–244.

TECHNOLOGIES OF EXPRESS DIAGNOSTICS IN THE MANAGEMENT OF TRAINING LOAD AND FUNCTIONAL STATE OF YOUNG KARATE AT THE PRE-COMPETITION STAGE

Timofeeva S. N., Timofeev V. D., Pogodina S. V.

*V. I. Vernadsky Crimean Federal University, Simferopol, Crimea, Russian Federation
E-mail: kafedra.sporta@cfuv.ru*

The article shows the expediency of the use of technologies of Express diagnostics of functional capabilities in the specific conditions of the training process of young karate 10–11 years at the pre-competition stage. For the determination of lactate used the lactate analyzer LACTATE PLUS, the content of oxygen in arterial blood was determined using a pulse oximeter, pulsometry parameters of the current training load was recorded using the heart rate sensor, POLAR H10. Regulatory nervous processes were investigated on the hardware complex Biomysh Research. As the stress effects in the main part of the classes offered 6 series of training forms of competitive exercises lasting 1min 30s, which simulated competitive mode of operation – anaerobic-aerobic. Measurements of lactate parameters and oxygen content in arterial blood were carried out during 2-minute rest after each load series. Regulatory nerve processes were investigated before and after the session. The results were processed using the STATISTICA 10.0 software package. It was found that when performing competitive series in anaerobic-aerobic mode at the end of pre-competition mesocycle in 46,15 % of young athletes determined metabolic and functional changes corresponding to anaerobic-aerobic mode of operation (lactate content in the range of 5–7 mmol/l, HR total within 178–186 b/m, the amount of oxygen in the arterial blood within 94–96 %). While 38,46 % of young athletes showed signs of functional stress – lactate content in the range of 9–12 mmol/l, total HR within 201–206 b/m, the amount of oxygen in the arterial blood within 80–82 %. Also, 15,38 % of young athletes had signs of atypical metabolic reactions (lactate content drop below 1 mmol/l). The signs of tension of regulation of a heart rate and atypical reactions revealed at athletes of 10–11 years can be considered as criterion of disadaptation with the forecast of low efficiency at a competitive stage.

In preparing young athletes for competitions, the target management of the training process is fundamental, which is based on in-depth control of the functional capabilities of the body of children who are promising for reserve sports [1]. Today, for an objective assessment of the functional state of athletes, express diagnostics technologies of adaptation functions are used – lactate analyzers [2, 3], heart rate sensors and pulse oximeters [4], portable spirographs [5, 6] and rheophotoplethysmographs [7]. The use of mobile laboratory

equipment complexes allows, in specific training conditions, to quickly adjust the choice of training modes that do not reduce the effectiveness of adaptation at the stage of preparation for competitions. In turn, in the express assessment of the functional capabilities of athletes, a methodical approach is used that allows correlating the magnitude of the training load and real training effects: the total pulse cost of work, the direction of metabolic pathways of energy supply, ventilatory "request", hemodynamic and regulatory shifts.

Based on the use of technologies for express assessment of the functional capabilities of karatekas aged 10–11 years under specific training conditions, metabolic and regulatory changes were identified and differentiated by physiological effects. When performing competitive series in anaerobic-aerobic work mode at the end of the pre-competition mesocycle, optimal metabolic and functional changes were determined in 46.15 % of karatekas.

Whereas 38.46 % of karatekas showed signs of tension in heart rate regulation and 15.38 % of karatekas showed signs of atypical metabolic reactions, which can be considered as a criterion of disadaptation with a prognosis of low performance at the main competitions of the season.

Keywords: rapid assessment, metabolic and functional effects, training forms of competitive exercises, anaerobic-aerobic mode of operation, karate 10–11 years, atypical reactions.

References

1. Iordanskaya F. A., Yudinova M. S. *Monitoring funktsional'noj podgotovlennosti yunyh sportsmenov – rezerva sporta vysshih dostizhenij*. Ehtapy uglublennoj podgotovki i sportivnogo sovershenstvovaniya, 142 p. (M.: Sovetskij sport, 2011).
2. Kalva-Filho C. A., Toubekis A., Zagatto A. M. [et al.] Reliability and validity of tethered swimming lactate minimum test and their relationship with performance in young swimmers, *Pediatric exercise science*, **3**, 383 (2017).
3. Wahl P., Manunzio C., Vogt F. [et al.] Accuracy of a modified lactate minimum test and reverse lactate threshold test to determine maximal lactate steady state, *J Strength Cond Re*, **31**, 3489 (2017).
4. Plews D. J., Scott B., Altinib M. [et al.] Comparison of heart-rate-variability recording with smartphone photoplethysmography, polar h7 chest strap, and electrocardiography, *International journal of sports physiology and performance*, 1324 p. (2017).
5. Pogodina S. V., Aleksanyanc G. D. Tekhnologiya integral'noj ocenki funktsional'nyh vozmozhnostej vysokokvalificirovannyh sportsmenov raznogo vozrasta na osnove modelirovaniya adaptacionnyh processov, *Fizicheskaya kul'tura, sport – nauka i praktika*, **3**, 68 (2018).
6. Aleksanyants G., Pogodina S., Yuferev V., Epishkin I. Signal indicators of regulatory changes in the respiratory system under physiological deviation conditions, *Bulletin of the Georgian national academy of sciences*, **4**, 13 (2018).
7. Kaplan A. YA., Kochetova A. G., SHishkin S. L., Basyul I. A., Ganin I. P., Vasil'ev A. N., Liburkina S. P. Eksperimental'no-teoreticheskie osnovaniya i prakticheskie realizacii tekhnologii «INTERFEJS MOZG – KOMP'YUTER», *Byullyuten' sibirskoj mediciny*, **2**, 21 (2013).
8. Tambovceva R. V. Obshchie i chastnye zakonomernosti vozniknoveniya razvitiya ehnergoobespecheniya myshechnoj deyatel'nosti, *Novye issledovaniya*, **27**, 73 (2011).
9. Haritonova L. G., Mihalev V. I., SHklyayev YU. V. Teoreticheskoe i ehksperimental'noe obosnovanie tipov adaptacii v sportivnom ontogeneze lyzhnikov-gonshchikov, *Teoriya i praktika fizicheskoy kul'tury*, **10**, 24 (2000).
10. Gorst V. R., Gorst N. A., Polukova M. V., Bagamaeva A. B., Shebeko L. V. Rassoglasovanie ritmov serdechno-sosudistoj i dyhatel'noj sistem pri maksimal'nyh fizicheskikh nagruzkah, *Astrahanskij medicinskij zhurnal*, **2**, 242 (2011).

УДК 598.288.5::59:069

DOI 10.29039/2413-1725-2025-11-1-208-225

КАТАЛОГ КОЛЛЕКЦИИ «ЗООЛОГИЧЕСКОГО МУЗЕЯ ЮФУ».
СООБЩЕНИЕ 14. ОТРЯД ВОРОБЬИНООБРАЗНЫЕ – PASSERIFORMES,
СЕМЕЙСТВО ДРОЗДОВЫЕ – TURDIDAE

Тимофеев Ю. В., Саломатина А. И., Синявская В. С.

Южный федеральный университет, Ростов-на-Дону, Россия
E-mail: ymal@sfedu.ru

Работа продолжает серию статей, посвящённых описанию таксономического многообразия и каталогизации животных, представленных в фондах «Зоологического музея ЮФУ». В статье представлен аннотированный каталог птиц отряда Воробьинообразные, семейства Дроздовые, в котором содержится информация о 21 виде и 134 экземплярах: *Turdus ruficollis*, *T. pilaris*, *T. torquatus*, *T. merula*, *T. iliacus*, *T. philomelos*, *T. viscivorus*, *Monticola saxatilis*, *Phoenicurus phoenicurus*, *Ph. ochruros*, *Ph. erythrogaster*, *Erithacus rubecula*, *Luscinia megarhynchos*, *L. luscinia*, *L. svecica*, *Saxicola rubetra*, *S. rubicola*, *Oenanthe oenanthe*, *Oe. pleschanka*, *Oe. melanoleuca*, *Oe. isabellina*. Большая часть экземпляров собрана на территории современных границ Российской Федерации, ряд тушек собран в Абхазии и Украине. Годы сбора коллекции с 1942 по 1991 гг. Коллекция представлена тушками и чучелами. Каталог содержит информацию о внутреннем музейном номере для каждого экземпляра, латинском и русском названии, поле особи, типе хранимого материала, стране, в котором был произведен сбор, регионе, подробном месте сбора, дате сбора материала, коллекторе и препараторе, состоянии, а также включает различного рода примечания.

Ключевые слова: Зоологический музей, коллекционный фонд, Passeriformes, Turdidae, каталог.

ВВЕДЕНИЕ

Зоологические коллекции, представляющие собой систематизированные собрания животных (чучел, тушек, скелетов, шкур животных, других объектов животного происхождения), играют очень важную роль в изучении биоразнообразия. Музейные коллекции становятся материалом при описании морфологических признаков, например, в фундаментальном 6-ти томном издании «Птицы Советского Союза» (1951–1954) [1], при указании географических ареалов для Атласа гнездящихся птиц европейской части России (2020) [2] и многих других трудов.

В последние годы активно ведутся исследования по извлечению генетической информации из старых музейных коллекций. Зоологические коллекции являются объектом для изучения генетической изменчивости видов [3], сравнительного морфологического анализа, подготовки региональных фаунистических сводок [4] и т. д. В зоологических коллекциях могут содержаться промежуточные по морфологии и окраске виды птиц, благодаря молекулярным методам анализа проводится идентификация гибридных особей [5].

Электронные зоологические каталоги обеспечивают сохранность данных, доступность и стандартизацию информации о музейной коллекции. В связи с этим в России ведется работа над ревизией и цифровизацией крупнейших зоологических коллекций. На федеральном уровне выпускаются законы о зоологических коллекциях и определяется порядок создания, хранения и их использования [6].

Создаются единые банки-депозитарии, например, Национальный банк-депозитарий живых систем с размещенной на нем информацией о коллекции Московского государственного университета им. М. В. Ломоносова [7].

Сотрудниками Зоологического института РАН в рамках работ по оцифровке коллекций была создана уникальная поисковая информационная система, включающая таксономическую, географическую, библиографическую информацию и высококачественные цифровые изображения [8].

В Южном федеральном университете сотрудниками кафедры зоологии проводятся работы по инвентаризации и каталогизации зоологической коллекции, представленной в фондах «Зоологического музея ЮФУ» (далее – музей).

Опубликованы сообщения о структуре и составе избранных групп животных: каталог коллекции врановых птиц [9], каталог коллекции жуков (Carabidae) [10, 11], бабочек листовёрток (Tortricidae) [12], бабочек парусников (Papilionidae) [13] и др.

Настоящая работа продолжает серию статей, посвященных описанию таксономического многообразия и каталогизации птиц музея. В процессе инвентаризации коллекции воробьинообразных птиц были оцифрованы 1214 музейных экспоната. В настоящее время проводится второй этап работ, связанных с актуализацией географических названий, верификацией ряда экземпляров, систематизацией, уточнением информации с этикеток. Семейство Дроздовые по количеству видов является самым многочисленным в коллекции воробьинообразных музея. В фауне СССР отмечалось около 50 видов этого семейства [1]. Дроздовые мелкой и средней величины, длина тела варьируется от 130 мм (*Saxicola rubetra*) до 340 мм (*Myophonus coeruleus*) [1]. У ряда видов самцы крупнее самок. Половой диморфизм в окраске у одних видов развит, у других не выражен. Семейство имеет очень широкое распространение, к нему относится большое число родов, значительно различающихся по местообитаниям, образу жизни. В коллекции музея представлен 21 вид семейства Дроздовые.

Целью работы является формирование аннотированного каталога по самому многочисленному семейству музейной коллекции отряда Воробьинообразные. Для составления каталога была проведена комплексная инвентаризация всех воробьинообразных музея, верификация таксономического состава, устранение ошибок и неточностей информации по экземпляру, составление новых этикеток и систематизация материала.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Зоомузей ЮФУ включает объемную орнитологическую коллекцию, датируемую с начала XX вв. В рамках нашего исследования проведена ревизия коллекционного материала и составлен аннотированный каталог воробьинообразных музея. Работа осуществлялась путём перевода в электронную

версию базы данных непосредственно с этикеток единиц хранения. Данные с этикеток содержат информацию о латинском и русском названии, поле особи, типе хранимого материала, стране, в котором был произведен сбор, регионе, подробном месте сбора, дате сбора материала, коллекторе и препараторе, состоянии, а также включает различного рода примечания. В примечаниях содержится информация о размерах особей, уточнения обстоятельств сбора, старые номера и т. д. Следующим этапом было уточнения таксономической принадлежности некоторых экземпляров птиц, а также в устранении ошибок, корректировке дат, топонимов, уточнении имён коллекторов и препараторов.

Орнитологическая коллекция музея включает в себя чучела и тушки. Большая часть обработанной коллекции имеет этикетки, со всей необходимой информацией, однако при долгосрочном хранении часть этикеток потеряла первоначальный вид, текст стал нечитабельным или географические данные стали не актуальны. В связи с реорганизацией университета, а также переездом, некоторые этикетки и тушки были потеряны, или находились в других коробках. В процессе обработки коллекции проводилась систематизация материала и уточнялись валидные географические данные регионов сбора, которые указывались на обратной стороне на новых этикетках.

Порядок и современные русские названия уточнялись по систематике Коблика Е. А. [14]. Географические названия регионов сбора актуализировались в связи с изменением границ субъектов РФ. Ряд мест, например, Андреевский парк, невозможно определить и добавить субъект, без дополнительных уточнений к месту.

Для орнитологической коллекции создан внутренний классификатор орнитологической музейной коллекции, который включает в себя порядковый номер и первые буквы названия отряда, семейства, вида для отображения таксономической иерархии. Например:

Pass_Tur_TR_001, где Pass образовано от Passeriformes, Tur от Turdidae, TR от *Turdus ruficollis*, а 001 это порядковый номер в границах вида.

В аннотированном списке введены следующие сокращения:

Кл. – клюв; колл. – коллектор; кр. – крыльев; окр. – окрестность, окрестности; п – поселок; преп. – препаратор; р-н – район; ст. – станица; хв. – хвост; цв. – цевка; ♂ – самец; ♀ – самка; j – ювенильная особь.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Электронный каталог семейства Дроздовые (Turdidae) включает 21 вид: *Turdus ruficollis*, *T. pilaris*, *T. torquatus*, *T. merula*, *T. iliacus*, *T. philomelos*, *T. viscivorus*, *Monticola saxatilis*, *Phoenicurus phoenicurus*, *Ph. ochruros*, *Ph. erythrogastrus*, *Erithacus rubecula*, *Luscinia megarhynchos*, *L. luscinia*, *L. svecica*, *Saxicola rubetra*, *S. rubicola*, *Oenanthe oenanthe*, *Oe. pleschanka*, *Oe. melanoleuca*, *Oe. isabellina* и 134 экземпляра.

T. ruficollis Pallas, 1776

Материал:

1. Pass_Tur_TR_001, тушка, ♂, Россия, Забайкальский край, Забайкальский р-н, окр-ти п. Даурия, 21.04.1973, колл. В. П. Белик.

T. pilaris Linnaeus, 1758

Материалы:

1. Pass_Tur_TPi1_001, тушка, ♂, Россия, Краснодарский край, Армавир, опушка леса у южной окр. Старой станицы, 05.02.1962, колл. Жарова Т., Размеры экземпляра: "Дл 215, кр 143, разм 435, хв 73, пл 39, кл 18, test л, п 0,5";
2. Pass_Tur_TPi1_002, тушка, Россия, Краснодарский край, Приморско-Ахтарский р-н, плавни в окр-ти Приморско-Ахтарска, 29.02.1963;
3. Pass_Tur_TPi1_003, чучело, ♂, Россия, Ростовская область, 16.11.1947, примечание: представленная информация о точном месте нахождения нечитабельна;
4. Pass_Tur_TPi1_004, тушка, Россия, Ростовская область, Мясниковский р-н, балка Донской Чулек, 23.11.1962, колл. Тараненко Л. И. ;
5. Pass_Tur_TPi1_005, тушка, ♂, Россия, Ростовская область, Октябрьский р-н, п. Персиановский, 02.03.1947, колл./преп. Нечаев Б. А. ;
6. Pass_Tur_TPi1_006, тушка, ♀, Россия, Ростовская область, Ростов-на-Дону, Ботанический сад, 04.11.1947, колл./преп. Нечаев Б. А. ;
7. Pass_Tur_TPi1_007, тушка, ♀, Россия, Ростовская область, Октябрьский р-н, п. Персиановский, 02.03.1947, колл./преп. Нечаев Б. А. ;
8. Pass_Tur_TPi1_008, тушка, ♀, Россия, Ростовская область, Тацинский р-н, 01.03.1965, колл./преп. Петров В.С.;
9. Pass_Tur_TPi1_009, тушка, ♀, Россия, Ростовская область, Ростов-на-Дону, долина р. Донской Чулек, 10.11.1962, колл./преп. Тараненко Л. И.;
10. Pass_Tur_TPi1_010, тушка, Россия, Ростовская область, Тацинский р-н, 01.03.1965, колл./преп. Петров В.С.

T. torquatus Linnaeus, 1758

Материалы:

1. Pass_Tur_TT_001, тушка, ♂, Россия, Республика Адыгея, Майкопский р-н, плато Лаго-Наки, 25.06.1975, колл./преп. Казаков Б. А., Бахтадзе Г.Б.;
2. Pass_Tur_TT_002, тушка, j, Россия, Республика Адыгея, Майкопский р-н, Плато Лаго-Наки, 15.07.1987.

T. merula Linnaeus, 1758

Материалы:

1. Pass_Tur_TM_001, чучело, ♂, 02.10.1948;
2. Pass_Tur_TM_002, тушка, ♂, Украина, Днепропетровская область, Томаковский р-н, правый берег р. Днепр, в 2,5 км к востоку от с. Тарасовка, 26.10.1949, колл./преп. Ерохин И. Н.;
3. Pass_Tur_TM_003, тушка, ♂, Россия, Краснодарский край, Геленджикский р-н, окр-ти с. Михайловский перевал, 10.07.1969, колл./преп. Лихицкая, Жильцова, размеры экземпляра: "Дл туловища 145 мм, хвоста 95 мм, крыла 122 мм";
4. Pass_Tur_TM_004, тушка, ♂, j, Россия, Краснодарский край, Геленджикский р-н, окр-ти с. Михайловский перевал, 11.07.1964, колл./преп. Бакшин, размеры экземпляра: "Дл тела 243 мм, клюва 31 мм, хвоста 104 мм, цевки 30, крыла 119";

5. Pass_Tur_TM_005, тушка, ♀, j, Россия, Краснодарский край, Новокубанский р-н, лес в пойме р. Уруп, на 16 км шоссе Армавир-Отрадная, 13.07.1961, колл./преп. Жарова Т., размеры экземпляра: "Дл 221, кр 122, разм 350";
6. Pass_Tur_TM_006, тушка, Россия, Краснодарский край, Геленджикский р-н, окр-ти с. Михайловский перевал, 01.07.1964, колл./преп. Зограбян, Полянская.;
7. Pass_Tur_TM_007, тушка, ♂, Россия, Краснодарский край, Новороссийский р-н, окр-ти г. Новороссийска, 20.06.1957, колл./преп. Петров В. С.;
8. Pass_Tur_TM_008, тушка, Россия, Краснодарский край, Геленджикский р-н, с. Михайловский перевал, колл./преп. Соломахина, размеры экземпляра: "L 130, крыло 138, цевка 30, хвост 116, клюв 25";
9. Pass_Tur_TM_009, тушка, ♂, Россия, Краснодарский край, Новороссийский р-н, Спортивный лагерь Лиманчик, 15.06.1958, колл. Б. А. Казаков, преп. Чукуриди.;
10. Pass_Tur_TM_010, этикетка, ♂, j, Россия, Республика Адыгея, Майкопский р-н, Посёлок Никель, 06.07.1971, колл./преп. Шляхова, размеры экз.: "Т 140 мм, хв 98 мм, кр 130 мм, кл 25";
11. Pass_Tur_TM_011, этикетка, ♂, Россия, Ростовская область, Ростов-на-Дону, Ботанический сад, 25.04.1948, колл. Нечаев Б. А., преп. Астраханцева;
12. Pass_Tur_TM_012, тушка, Россия, Республика Адыгея, Майкопский р-н, окр-ти пос. Никель, 1979;
13. Pass_Tur_TM_013, тушка, ♂, Россия, Республика Адыгея, Майкопский р-н, плато Лаго-Наки, пихтовый лес, 23.07.1977, Казаков Б. А.;
14. Pass_Tur_TM_014, тушка, ♂, Россия, Республика Адыгея, Майкопский р-н, окр-ти пос. Никель, 10.06.1971, колл./преп. Дан Ван И, Нго Ши Нам, размеры экз.: "Длина тела 135 мм, кр 130 мм, хв 180 мм, кл 24 мм, пл 35 мм, сем 8,7x7,9";
15. Pass_Tur_TM_015, чучело, ♀, Россия, Ростовская область, окр-ти Ростова-на-Дону, 1948;
16. Pass_Tur_TM_016, тушка, ♀, Россия, Ростовская область, Ростов-на-Дону, Ботанический сад, 24.10.1947, колл. Лерхе А. В.;
17. Pass_Tur_TM_017, тушка, ♂, Россия, Ростовская область, Мясниковский р-н, х. Мокрый Чалтырь, 27.12.1967;
18. Pass_Tur_TM_018, тушка, ♀, Россия, Ростовская область, Ростов-на-Дону, Ботанический сад, 27.04.1949, колл. Нечаев Б. А., преп. Хайдурова;
19. Pass_Tur_TM_019, тушка, ♂, Россия, Ростовская область, Ростов-на-Дону, Ботанический сад, 24.10.1947, колл./преп. Лерхе А. В.;
20. Pass_Tur_TM_020, тушка, ♀, Россия, Ростовская область, Ростов-на-Дону, Ботанический сад, 12.04.1949, колл. Нечаев Б. А., преп. Хайдурова;
21. Pass_Tur_TM_021, тушка, j, Россия, Ставропольский край, Грачёвский р-н, хутор Нагорный, 22.06.1964.

T. iliacus Linnaeus, 1758

Материалы:

1. Pass_Tur_TI_001, чучело, примечание: информация на этикетках нечитабельна;

2. Pass_Tur_TI_002, чучело, ♀, Ботанический сад, 19.10.1949, колл. А. В. Лерхе, преп. Хайдурова;
3. Pass_Tur_TI_003, тушка, Россия, Краснодарский край, Темрюкский р-н, 20.11.1963, колл./преп. Харченко В.;
4. Pass_Tur_TI_004, тушка, ♀, Россия, Ростовская область, Ростов-на-Дону, Ботанический сад, 24.10.1947, колл./преп. Лерхе А. В. ;
5. Pass_Tur_TI_005, тушка, ♀, Россия, Ростовская область, Ростов-на-Дону, Ботанический сад, 23.10.1946, колл./преп. Лерхе А. В. ;
6. Pass_Tur_TI_006, тушка, ♀, Россия, Ростовская область, Ростов-на-Дону, Ботанический сад, 19.10.1949, колл. Лерхе А. В, преп. Хайдурова;
7. Pass_Tur_TI_007, тушка, ♂, Россия, Ростовская область, Ростов-на-Дону, Ботанический сад, 20.10.1948, колл. Лерхе А. В., преп. Астраханцева;
8. Pass_Tur_TI_008, тушка, ♂, Россия, Ростовская область, Ростов-на-Дону, Ботанический сад, 23.10.1946, колл. Лерхе А. В.

T. philomelos C.L. Brehm, 1831

Материалы:

- 2) Pass_Tur_TP_001, чучело примечание: информация на этикетках нечитабельна;
- 3) Pass_Tur_TP_002, чучело, ♂, Андреевский парк, 1947;
- 4) Pass_Tur_TP_003, тушка, ♂, Россия, Краснодарский край, Новокубанский р-н, Урёмный лес в долине Урупа на 16 км шоссе Армавир-Отрадная, 09.06.1961, колл./преп. Жарова Т., размеры экземпляра: "Дл 250, кр 115, разм 350, test сильно увеличены";
- 5) Pass_Tur_TP_004, тушка, ♂, Россия, Краснодарский край, Геленджикский р-н, опушка лес в окр-ти с. Михайловский перевал, 16.06.1965, колл./преп. Загадова, Сиренко, размеры экземпляра: "L 135 мм, Lcd 65 мм, пл 32 мм, кр 120 мм, кл 13 мм";
- 6) Pass_Tur_TP_005, тушка, ♂, Россия, Краснодарский край, Геленджикский р-н, с. Михайловский перевал, июнь 1965, колл./преп. Тарасова, Тумасова, размеры экземпляра: "Клюв 25 мм, хвост 70 мм, цевка 35 мм, крыло 113 мм";
- 7) Pass_Tur_TP_006, тушка, Россия, Республика Адыгея, Майкопский р-н, окр-ти п. Никель, 30.07.1971, колл./преп. Мячина, Шевченков, Кобылко;
- 8) Pass_Tur_TP_007, тушка, ♂, j, Россия, Республика Адыгея, Майкопский р-н, окр-ти п. Никель, 25.06.1974, колл./преп. Акунина О.;
- 9) Pass_Tur_TP_008, тушка, j, Россия, Республика Адыгея, Майкопский р-н, пойма р. Белой, правый берег в окр-ти п. Никель, 30.06.1977, колл. Рябинин С. Ю. ;
- 10) Pass_Tur_TP_009, тушка, ♀, j, Россия, Ростовская область, Азовский р-н, п. Ленинский лесхоз, 1959, размеры экземпляра: "ТиГ 185, хв 90, кр 115, пл 32,5";
- 11) Pass_Tur_TP_010, тушка, ♀, Россия, Ростовская область, окр-ти г. Ростов-на-Дону, 04.10.1958;
- 12) Pass_Tur_TP_011, тушка, ♂, Россия, Ростовская область, Куйбышевский р-н, С. Куйбышево, 27.10.1971, колл./преп. Докунихина Э. Н.;

- 13) Pass_Tur_TP_012, тушка, ♀, Россия, Ростовская область, Ростов-на-Дону, Ботанический сад, 09.10.1948, колл. Нечаев Б. А., преп. Астраханцева;
- 14) Pass_Tur_TP_013, тушка, ♂, Россия, Ростовская область, Ростов-на-Дону, Ботанический сад, 1948, колл. Лерхе А. В., преп. Астраханцева.;
- 15) Pass_Tur_TP_014, тушка, ♂, Россия, Ростовская область, Усть-Донецкий р-н, ст. Нижнекундрюческая, 20.05.1960, колл./преп. Петров В. С.;
- 16) Pass_Tur_TP_015, тушка, Россия, Ростовская область, Мясниковский р-н, х. Недвиговка, 1942;
- 17) Pass_Tur_TP_016, тушка, ♂, Россия, Ростовская область, Мясниковский р-н, х. Недвиговка, 06.10.1948, колл. Лерхе А. В., преп. Хайдурова;
- 18) Pass_Tur_TP_017, тушка, ♀, Россия, Ростовская область, Ростов-на-Дону, Ботанический сад, 24.10.1947;
- 19) Pass_Tur_TP_018, тушка, ♂, Россия, Ростовская область, Ростов-на-Дону, Ботанический сад, 1948, колл. Лерхе А. В., преп. Астраханцева;
- 20) Pass_Tur_TP_019, тушка, ♀, Россия, Ростовская область, Ростов-на-Дону, Ботанический сад, 01.11.1948, колл. Лерхе А. В., преп. Астраханцева;
- 21) Pass_Tur_TP_020, тушка, Россия, Ростовская область, Ростов-на-Дону, Ростов-на-Дону, 22.10.1967.

T. viscivorus Linnaeus, 1758

Материалы:

1. Pass_Tur_TV_001, чучело, ♀, Андреевский парк, 1947;
2. Pass_Tur_TV_002, тушка, ♀, Россия, Донецкая область, Донецкий р-н, с. Дмитровка, 10.10.1971, колл./ преп. Докунихина Э. Н.;
3. Pass_Tur_TV_003, тушка, Россия, Ростовская область, Ростов-на-Дону, окр-ти г. Ростова-на-Дону, 04.10.1958, размеры экземпляра: "ТиГ 272, хв 105, кр 150, пл 33,4".

Monticola saxatilis (Linnaeus, 1766)

Материалы:

1. Pass_Tur_MSax_001, ♀, 15.06.1970, Россия, Краснодарский кр., Новороссийский р-н., окр-ти спортивного лагеря Лиманчик, колл. Пахомова, Клейменова, преп. Пахомова, Клейменова, размеры экз.: "Вес 54,7 г, кр. 12 см, хв. 5 см, цв. 2,3 см, кл. 5,3 см";
2. Pass_Tur_MSax_002, ♂, 15.06.1959, Россия, Краснодарский кр., Новороссийский р-н, опушка леса на склоне долины р. Озерейка в окр-ти п. Южная Озереевка.

Ph. phoenicurus (Linnaeus, 1758)

Материалы:

1. Pass_Tur_PP_001, чучело, ♂.;
2. Pass_Tur_PP_002, чучело, ♀.;
3. Pass_Tur_PP_003, чучело.;
4. Pass_Tur_PP_004, тушка, ♂, Россия, Краснодарский край, Каневской р-н, Сладко-лиманское охотничье хозяйство, 26.04.1961, колл./преп. Дементьева А.;

5. Pass_Tur_PP_005, тушка, ♂, Россия, Краснодарский край, Геленджикский р-н, размеры экземпляра: "Хв 62 мм, клюв 11 мм, крыло 79 мм", Волкова.;

6. Pass_Tur_PP_006, тушка, ♀, j, Россия, Краснодарский край, Новороссийский р-н, Л. у южного берега озера Абрау, 26.06.1958, колл. Петров В. С., преп. Курдова.;

7. Pass_Tur_PP_007, тушка, ♀, Россия, Ростовская область, Заветинский р-н, 4 км к востоку от х. Андреев, 19.05.1966, колл./преп. Петров В. С., Конева В. А., размеры экземпляра: "Вес 16,36 г, цв. 22,1";

8. Pass_Tur_PP_008, тушка, ♂, Россия, Ростовская область, Усть-Донецкий р-н, Пойменный л. у станицы Раздорской, 13.05.1964, колл./преп. Петров В. С.;

9. Pass_Tur_PP_009, тушка, ♂, Россия, Ростовская область, Усть-Донецкий р-н, Пойменный л. у станицы Раздорской, 13.05.1964, колл./преп. Петров В. С.;

10. Pass_Tur_PP_010, тушка, ♀, Россия, Ростовская область, Заветинский р-н, окр-ти с. Заветное, 13.05.1965, колл./преп. Петров В. С.;

11. Pass_Tur_PP_011, тушка, ♀, Россия, Ростовская область, Мясниковский р-н, Окр-ти х. Недвиговка, 02.10.1960, колл./преп. Петров В. С.

Ph. ochruros (S. G. Gmelin, 1774)

Материалы:

1. Pass_Tur_PO_001, тушка, ♂, Грузия (в настоящее время Республика Абхазия), Гулрыпшский р-н., р. Кодор, примерно 2600 м над уровнем моря, 31.08.1968;

2. Pass_Tur_PO_002, тушка, Россия, Республика Адыгея, Майкопский р-н, плато Лаго-Наки, 07.07.1987.

Ph. erythrogastrus (Guldenstadt, 1775)

Материалы:

1. Pass_Tur_PE_001, тушка;

Erithacus rubecula (Linnaeus, 1758)

Материалы:

1. Pass_Tur_ER_001, тушка, ♂, 20.10.1948, колл. Лерхе А. В., преп. Хайдурова,

2. Pass_Tur_ER_002, тушка, ♂, Краснодарский кр., Геленджикский р-н, Лиственный л. Михайловский привал, 21.06.1969;

3. Pass_Tur_ER_003, тушка, ♂, Адыгейская Республика Майкопский р-н, п. Никель, 9.07.1987, колл./преп. Боровлева О. М.

L. megarhynchos C. L. Brehm, 1831

Материалы:

1. Pass_Tur_LM_001, тушка, ♀, Россия, Краснодарский край, Геленджикский р-н, с. Михайловский перевал, 07.07.1964.

L. luscinia (Linnaeus, 1758)

Материалы:

1. Pass_Tur_LL_001, чучело, 1978;

2. Pass_Tur_LL_002, чучело;
3. Pass_Tur_LL_003, тушка, ♀, Россия, Краснодарский край, Новокубанский р-н, Поуменный л. в долине р. Уруп, на 10 км шоссе Армавир-Отрадная, 16.08.1960, колл./преп. Жаров В., размеры экз.: "Дл 166, кр 92, хв 67, кл 11";
4. Pass_Tur_LL_004, тушка, Краснодарский край, Геленджикский р-н, Михайловский перевал лиственный лес, 21.06.1969, колл./преп. Скорилк, размеры экземпляра: "Е-70, кр.-73, кл.-11, пл.-25";
5. Pass_Tur_LL_005, тушка, ♀, Россия, Республика Калмыкия, Черноземельский р-н, окр-ти п. Кумской, 15.05.1962, размеры экземпляра: "ТиГ 158, хв. 69, кр. 89, кл. 13,7, цв. 27";
6. Pass_Tur_LL_006, чучело, Россия, Ростовская область, Ростов-на-Дону, парк т-ра М. Горького, 1948;
7. Pass_Tur_LL_007, тушка, Россия, Ростовская область, Шолоховский р-н, окр-ти хуторов Верхнедударевского и Колундаевского, 27.06.1962, колл./преп. Петров В. С.;
8. Pass_Tur_LL_008, тушка, ♂, Россия, Ростовская область, Куйбышевский р-н, окр-ти с. Куйбышево, 08.05.1972;
9. Pass_Tur_LL_009, тушка, ♂, Россия, Ростовская область, Ростов-на-Дону, Ботанический сад, 15.05.1948, колл. Лерхе А. В., преп. Астраханцева;
10. Pass_Tur_LL_010, тушка, ♂, Россия, Ростовская область, Ростов-на-Дону, Ботанический сад, 10.05.1947, колл./преп. Лерхе А. В.;
11. Pass_Tur_LL_011, тушка, ♀, Россия, Ростовская область, Азовский р-н, с. Новотроицкое, 14.05.1960,
12. Pass_Tur_LL_012, тушка, ♀, Россия, Ростовская область, Азовский р-н, с. Новотроицкое, 15.05.1960, колл./преп. Лукина;
13. Pass_Tur_LL_013, тушка, ♂, Россия, Ростовская область, Шолоховский р-н, окр-ти станицы Вёшенской, 21.05.1969, колл. Петров В. С., преп. Конева В. А., размеры экз.: "Вес 24,76, гонады 7,6x5,5";
14. Pass_Tur_LL_014, тушка, ♀, Россия, Ростовская область, Заветинский р-н, окр-ти с. Заветное, 13.05.1965;
15. Pass_Tur_LL_015, тушка, ♂, Россия, Ростовская область, Усть-Донецкий р-н, Пойменный л. у ст. Раздорской, 7.05.1964, колл./преп. Петров В. С.

L. svecica (Linnaeus, 1758)

Материалы:

1. Pass_Tur_LS_001, чучело, ♂;
2. Pass_Tur_LS_002, тушка, ♀, Задонье, 27.09.1946, колл./преп. Лерхе. А. В.

S. rubetra (Linnaeus, 1758)

Материалы:

- Pass_Tur_SR_001, тушка, ♂, Краснодарский кр., Советский р-н, окр-ти х. Грязнушенское, 11.06.1961;

- Pass_Tur_SR_002, тушка, ♀, Ростовская область, Верхнедонской р-н, окр-ти х. Меловатский, 1965, колл./преп. Петров В. С.;
- Pass_Tur_SR_003, тушка, ♂, Ростовская область, окр. ст. Пролетарской, 26.08.1968.

S. rubicola (Linnaeus, 1766)

Материалы:

1. Pass_Tur_ST_001, чучело, 1986;
2. Pass_Tur_ST_002, тушка, ♀, Краснодарский край, окр-ти Славянска-на-Кубани, 16.6.1969, колл./преп. Казаков Б. А.;
3. Pass_Tur_ST_003, тушка, Республика Адыгея, Майкопский р-н, окр-ти Никеля, 8.7.1991, колл./преп. Барашенян, Размеры экз.: "Длина тела – 129, хв. – 45, цв. – 23, кл. – 11,1;
4. Pass_Tur_ST_004, тушка, ♂, Республика Адыгея, Майкопский р-н, п. Никель, 1990, колл./преп. Медведев, размеры экземпляра: "Длина тела – 130, клюва – 11, крыла – 66, хвоста – 49, цевки – 23, вес – 14,82, левое – 4,5, правое – 4,2*57".

Oe. oenanthe (Linnaeus, 1758)

Материалы:

1. Pass_Tur_OO_001, чучело, 1982;
2. Pass_Tur_OO_002, тушка, ♂, Р. Кубань, ст. Елизаветинская, 30.07.1960, колл./преп. Тараненко Л. И., размеры экземпляра: "Длина тела-160, кр.-95";
3. Pass_Tur_OO_003, тушка, ♀, Краснодарский край, окр-ти аула Октябрьский, 10.06.1960;
4. Pass_Tur_OO_004, тушка, ♀, Ставропольский край, Левокумский р-н, 6.06.1965,
5. Pass_Tur_OO_005, тушка, Ставропольский кр., Боргустанский хребет р. Кума, 19.06.1962;
6. Pass_Tur_OO_006, тушка, ♂, Краснодарский кр., Новокубанский р-н, склон, 4.07.1960;
7. Pass_Tur_OO_007, тушка, ♀, Ставропольский кр., Левокумский р-н, Ставрополь, 18.06.1965;
8. Pass_Tur_OO_008, тушка, ♂, Ставропольский край, 16.06.1965;
9. Pass_Tur_OO_009, тушка, Ставропольский кр., Александровка, 19.06.1964;
10. Pass_Tur_OO_010, тушка, ♂, Ставропольский край, Р. Кума, с. Архиповское, 09.07.1964, колл./преп. Талиев, размеры экземпляра: "длина – 152, кл. – 14, кр. – 92, пл – 28, хв. – 57, размах – 292".

Oe. pleschanka (Lepechin, 1770)

Материалы:

1. Pass_Tur_OP_001, тушка, ♂;
2. Pass_Tur_OP_002, тушка, Краснодарский край, Щербиновский район, оз. Лиманчик, 29.07.1970, колл./преп. Борисова/Тасалова, размеры экземпляра: "Е-14, хв. – 55, кр. – 90, цв. – 2,5см";

3. Pass_Tur_OP_003, тушка, ♂, с. Новотроицкое, скалы, 19.05.1960, преп. Лукина;
4. Pass_Tur_OP_004, тушка, Краснодарский край, Малохова/Лиманчик, 16.06.1970, размеры экз.: "Кл. – 11, хв. – 50, цв. – 23, кр. – 90";
5. Pass_Tur_OP_005, тушка, Ставропольский край, оз. Маныч-Гудило, 08.05.1960, колл./преп. Казаков Б. А.;

O. melanoleuca (Guldenstadt, 1775)

1. Pass_Tur_ON_001, тушка, ♂, Краснодарский край, Кубанский р-н, Склон Ставропольской возвышенности, 11.07.1960, размеры экземпляра: "Длина – 153, кр. – 91, хв. – 61.5, кл. – 12.5";
2. Pass_Tur_ON_002, тушка, ♀, Ростовская область, Тарасовский р-н, окр. х. Мость, 23.05.1965, колл./преп. В. С. Петров.

Oe. isabellina (Temminck, 1829)

1. Pass_Tur_OI_001, тушка, с. Новотроицкое, 19.05.1960, преп. Лукина;
2. Pass_Tur_OI_002, тушка, ♀, Республика Дагестан, Зелёный Артезиан, 21.04.1962;
3. Pass_Tur_OI_003, тушка, Ставропольский край, с. Александровка, 19.06.1964;
4. Pass_Tur_OI_004, тушка, Ставропольский край, Левокумский р-н, 04.06.1965;
5. Pass_Tur_OI_005, тушка, ♀, Ставропольский край, Прикумский р-н, с. Орловка, 03.06.1965;
6. Pass_Tur_OI_006, тушка, ♀, Ставропольский край, с. Александровское, 19.06.1964;
7. Pass_Tur_OI_007, тушка, ♀, Ставропольский край, Прикумский р-н, окр-ти с. Орловка, 03.06.1965;
8. Pass_Tur_OI_008, тушка, ♂, Ставропольский край, окр-ти с. Александровка, 19.06.1964.

Орнитологическая коллекция музея ЮФУ (бывшего РГУ) датируется с 1931 года по 2023 г. Коллекция претерпевала глубокие изменения. В XX вв. был распространен обмен коллекционными материалами между вузами и частными коллекциями. В связи с переездами, реорганизацией университета старые данные, описи и другая полезная информация о полном первоначальном составе музейной коллекции ЮФУ была утеряна. Ниже дан небольшой анализ существующей обработанной и оцифрованной коллекции музея.

По результатам инвентаризации, что самый многочисленный вид по количеству экземпляров – это черный дрозд (*T. merula*) – 21 экз., певчий дрозд (*T. philomelos*) – 20 экз., обыкновенный соловей (*L. luscinia*) – 15 экз. (рис. 1).

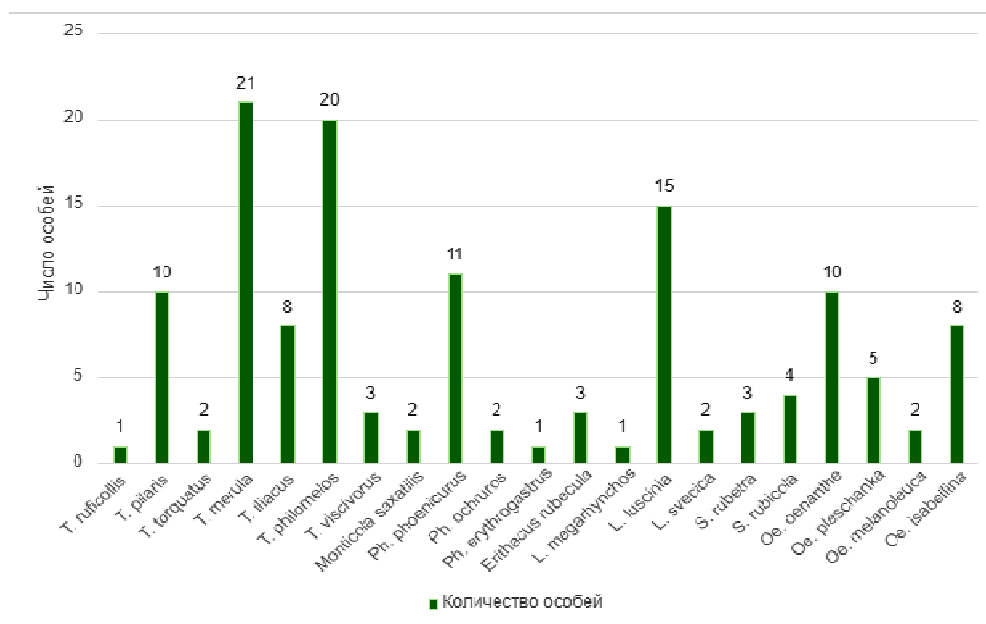


Рис. 1. Таксономический состав коллекции семейства Дроздовые в музее.

Тремя самыми многочисленными регионами по количеству отобранного материала являются: Ростовская область, Краснодарский край, Ставропольский край (табл. 1).

Тремя самыми многочисленными месяцами по сбору являются: июнь (30 особей), октябрь (20 особей) и июль (19 особей) (рис. 2).

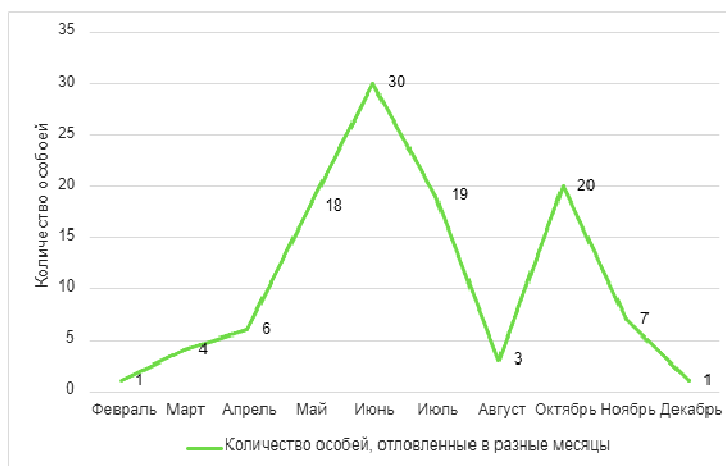


Рис. 2. Диаграмма распределения отловленных особей в разные месяцы.

Годы сбора коллекции семейства Дроздовые с 1942 по 1991 гг. (рис. 3). Работу над пополнением орнитологической коллекции проводили такие ведущие специалисты, как: Казаков Б. А., Петров В. С., Лерхе А. В., Нечаев Б. А. и др.

Таблица 1

Количество видов и особей по субъектам сбора

Субъект	Кол-во экз.	Кол-во видов
Днепропетровская область	1	1 (<i>T. merula</i>)
Донецкая область	1	1 (<i>T. viscivorus</i>)
Забайкальский край	1	1 (<i>T. ruficollis</i>)
Краснодарский край	30	14 (<i>T. merula</i> , <i>T. pilaris</i> , <i>T. iliacus</i> , <i>T. philomelos</i> , <i>Monticola saxatilis</i> , <i>Ph. phoenicurus</i> , <i>Erithacus rubecula</i> , <i>S. rubicola</i> , <i>L. megarhynchos</i> , <i>L. luscinia</i> , <i>S. rubetra</i> , <i>Oe. oenanthe</i> , <i>Oe. pleschanka</i> , <i>Oe. melanoleuca</i>)
Республика Абхазия	1	1 (<i>Ph. ochruros</i>)
Республика Адыгея	13	6 (<i>T. torquatus</i> , <i>T. merula</i> , <i>T. philomelos</i> , <i>Ph. ochruros</i> , <i>Erithacus rubecula</i> , <i>S. rubicola</i>)
Республика Дагестан	1	1 (<i>Oe. isabellina</i>)
Республика Калмыкия	1	1 (<i>L. luscinia</i>)
Ростовская область	53	11 (<i>T. pilaris</i> , <i>T. merula</i> , <i>T. iliacus</i> , <i>T. philomelos</i> , <i>T. viscivorus</i> , <i>Ph. phoenicurus</i> , <i>L. luscinia</i> , <i>S. rubetra</i> , <i>Oe. melanoleuca</i> , <i>Oe. pleschanka</i> , <i>Oe. isabellina</i>)
Ставропольский край	14	4 (<i>T. merula</i> , <i>Oe. Oenanthe</i> , <i>Oe. pleschanka</i> , <i>Oe. isabellina</i>)
Без указания субъекта	18	12 (<i>T. merula</i> , <i>T. iliacus</i> , <i>T. philomelos</i> , <i>T. viscivorus</i> , <i>Ph. phoenicurus</i> , <i>Ph. erythrogastrus</i> , <i>Erithacus rubecula</i> , <i>L. luscinia</i> , <i>L. svecica</i> , <i>S. rubicola</i> , <i>Oe. oenanthe</i> , <i>Oe. pleschanka</i>)

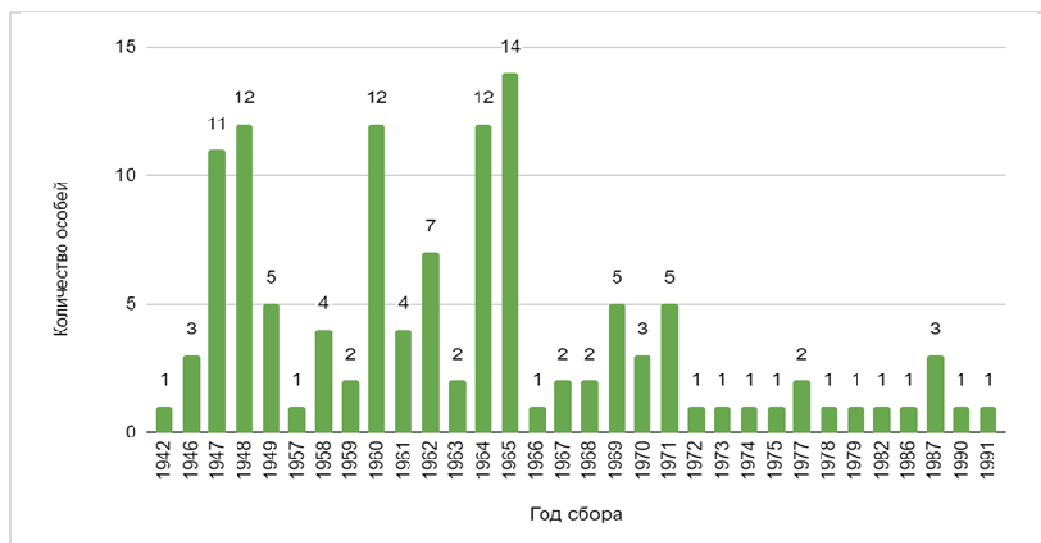


Рис. 3. Количество отловленных особей в определенные года.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Орнитологическая коллекция «Зоологического музея ЮФУ» включает 134 экземпляра семейства Дроздовые. Из 50 видов, обитающих в границах бывшего СССР, в музее представлен 21 вид, что является самым многочисленным в орнитологической коллекции отряда Воробьинообразные. Коллекция собрана с 1941 по 1991 гг. преимущественно на территориях, входящих в границы современной России, а также включает экземпляры из Абхазии и Украины.

За долгие годы коллекция претерпевала множество изменений, в том числе и негативных: некоторые экземпляры пришли в негодность в результате жизнедеятельности вредителей естественнонаучных коллекций, часть этикеток было утеряно. Между тем, до сегодняшнего дня удалось сохранить уникальные экземпляры, собранные ведущими специалистами: Казаковым Б. А., Петровым В. С., Лерхе А. В., Нечаевым Б. А. и другими.

Коллекция представляет ценный научный материал для дальнейших исследований и активно используется в изучении разнообразия и особенностей птиц в учебно-практической работе студентов университета. Она позволяет детально познакомиться с морфологическими особенностями изучаемых объектов, степенью их индивидуальной, возрастной, половой и сезонной изменчивости.

Создание электронной базы данных оптимизировало решение ряда задач, стоящих перед сотрудниками музея. Публикация полученных данных призвана сделать коллекцию музея более доступной для использования всеми заинтересованными специалистами.

Список литературы

1. Птицы Советского Союза / Г. П. Дементьев, Н. А. Гладков, Е. С. Птушенко [и другие] ; под общей редакцией [и с предисловием] Г. П. Дементьева, Н. А. Гладкова. – Москва : Советская наука, 1951–1954. – 6 т. ; 26 см. Т. 6. – 1954. – 792 с.
2. Атлас гнездящихся птиц европейской части России 2020 = Atlas of Breeding Birds of the European Part of Russia 2020 : Atlas of Breeding Birds of the European Part of Russia 2020 : 0+ / редколлегия: Е. А. Коблик [и др.]. – Москва : Фитон XXI, 2020. – 907 с.
3. Абрамсон Н. И. Генетические исследования зоологических коллекций на примере грызунов: промежуточные итоги и перспективы исследований / Н. И. Абрамсон, Т. В. Петрова // Биологические коллекции сегодня и завтра : Материалы Российской конференции с международным участием «Передовые практики и перспективы использования зоологических коллекций», Москва, 15–16 октября 2018 года. Том 20. – Москва: Общество с ограниченной ответственностью Товарищество научных изданий КМК, 2018. – С. 20–22. – EDN ZDBNLN.
4. Калякин М. В. Итоги и перспективы развития коллекционного дела в МГУ имени М.В. Ломоносова: зоологические коллекции / М. В. Калякин // Биологические коллекции сегодня и завтра : Материалы Российской конференции с международным участием «Передовые практики и перспективы использования зоологических коллекций», Москва, 15–16 октября 2018 года. Том 20. – Москва: Общество с ограниченной ответственностью Товарищество научных изданий КМК, 2018. – С. 52–59.
5. Политов Д. В. Молекулярно-генетические подходы к анализу внутривидовой структуры, микросистематики и микроэволюции птиц / Д. В. Политов, Е. А. Мудрик // Биологические коллекции сегодня и завтра : Материалы Российской конференции с международным участием «Передовые практики и перспективы использования зоологических коллекций», Москва, 15–16 октября 2018 года. Том 20. – Москва: Общество с ограниченной ответственностью Товарищество научных изданий КМК, 2018. – С. 115–118. – EDN BSESLE.
6. Администрация Президента России. Глава государства подписал Федеральный закон «О внесении изменения в статью 29 Федерального закона «О животном мире». URL: <http://www.kremlin.ru/acts/news/71394> (дата посещения 28.10.2024)
7. Национальный банк-депозитарий живых систем. URL: <https://animal.depo.msu.ru> (дата посещения 28.10.2024)
8. Abramov A. Scientific collections of the Zoological Institute of the Russian Academy of Sciences, Saint Petersburg / A. Abramov, L. Voyta, P. Kijashko // Biological Communications. – 2022. – Vol. 67, No. 4. – P. 331–339. DOI 10.21638/spbu03.2022.407. – EDN YRZHEZ.
9. Каталог коллекции животных кафедры зоологии академии биологии и биотехнологии им. Д. И. Ивановского Южного федерального университета. сообщение 8. отряд воробьинообразные – Passeriformes, семейство врановые – Corvidae / А. И. Саломатина, Ю. В. Тимофеев, В. С. Синяевская [и др.] // Экологический вестник Чувашской Республики. – 2024. – № 85. – С. 97–99. – EDN LOPGUC.
10. Маталин А. В. Каталог коллекции животных кафедры зоологии АБИБ им. Д. И. Ивановского ЮФУ. Сообщение 1 Отряд Жесткокрылые – Coleoptera, семейство жужелицы – Carabidae, подсемейство скакуны – Cicindelinae / Маталин А. В., Арзанов Ю. Г., Хачиков Э. А. // Живые и биокосные системы. 2019 № 29 С. 7
11. Кирюшкина О. И. Каталог коллекции животных кафедры зоологии Академии биологии и биотехнологии им. Д. И. Ивановского Южного федерального университета. Сообщение 7. Отряд жесткокрылые – Coleoptera, семейство жужелицы – Carabidae, подсемейство Nebriinae / О. И. Кирюшкина, Р. В. Романчук // Ученые записки Крымского федерального университета имени В.И. Вернадского. Биология. Химия. – 2023. – Т. 9, № 4. – С. 59–91.
12. Романчук Р. В. Каталог коллекции животных кафедры зоологии Академии биологии и биотехнологии им. Д. И. Ивановского Южного федерального университета. Сообщение 2 Отряд Чешуекрылые – Lepidoptera, семейство листовёртки – Tortricidae / Романчук Р. В., Кладкова О. А. // Ученые записки Крымского федерального университета имени В.И. Вернадского. Биология. Химия. – 2022. – Т. 8, № 1 – С. 140–155.

13. Романчук Р. В. Каталог коллекции животных кафедры зоологии академии биологии и биотехнологии им. Д. И. Ивановского Южного федерального университета. Сообщение 3. Отряд чешуекрылые – Lepidoptera, семейство парусники – Papilionidae / Р. В. Романчук, Е. А. Богаева, Н. С. Елфимова // Ученые записки Крымского федерального университета имени В. И. Вернадского. Биология. Химия. – 2023. – Т. 9, № 1. – С. 198–213. doi: 10.29039/2413-1725-2023-9-1-198-213
14. Коблик Е. А. Фауна птиц стран Северной Евразии в границах бывшего СССР. Списки видов [Текст] = Avifauna of the states of Northern Eurasia (former USSR). Checklists / Е. А. Коблик, В. Ю. Архипов. – Москва : Товарищество науч. изд. КМК, 2014. – 171 с.

CATALOG OF THE COLLECTION OF THE "ZOOLOGICAL MUSEUM OF THE SOUTHERN FEDERAL UNIVERSITY. 14. ORDER PASSERIFORMES, FAMILY TURDIDAE

Timofeenko Y. V., Salomatina A. I., Sinyavskaya V. C.

*Southern Federal University, Rostov-on-Don, Russia
E-mail: ymal@sfnu.ru*

The article continues the series of articles devoted to the description of taxonomic diversity and cataloging of animals represented in the collections of the Museum of the Department of Zoology of the D. I. Ivanovsky Academy of Biology and Biotechnology of the Southern Federal University. D. I. Ivanovsky Academy of Biology and Biotechnology of the Southern Federal University.

In recent years, research on the extraction of genetic information from old museum collections has been actively conducted. Zoological collections are an object for study of genetic variability of species, comparative morphological analysis, preparation of regional faunistic summaries, etc. Zoological collections may contain bird species intermediate in morphology and coloration, thanks to molecular methods of analysis identification of hybrid individuals is carried out. Electronic zoological catalogs provide data preservation, accessibility and standardization of information about the museum collection. In this regard, Russia is working on the revision and digitization of the largest zoological collections.

As part of the inventory of the collection of passerine birds, 1,214 museum exhibits were digitized. The family of thrushes is the most numerous in the collection of passerines of the museum by the number of species. The aim of the work is to create an annotated catalog of the most numerous family in the museum's collection. For the preparation of the catalogue, a comprehensive inventory of all passerines of the museum was made, the taxonomic composition was verified, errors and inaccuracies of the information on the specimens were eliminated, new labels were created and the material was systematized.

The article presents an annotated catalog of birds of Passeriformes, family Turdidae, which contains information on 21 species and 134 specimens: *Turdus ruficollis*, *T. pilaris*, *T. torquatus*, *T. merula*, *T. iliacus*, *T. philomelos*, *T. viscivorus*, *Monticola saxatilis*, *Phoenicurus phoenicurus*, *Ph. ochruros*, *Ph. erythrogastrus*, *Erithacus rubecula*, *Luscinia*

megarhynchos, *L. luscinia*, *L. svecica*, *Saxicola rubetra*, *S. rubicola*, *Oenanthe oenanthe*, *Oe. pleschanka*, *Oe. melanoleuca*, *Oe. Isabellina*

This collection contains specimens collected on the territory of the present borders of the Russian Federation, as well as in Abkhazia and Ukraine. The collection dates from 1942 to 1991. The collection is represented by carcasses and stuffed specimens. The catalog contains information on the internal museum number for each specimen, Latin and Russian name, sex of the specimen, type of stored material, country where the collection was made, region, detailed place of collection, date of collection, collector and preparator, condition, and also contains various kinds of notes.

According to the results of the inventory, the most abundant species in terms of number of specimens is Black Thrush (*T. merula*) with 21 specimens, Song Thrush (*T. philomelos*) with 20 specimens, Common Nightingale (*L. luscinia*) with 15 specimens. The three most numerous regions in terms of the amount of sampled material are: Rostov region, Krasnodar region, Stavropol region.

Over the years, the collection has undergone many changes, including negative ones: some specimens became unusable as a result of pests of natural science collections, some labels were lost. Meanwhile, unique specimens collected by leading specialists have been preserved until today: B. A. Kazakov, V. S. Petrov, A. V. Lerhe, B. A. Nechaev and others.

The collection is a valuable scientific material for further research and is actively used in the study of the diversity and characteristics of birds in the educational and practical work of university students. It allows to get acquainted in detail with morphological features of the studied objects, the degree of their individual, age, sex and seasonal variability.

The creation of the electronic database optimized the solution of a number of tasks of the museum staff. The publication of the obtained data is intended to make the Museum's collection more accessible to all interested specialists.

Keywords: Zoological Museum, collection fund, Passeriformes, Turdidae, catalog.

References

1. Dementiev G. P., Gladkov N. A., Ptushenko E. S., *Birds of the Soviet Union*, Vol. VI 792 P. (Moscow, Soviet Science, 1951-1954).
2. Koblik E. A., [and others]. *Atlas of Breeding Birds of the European Part of Russia 2020*. (Moscow : Phytos XXI, 2020), 907 p.
3. Abramson N. I., Petrova T. V., *Genetic studies of zoological collections on the example of rodents: intermediate results and prospects of research. Biological collections today and tomorrow : Proceedings of the Russian Conference with international participation "Best practices and prospects for the use of zoological collections"*, (Moscow, October 15-16, 2018) Vol. XX., (Moscow, KMK, 2018), 20-22 p.
4. Kalyakin M. V., *Biological collections today and tomorrow : Proceedings of the Russian Conference with international participation "Best practices and prospects for the use of zoological collections"*, (Moscow, October 15-16, 2018), Vol. XX, (Moscow, KMK, 2018), 52-59 p.
5. Politov D. V., Mudrik E. A. *Molecular-genetic approaches to the analysis of intraspecific structure, microsystematics and microevolution of birds. Biological collections today and tomorrow : Proceedings of the Russian Conference with international participation "Best practices and prospects for the use of zoological collections"*, (Moscow, October 15-16, 2018) Vol. XX., (KMK Moscow, 2018), 115-118 p.
6. Administration of the President of Russia. The Head of State signed the Federal Law "On Amendments to Article 29 of the Federal Law "On Wildlife." URL: <http://www.kremlin.ru/acts/news/71394> (accessed on 28.10.2024).

7. National Depository Bank of Living Systems. URL: <https://animal.depo.msu.ru> (date accessed 28.10.2024)
8. Abramov A., Voyta L., Kijashko P., *Scientific collections of the Zoological Institute of the Russian Academy of Sciences*, **67**, **4**, 331 (2022).
9. Salomatina A. I., Timofeyenko Yu. V., Sinyavskaya V. S. [et al.], *Catalog of the Animal Collection of the Department of Zoology, Academy of Biology and Biotechnology named after D. I. Ivanovsky. D. I. Ivanovsky Southern Federal University. message 8. order passeriformes - Passeriformes, family vorinovyh – Corvidae*. (Ecological Bulletin of the Chuvash Republic. – 2024), 97-99 p.
10. Matalin A. V., Arzanov Yu. G., Khachikov E. A. Catalog of the collection of animals of the Department of Zoology of the Academy of Biology and Biotechnology Named After D. I. Ivanovsky of Southern Federal University. Communication 1. Order Coleoptera, family Carabidae, Subfamilia Cicindelinae, Living and bio-inert systems, **29**, 7 (2019). URL: <http://www.jbks.ru/archive/issue-29/article-7>
11. Kiryushkina O. I., Romanchuk R. V., Catalog of the collection of animals of the Department of Zoology of the Academy of Biology and Biotechnology. D. I. Ivanovsky Southern Federal University. Message 7: Hardwings – Coleoptera, beetle family – Carabidae, subfamily Nebriinae, *Scientific Notes of the Crimean Federal University named after V. I. Vernadsky. Biology. Chemistry*, **9**, **4**, 59 (2023).
12. Romanchuk R. V., Kladkova O. A. Catalog of the collection of animals of the Department of Zoology of the Academy of Biology and Biotechnology named after D.I. Ivanovsky Southern Federal University. D. I. Ivanovsky Southern Federal University. Message 2 Division Cheshukrylya – Lepidoptera, family of leafhoppers – Tortricidae, *Scientific Notes of the Crimean Federal University named after V.I. Vernadsky. Biology. Chemistry*, **8**, **1**, 140 (2022)
13. Romanchuk R. V., Bogayeva E. A., Elfimova N. S. Catalog of the collection of animals of the Department of Zoology of the Academy of Biology and Biotechnology named after D. I. Ivanovsky Southern Federal University. D. I. Ivanovsky Southern Federal University. Message 3. Division of scales – Lepidoptera, family Papilionidae, *Scientific Notes of the Crimean Federal University named after V. I. Vernadsky. Biology. Chemistry*, **9**, **1**, 198 (2023).
14. Koblik E. A., Arkhipov V. Y. *Fauna of birds of the countries of Northern Eurasia within the borders of the former USSR*. (Moscow : Partnership of scientific ed. KMK, 2014), 171 p.

УДК 616.379-008.64: 57.084.1

DOI 10.29039/2413-1725-2025-11-1-226-249

ОСОБЕННОСТИ ИЗМЕНЕНИЯ БИОХИМИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ КРОВИ КРЫС В УСЛОВИЯХ РАЗНЫХ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ МОДЕЛЕЙ АЛЛОКСАН-ИНДУЦИРОВАННОГО ДИАБЕТА

Чуян Е. Н., Ливенцов С. Ю., Дворецкая Н. И.

*Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Крымский федеральный университет им. В. И. Вернадского», Симферополь, Республика Крым, Россия
E-mail: elena-chuyan@rambler.ru*

Необходимость современных исследований заключается в применении надежных экспериментальных моделей сахарного диабета (СД) на животных как для понимания патогенеза заболевания, так и для разработки новых медикаментозных и немедикаментозных методов его лечения. В экспериментальной практике наибольшее распространение получила химическая модель СД, в том числе с применением аллоксана, которая позволяет вызвать выраженные метаболические нарушения у крыс, сопровождающиеся устойчивым повышением содержания глюкозы в крови. В настоящем исследовании изучены изменения паттерна биохимических показателей крови крыс при аллоксан-индуцированном диабете в разных экспериментальных моделях (однократное введение доз 150 и 200 мг/кг, дробное введение (через 24 часа по 100 мг/кг) суммарной дозы 300 мг/кг). Летальность животных, изменения массы тела и биохимических показателей сыворотки крови, характеризующих углеводный, липидный, белковый обмены и воспалительный процесс, крыс всех экспериментальных групп свидетельствовали о существенном нарушении метаболизма, однако выраженность изменений зависела от экспериментальной модели и дозы вводимого аллоксана: дробное введение аллоксана в суммарной дозе 300 мг/кг привело к наиболее выраженным метаболическим нарушениям на фоне статистически значимого снижения летальности.

Ключевые слова: сахарный диабет; экспериментальные модели; аллоксан-индуцированный диабет; биохимические показатели крови крыс; углеводный, жировой, белковый обмены.

ВВЕДЕНИЕ

Сахарный диабет (СД) является третьим по распространенности неинфекционным заболеванием, приводящим к ранней инвалидизации и высокой смертности. По данным Международной диабетической федерации, в 2021 году около 537 миллионов взрослых (20–79 лет) страдают СД, число которых, по разным оценкам, возрастёт до 643 миллионов к 2030 году и 783 миллионов к 2045 году во всем мире [1]. СД описывается как гетерогенный синдром, обусловленный абсолютным (СД типа 1) или относительным (СД типа 2) дефицитом инсулина, который в первую очередь вызывает нарушение углеводного обмена, связанное с гипергликемией, а затем и остальных звеньев метаболизма, что приводит к поражению всех органов и систем организма, в первую очередь сердечно-сосудистой системы и почек [2–4].

В условиях стремительного роста заболеваемости актуальным для современных научных исследований является применение надежных, воспроизводимых и экономически эффективных экспериментальных моделей СД на животных, как для понимания патогенеза заболевания, так и для разработки новых медикаментозных и немедикаментозных методов его лечения. Следует подчеркнуть, что адекватное моделирование СД является необходимой основой доклинических испытаний антидиабетических средств, а использование разнообразных моделей даёт возможность для обоснований экстраполяции экспериментальных результатов на людей, больных СД.

В экспериментальной практике наибольшее распространение получила достаточно простая, относительно не дорогая и соответствующая патогенезу СД у человека, химическая модель, в которой наиболее часто используются стрептозотоцин и аллоксан. Эти соединения являются структурными аналогами глюкозы, за счет чего накапливаются в β -клетках островков Лангерганса и приводят к их гибели, оставляя альфа- и дельта-клетки поджелудочной железы неповрежденными, позволяют вызвать выраженные метаболические нарушения у грызунов и других животных, сопровождающиеся снижением выработки и секреции в кровь инсулина, вызывая состояние, характеризующее инсулинзависимый диабет (СД типа 1) [5–8]. Однако аллоксан (2,4,5,6-тетраоксипиримидин; 5,6-диоксиурацил – гидрофильное нестабильное соединение, синтезируемое путем окисления мочевой кислоты) обладает более низким прямым цитотоксическим эффектом по сравнению со стрептозотоцином, что позволяет более точно определять сроки выбранных метаболических событий и их патофизиологические последствия [9].

Исследования диабетогенных свойств аллоксана направлены преимущественно на анализ ранних механизмов их цитотоксического действия на уровне островкового аппарата поджелудочной железы [10], при этом основные изменения показателей метаболизма развиваются у животных на отдаленных сроках после введения препарата (10-е сутки и далее), и именно на этих сроках, как правило, аллоксан-индуцированные модели используются для изучения особенностей процессов обмена веществ в условиях гипoinsулинемии, механизмов действия разрабатываемых препаратов для лечения диабета и т. д. При этом требуется определенная осторожность не только при выборе экспериментальной модели СД, но и дозы препарата, поскольку у животных должны развиваться осложнения диабета, сходные по этиологии с заболеванием у человека. Доза аллоксана зависит главным образом от вида животного, способа введения и состояния питания. Диабетогенная доза аллоксана для крыс колеблется между 100 и 200 мг/кг [11–15]. По данным литературы, при моделировании СД экспериментальные животные – крысы разных линий – проявляют выраженную вариабельность индивидуальной чувствительности к диабетогенному действию цитотоксических аналогов глюкозы. Причины различной чувствительности в ответ на введение диабетогенных доз аллоксана определяются большим количеством факторов, в том числе возрастом, полом, состоянием нервной и эндокринной систем, характером обмена веществ, состоянием внутренних органов. Данный феномен может быть связан с различиями в состоянии окислительно-восстановительного баланса [16], с активностью процессов регенерации островкового аппарата поджелудочной железы, восстановления его структуры и функции [17], со степенью активации

глюкокортикоидной функции надпочечников [18] и т. д. Существенными недостатками СД, индуцируемого аллоксаном, являются отсутствие четкой зависимости доза–эффект, а также нейро-, гепато- и нефротоксичность препарата. Поэтому однократное введение большой дозы соединения, как правило, вызывает дегенеративные изменения в почках, печени, легких, кишечнике, семенниках и головном мозге, возникающие у части животных прежде, чем развивается СД, а, следовательно, приводящие к высокой летальности животных уже в первые сутки после введения диабетогенной дозы аллоксана, что снижает эффективность модели для длительных экспериментов [19–21]. Снижение дозировки соединения позволяет уменьшить его токсичность и летальность экспериментальных животных, но не приводит к устойчивой долгосрочной гипергликемии, что, по-видимому, связано с недостаточным количеством разрушенных β -клеток поджелудочной железы. Однако сравнительных исследований выраженности нарушений метаболизма на длительных сроках развития аллоксан-индуцированного диабета в зависимости от дозы аллоксана и способа его введения крайне мало, хотя они необходимы для решения вопроса о выборе модели в зависимости от задач и дизайна эксперимента.

Цель исследования: выявить особенности изменения паттерна биохимических показателей крови крыс, характеризующих углеводный (УО), белковый (БО), липидный (ЛО) обмены и воспалительный процесс, в условиях разных экспериментальных моделей аллоксан-индуцированного диабета.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Экспериментальная часть работы выполнена в Центре коллективного пользования научным оборудованием «Экспериментальная физиология и биофизика» кафедры физиологии человека и животных и биофизики Института биохимических технологий, экологии и фармации ФГАОУ ВО «КФУ им. В.И. Вернадского».

В исследование включались половозрелые самцы крыс ($n=71$) без внешних признаков заболеваний, физических дефектов и травм линии *Wistar* (федеральное государственное бюджетное учреждение «Петербургский институт ядерной физики им. Б.П. Константинова национального исследовательского центра «Курчатовский институт», питомник лабораторных животных «Рапполово») средних массы ($272,32 \pm 22,70$ г) и возраста ($150,00 \pm 12,00$ дней), которые проявляли признаки здорового состояния, никогда не использовались в качестве объекта исследования и прошли карантин (14 дней) и адаптацию к условиям эксперимента, взятию в руки (хэндлинг).

Лабораторные крысы содержались в условиях вивария с естественным светотемновым циклом при температуре 18–22 °С, на подстиле на основе початков кукурузы (ООО «Зилубаг», Россия) со свободным доступом к воде и полноценному гранулированному корму ЛБК-120 (ЗАО «Тосненский комбикормовый завод», Россия). Все манипуляции с животными проводили согласно ГОСТ Р 53434-2009 от 02.12.2009, правилам лабораторной практики при проведении доклинических исследований, этическим стандартам, утвержденным правовыми актами Российской Федерации, ГОСТ 33215-2014 «Руководство по содержанию и уходу за лабораторными животными. Правила оборудования помещений и организации процедур», Директиве

2010/63/EU Европейского парламента и совета Европейского союза по охране животных, «European Convention for the Protection of Vertebrate Animals Used for Experimental and other Scientific Purposes (ETS 123)», Strasbourg, 1986, рекомендациям Комиссии по биоэтике ФГАОУ ВО «КФУ им. В.И. Вернадского».

Предварительно случайным образом («методом конвертов») всех экспериментальных животных разделили на 4 группы. Аллоксан-индуцированный диабет создавали путем внутрибрюшинного введения крысам 2 – 4 групп раствора аллоксан-моногидрата ($C_4H_2N_2O_4 \cdot H_2O$; компания «Диаэм», Россия) в дозе 150 (однократно; 2 группа (Ал150); $n=29$) [11, 13, 14, 22], 200 (однократно; 3 группа (Ал200); $n=19$) [11, 23] и 300 (дробно, трехкратно по 100 мг/кг через сутки; 4 группа (Ал300); $n=13$) мг/кг массы тела [12, 24] в 0,2 мл физиологического раствора. Аллоксан вводили крысам после голодания в течение 24 часов для того, чтобы избежать конкурентного ингибирования между аллоксаном и глюкозой [21]. Животным контрольной группы (1 группа; $n=10$) внутрибрюшинно вводили эквивалентный объем физиологического раствора (0,2 мл) однократно ($n=5$) и дробно (3 раза) через сутки ($n=5$).

Перед введением аллоксана и на 7, 14, 21, 28 и 31 сутки наблюдения у животных всех экспериментальных групп определяли массу тела (г) на весах AND DL-120 (Япония), а для установления диабетического статуса концентрацию глюкозы (ммоль/л) в капиллярной крови, которую брали из надреза кончика хвоста с помощью тест-анализатора глюкозы (АйЧек (iCheck), Тайвань), принцип метода которого основан на применении биосенсорной технологии (в качестве сенсора использован фермент глюкозооксидаза), позволяющей провести специфичный анализ на содержание бета-D-глюкозы (диапазон измерений составляет от 1,7 до 41,7 ммоль/л).

Для определения концентрации глюкозы и кетоновых тел (ммоль/л) в моче использовали тест-полоски индикаторные для качественного и полуколичественного анализа мочи «Урополиан-10В» (ООО «АНАЛИТИКА-ОМСК»).

На 32 сутки эксперимента в 10.00 натошак животных выводили из эксперимента путем декапитации на гильотине («НПК Открытая наука, Россия») под изофлурановым наркозом. Кровь из шейных вен отбирали в вакуумные пробирки с разделительным гелем для сыворотки.

Материалом для исследований служила сыворотка крови, полученная двукратным центрифугированием по 10 мин при 1300 g при 25⁰ С. В сыворотке крови анализировали значения показателей, характеризующих состояние БО, ЛО, УО, и С-реактивного белка (СРБ) на автоматическом биохимическом анализаторе ERBA-XL-180 («ErbaLachema», Чехия) с использованием фирменных наборов реагентов, предназначенных для работы на этом приборе.

Для оценки УО в сыворотке крови анализировали концентрацию глюкозы (ммоль/л) методом Триндера [25]. Состояние ЛО в сыворотке крови крыс определяли по уровню общего холестерина (ОХС, ммоль/л) и триглицеридов (ТГ, ммоль/л) методом Триндера в модификации Roeschlau [26, 27], холестерина липопротеидов низкой (ЛПНП, ммоль/л) и высокой плотности (ЛПВП, ммоль/л) с помощью холестериноксидазной реакции и количественного метода Триндера [25, 28]. Вычисляли индекс атерогенности [29] по формуле:

(ОХС-ЛПВП)/ЛПВП.

БО в сыворотке крови крыс анализировали по уровню общего белка (ОБ, г/л) биуретовым методом [30], мочевины (ммоль/л) уреазным кинетическим ферментативным методом и креатинина (мкмоль/л) кинетическим методом Яффе (без депротеинизации) [31]. Концентрацию С-реактивного белка (СРБ, мг/л) в сыворотке крови определяли с помощью количественного высокочувствительного СРБ-анализа методом иммунотурбидиметрии (измерение продукта реакции антиген – антитело методом конечной точки) с пределом обнаружения около 0,13 мг/л и высоким диапазоном измерения (0–140 мг/л) [32, 33].

Статистическую обработку и графическое представление экспериментальных данных проводили с использованием программ STATISTICA версия 12 (Statsoft, США) и Microsoft Excel 2010 (Microsoft Corporation, США). Проверку распределения данных на нормальность осуществляли с помощью критерия Шапиро-Уилка. Поскольку распределение данных в подавляющем большинстве случаев не соответствовало нормальному, значимость различий между группами оценивали с помощью непараметрического критерия Краскела-Уоллиса. Множественные апостериорные сравнения (*post-hoc comparisons*) значений показателей между группами проводили с помощью критерия Данна (*Bonferroni-Dunn post hoc test, Dunn's multiple comparison post-test*). В таблице, на рисунках и в тексте значения показателей для соответствующей группы крыс представлены в виде медианы и нижнего и верхнего квартилей (Me (Q₂₅:Q₇₅)). В описании сравнения значений показателей в разных группах животных использовались %, которые рассчитывались по значениям медианы показателей соответствующих групп. Критический уровень значимости статистических гипотез (p) в данном исследовании принимали равным 0,05.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

После введения диабетогенных доз аллоксана наблюдалось несколько фаз изменений сахарной кривой в крови: первая фаза – гипергликемическая, достигающая максимума в течение первых 2–4 часов; вторая – гипогликемическая, которая в основном проявлялась на протяжении 15–24 часов, и третья фаза – фаза стойкой гипергликемии. Первые признаки СД у животных 2–4 групп проявлялись в виде изменения поведения (вялость, апатичность), потери массы тела, потускнении, потемнении и выпадении волосяного покрова, полидипсии, полиурии, гипергликемии, глюкоз- и кетонурии. Подобная форма реакции на введение аллоксана описана исследователями как диабетико-уремический синдром [11, 13, 15, 20].

В разные сроки развития аллоксан-индуцированного диабета погибло 42,62 % животных, что согласуется с данными других авторов [11, 20]. При этом летальность экспериментальных животных зависела от дозы аллоксана и способа его введения (однократно или дробно) и составила: во 2 группе (Ал150) 44,83 % (на 5–7 и 17–20 сутки наблюдения); в 3 группе (Ал200) 47,36 % (на 2–4 сутки наблюдения); в 4 (Ал300) 30,77 % (на 4, 14 и 21 сутки наблюдения). В контрольной группе гибели животных не наблюдалось.

Таким образом, минимальная летальность при аллоксан-индуцированном диабете зарегистрирована у крыс, которым вводили максимальную дозу препарата (300 мг/кг), но дробным способом, а максимальная – после однократного введения аллоксана в дозе 200 мг/кг.

У животных всех групп отмечалось изменение массы тела (рис. 1). В контрольной группе крыс наблюдалось увеличение массы тела, которая на 31 день наблюдения увеличилась на 16 % ($p=0,002$) от исходного значения. В экспериментальных группах, после введения аллоксана, напротив, зарегистрировано снижение массы тела в течение всего срока наблюдения. Так, в группах Ал150, Ал200 и Ал300 масса тела к 31 суткам наблюдения уменьшилась на 26 % ($p_{1,2}<0,001$), 22 % ($p=0,006$) и 22 % ($p_{1,4}=0,011$) соответственно относительно значений в контрольной группе крыс (рис 1), что является характерным признаком нарушения метаболических процессов при развитии аллоксан-индуцированного диабета и согласуется с данными других авторов [6, 23].

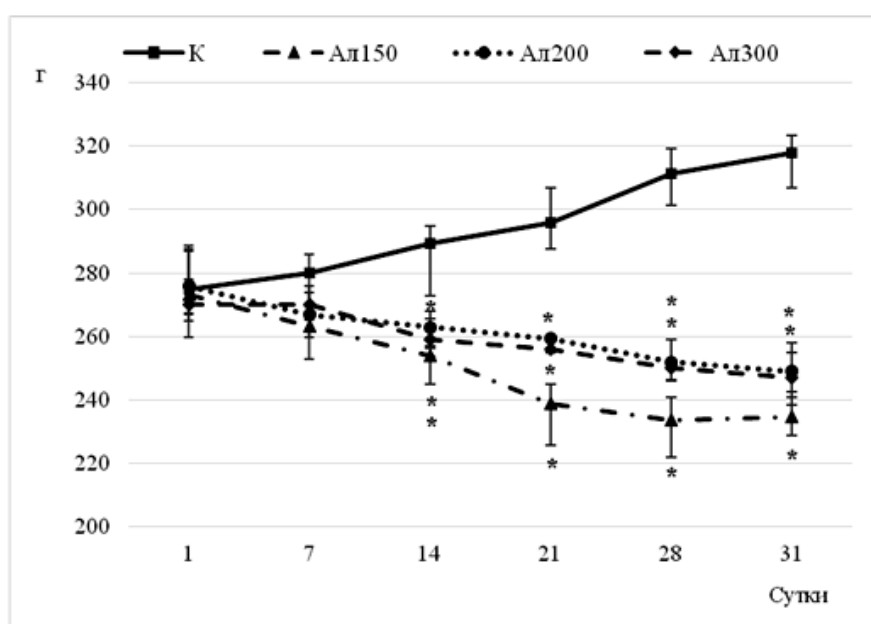


Рис. 1. Динамика массы тела (г) крыс контрольной группы (К), после введения аллоксана в дозах 150 (Ал150), 200 (Ал200) и 300 (Ал300) мг/кг массы тела в течение всего срока наблюдения (31 сутки).

Примечания: на графике представлены значения в виде медианы и нижнего и верхнего квартилей (Me (Q_{25} : Q_{75})); * статистически значимое отличие по критерию Данна относительно значений показателей у крыс контрольной группы ($p<0,05$).

Концентрация глюкозы в капиллярной крови крыс контрольной группы на протяжении всего срока наблюдения (31 сутки) составила от 4,4 (3,9;5,3) до 4,7 (3,9;5,3) ммоль/л (рис. 2), что согласуется с данными других исследователей. На фоне развития аллоксан-индуцированного диабета зарегистрировано повышение

уровня глюкозы в капиллярной крови крыс, что согласуется с литературными данными [15, 23]. Максимальное увеличение уровня глюкозы после введения препарата в наиболее ранний срок (7 сутки) наблюдалось у крыс 4 группы (Ал300) и составило 20,37 (20,37;25,2) ммоль/л, что на 338 % ($p<0,001$) превышало значение этого показателя у крыс контрольной группы. У животных 3 группы (Ал200) максимальная гликемия зарегистрирована 14 (27,4 (27,4;31,5) ммоль/л; на 477 % больше, чем в контроле ($p<0,001$)) и 21 (20,9 (16,1;23,8) ммоль/л; на 371 % больше, чем в контроле ($p<0,001$)) сутки эксперимента и статистически значимо превышала значение этого показателя у животных контрольной группы до конца эксперимента. У крыс 2 группы (Ал150) концентрация глюкозы в капиллярной крови с 7 (17,9 (14,0;22,0)) по 28 (10,3 (9,9;10,4)) сутки исследования также достоверно превышала значения этого показателя в контроле ($p<0,05$), однако была значимо ниже, чем у крыс 3 и 4 групп, а к 31 суткам эксперимента значения концентрации глюкозы приблизились к уровню контрольных значений ($p=0,069$) (рис. 2).

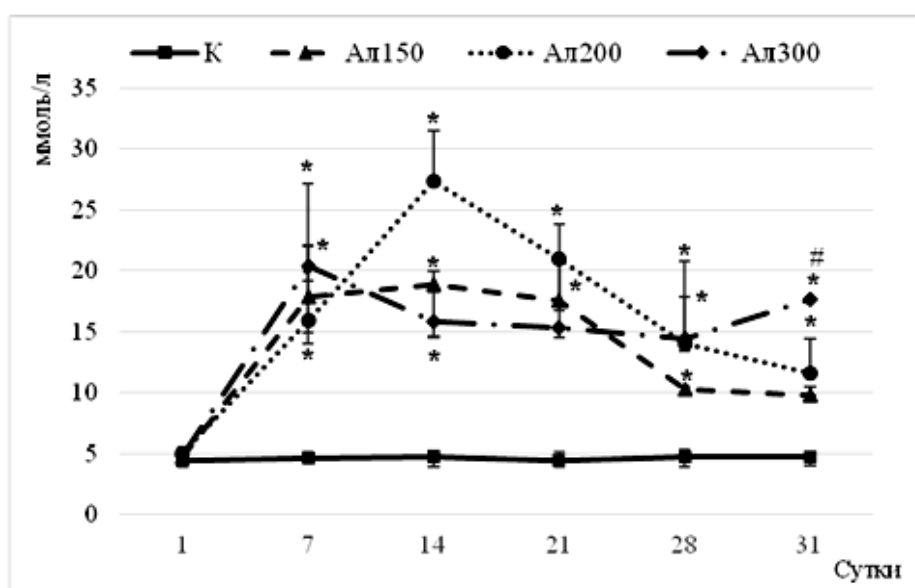


Рис. 2. Динамика концентрации глюкозы (ммоль/л) в крови крыс контрольной группы (К), после введения аллоксана в дозах 150 (Ал150), 200 (Ал200) и 300 (Ал300) мг/кг массы тела в течение всего срока наблюдения (31 сутки).

Примечания: # статистически значимое отличие относительно значений показателей у крыс группы Ал150 ($p < 0,05$) по критерию Данна; остальные как на рис. 1.

На 32 сутки наблюдения в сыворотке крови крыс контрольной группы гликемия составила 3,90 (3,70;4,00) ммоль/л, что соответствует физиологической норме [15, 34]. При этом концентрация глюкозы в сыворотке крови крыс через месяц после введения аллоксана в дозе 150 мг/кг увеличилась на 187 % ($p=0,477$), в дозе 200 мг/кг – на 367 % ($p=0,001$), в дозе 300 мг/кг – на 595 % ($p<0,001$) относительно значения этого показателя в контроле (табл. 1).

Таблица 1

Изменение биохимических показателей в сыворотке крови крыс контрольной группы (контроль), после введения аллоксана в дозах 150 (2), 200 (3) и 300 (4) мг/кг массы тела на 32 сутки экспериментального исследования (Me (Q₂₅:Q₇₅))

Группа Показатели	Контроль (1) n=10	Аллоксан 150 (2) n=16	Аллоксан 200 (3) n=10	Аллоксан 300 (4) n=9
Глюкоза (ммоль/л)	3,90 (3,70; 4,00)	11,20 (9,22;10,82) p _{1,2} =0,477	18,20 (18,00;18,20) p _{1,3} =0,001 p _{2,3} =0,034	27,10 (27,10;27,10) p _{1,4} <0,001 p _{2,4} <0,001 p _{3,4} =0,461
Холестерин (ммоль/л)	1,44 (1,37;1,53)	1,35 (1,34;1,36) p _{1,2} =1,000	1,93 (1,91;1,94) p _{1,3} =0,465 p _{2,3} =0,009	2,43 (2,43;2,43) p _{1,4} =0,004 p _{2,4} <0,001 p _{3,4} =0,303
Триглицериды (ммоль/л)	1,29 (1,09;1,53)	1,57 (1,55;1,60) p _{1,2} =1,000	1,80 (1,58;1,80) p _{1,3} =0,249 p _{2,3} =1,000	2,67 (2,67;2,67) p _{1,4} <0,001 p _{2,4} <0,001 p _{3,4} =0,121
ЛПНП (ммоль/л)	0,19 (0,15;0,21)	0,35 (0,34;0,35) p _{1,2} =0,477	0,89 (0,89;0,90) p _{1,3} =0,001 p _{2,3} =0,034	1,91 (1,91;1,91) p _{1,4} <0,001 p _{2,4} <0,001 p _{3,4} =0,461
ЛПВП (ммоль/л)	0,82 (0,80;0,84)	0,47 (0,44;0,47) p _{1,2} =0,202	0,35 (0,35;0,37) p _{1,3} <0,001 p _{2,3} =0,008	0,37 (0,37;0,37) p _{1,4} =0,001 p _{2,4} =0,105 p _{3,4} =1,000
Общий белок (г/л)	77,00 (74,00;78,00)	60,00 (60,00;61,00) p _{1,2} =0,011	55,00 (55,00;56,00) p _{1,3} <0,001 p _{2,3} =0,162	63,00 (60,00; 63,00) p _{1,4} =0,312 p _{2,4} =1,000 p _{3,4} =0,014
Мочевина (ммоль/л)	7,60 (7,60;7,9)	11,90 (10,00;12,00) p _{1,2} =0,027	13,80 (12,90;13,90) p _{1,3} <0,001 p _{2,3} =0,178	11,80 (11,80;12,00) p _{1,4} =0,105 p _{2,4} =1,000 p _{3,4} =0,171
Креатинин (мкмоль/л)	75,00 (73,00;80,00)	43,00 (41,00;43,00) p _{1,2} =0,062	40,00 (40,00;44,00) p _{1,3} =0,023 p _{2,3} =1,000	27,00 (27,00;27,00) p _{1,4} <0,001 p _{2,4} =0,016 p _{3,4} =0,198

Примечание: n – количество животных в группе; p_{1,2}, p_{1,3}, p_{1,4}, p_{2,3}, p_{2,4}, p_{3,4} – уровень значимости отличий по критерию Данна между группами, обозначенными 1, 2, 3 соответственно.

Увеличение уровня глюкозы в крови животных после введения аллоксана отмечено и в других исследованиях [13–15, 22, 23, 35] и является характерным признаком развития СД, в том числе аллоксан-индуцированного. В нашем исследовании показано, что наиболее выраженный уровень гипергликемии как в капиллярной крови, так и в сыворотке крови, полученной из шейных вен после декапитации животных, зарегистрирован у крыс 4 группы (Ал300) (рис. 2; табл. 1).

Аллоксан представляет собой структурный аналог глюкозы, за счет чего связывается с транспортером глюкозы 2-го типа (GLUT2) в плазматической мембране β -клеток поджелудочной железы экспериментальных животных. Основным механизмом деструктивного действия аллоксана является генерация в циклической реакции с диалуроновой кислотой активных форм кислорода, которые инициируют разрушение β -клеток поджелудочной железы, имеющих низкую активность ферментов антиоксидантной защиты, или алкилирование ДНК, что вызывает снижение синтеза и секреции в кровь инсулина [10, 11, 36]. Кроме того, аллоксан ингибирует глюкокиназу, необходимую для секреции инсулина в ответ на стимуляцию глюкозой [37]. В ответ на введение препарата в организме животных запускается процесс, который проходит несколько последовательных фаз, описанных S. Lensen [10], в результате которого развиваются гипергликемия и диабетический синдром, аналогичный инсулинозависимому сахарному диабету 1 типа. Экспериментально доказано, что через 30 суток после введения крысам аллоксана происходило снижение концентрации инсулина в плазме крови на 34 % на фоне структурных нарушений со стороны островкового аппарата поджелудочной железы (уменьшение количества панкреатических островков, дистрофические изменения панкреатоцитов в виде кариопикноза и кариолизиса, признаки зернистой дистрофии или вакуолизации цитоплазмы), междольковых сосудов и микроциркуляторного русла в виде эндотелиоцитоза, полнокровия и капилляростаза [35, 38, 39].

Развитие гипергликемии стимулирует медленное прогрессирование нарушений углеводного обмена, повышение вязкости крови и в целом оказывает патологическое системное воздействие на функционирование всех органов и систем организма, поскольку инсулин является важнейшим анаболическим гормоном, который регулирует не только углеводный, но и липидный и белковый обмены [4].

Следует отметить, что у всех животных выделенных экспериментальных групп уже с первых суток после введения диабетогенного препарата увеличилась величина глюкозурии (со 2 суток после введения аллоксана и составила более 56 ммоль/л) и кетонурии (максимально с 3 суток (1,5–4,0 ммоль/л) до 5 суток (16,0 ммоль/л)). Известно, что для подтверждения диагноза «сахарный диабет» достаточно наличие повышения концентрации глюкозы в крови в сочетании с наличием глюкозы и кетоновых тел в моче. Референтное значение уровня кетоновых тел в моче является отрицательным, то есть в норме в моче кетонурия не выявляется, а ее появление свидетельствует о снижении интенсивности синтеза гликогена в печени при СД [40]. Диабетический кетоацидоз – это опасное для жизни состояние, которое может возникнуть при недостатке или полном отсутствии инсулина.

Присутствие кетоновых тел в моче свидетельствует о тяжелых нарушениях не только углеводного, но и липидного обмена, поскольку в условиях недостаточной

утилизации глюкозы основным энергетическим субстратом в организме становятся свободные жирные кислоты. Окислительные процессы жирных кислот в печени связаны с образованием кетоновых тел, которые далее с током крови попадают в ткани. Негативные состояния, связанные с проявлением кетонурии, обусловлены накоплением в крови ацетона, который в силу его хорошей растворимости в липидах изменяет структурно-функциональные свойства мембран и, тем самым, проявляет общее токсическое влияние на организм.

В настоящем исследовании моделирование диабета с помощью аллоксана в разных дозах привело к **изменениям биохимических показателей, характеризующих ЛО** (табл. 1). У крыс контрольной группы концентрация ОХС в сыворотке крови составила 1,44 (1,37;1,53) ммоль/л, что соответствует физиологической норме [34]. Значение этого показателя у крыс группы Ал150 имело тенденцию к снижению (на 6 %; $p=1,000$), а группы Ал200 – к повышению (на 34 %; $p=0,530$) относительно значений у животных контрольной группы. При этом у животных 4 группы (Ал300) содержание ОХС статистически значимо на 69 % ($p<0,001$) превышало этот показатель в контрольной и на 80 % ($p<0,001$) во 2 (Ал150) группах крыс.

Следовательно, введение аллоксана в дозе 300 мг/кг привело к выраженной гиперхолестеринемии, что согласуется с литературными данными относительно влияния аллоксан-индуцированного диабета на уровень ОХС [13, 15, 20, 41]. Повышение уровня ОХС в крови свидетельствует о мобилизации ТГ из жировых депо, которые являются основным источником энергии на фоне гипергликемии. Действительно, у крыс 4 группы (Ал300) уровень ТГ в сыворотке крови достоверно вырос на 39 % ($p<0,001$) относительно значений в контрольной группе (табл. 1; рис. 3). Через месяц после введения крысам аллоксана в дозах 150 и 200 мг/кг уровень ТГ достоверно не отличался от такового в контрольной группе крыс (табл. 1).

Определение фракций холестерина в составе липопротеидов является важнейшим диагностическим критерием выявления фактора риска развития атеросклероза и его осложнений при СД. Аллоксановый диабет вызвал разнонаправленные изменения ЛПНП и ЛПВП, выраженность которых зависела от дозы вводимого крысам аллоксана. Во 2 группе крыс (Ал150) уровень ЛПНП статистически значимо не отличался от значений у животных в контроле ($p=0,477$). Однако в 3 (Ал200) и особенно в 4 (Ал300) группах концентрация ЛПНП, окисление которых является значимым событием в инициации атеросклеротического процесса [42], достоверно возрастала на 368 % ($p=0,001$) и 905 % ($p<0,001$) соответственно относительно значения этого показателя у животных контрольной группы (табл. 1).

Концентрация антиатерогенных ЛПВП в сыворотке крови крыс с аллоксан-индуцированным диабетом, напротив, снизилась: у крыс 2 группы (Ал150) на 43 % ($p=0,202$); 3 группы (Ал200) на 57 % ($p<0,001$) и 4 группы (Ал300) на 55 % ($p<0,001$) по сравнению с контролем (табл. 1). ЛПВП крови, участвующие в транспорте холестерина из периферических тканей в печень, где он в результате биохимических процессов окисляется до желчных кислот, которые выводятся в кишечник и удаляются из организма, препятствуют развитию воспалительного процесса, тромбоза, улучшают функционирование эндотелия, увеличивая

активность и количество эндотелиальной NO-синтазы, тем самым повышая эндотелий-зависимую вазодилатацию, защищают от окисления белковую и липидную части ЛПНП, а, следовательно, обладают атеропротективными свойствами, являясь своеобразной защитой организма от различных сердечно-сосудистых осложнений [40–45]. Большое значение имеет тот факт, что ЛПВП могут прямо влиять на метаболизм глюкозы, стимулируя секрецию инсулина из панкреатических бета-клеток [46].

Таким образом, при аллоксан-индуцированном диабете у крыс 3 (Ал200) и особенно 4 (Ал300) групп отмечались значительные изменения липидограмм, сопровождающиеся гиперхолестеринемией, гипертриглицеридемией на фоне снижения концентрации ЛПВП и повышения концентрации ЛПНП, которые свидетельствуют о том, что дислипидемия при СД имеет атеросклеротическую направленность и указывают на риск развития диабетических ангиопатий [46, 47]. В данном исследовании развитие аллоксанового диабета привело к существенному росту индекса атерогенности у животных 3 и 4 групп до 4,51 (4,12;4,62) и 5,56 (5,56;5,56) соответственно, что в 6,35 ($p<0,001$) и 7,83 ($p<0,001$) превосходит таковой у крыс контрольной группы (рис. 3) и свидетельствует о наличии у животных этих групп атеросклеротических изменений сосудистого русла, что отражается, по данным других авторов [38], в гистологической картине крупных сосудов, характерной для диабетической ангиопатии.

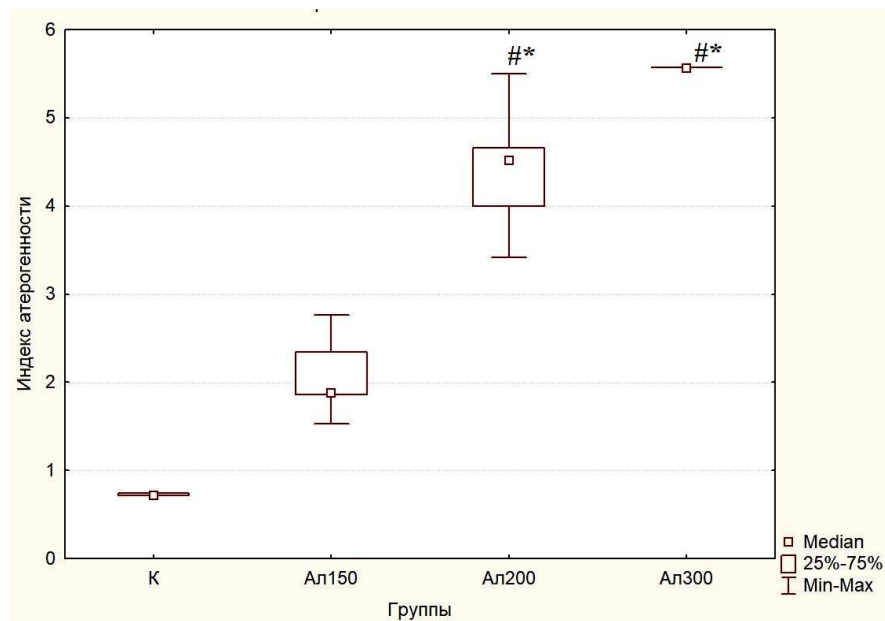


Рис. 3. Индекс атерогенности сыворотки крови крыс контрольной группы (К), после введения аллоксана в дозах 150 (Ал150), 200 (Ал200) и 300 (Ал300) мг на 1 кг массы тела на 32 сутки экспериментального исследования.

Примечания: те же, что на рис. 2.

Аллоксан-индуцированный диабет вызвал также существенные *изменения биохимических показателей, характеризующих БО*. Инсулиновая недостаточность при СД приводит к усиленному распаду тканевых белков, повышенному поступлению в кровь аминокислот, увеличению общего азота.

Концентрация ОБ (табл. 1) в сыворотке крови контрольной группы крыс не отличался от физиологической нормы [34]. В условиях аллоксан-индуцированного диабета концентрация ОБ снижалась относительно таковой в контроле: на 22 % ($p=0,011$) у крыс 2 группы (Ал150); на 29 % ($p<0,001$) у крыс 3 группы (Ал200); на 18 % ($p=0,312$) у крыс 4 группы (Ал300). При этом данный показатель оказался ниже референсных значений у крыс, т. е. наблюдалась гипопроотеинемия, что может быть связано как с дегидратацией (недостаточное потребление воды, рвота, диарея, полиурия, диабетический ацидоз), так и с повышенным распадом белков в условиях существенной потери массы тела и развития патологических и воспалительных процессов (нарушениях функций переваривания и всасывания белков в результате нарушения деятельности поджелудочной железы), усилением распада белков в тканях при абсцессах и гангренах [48]. В данном эксперименте в экспериментальных группах животных наблюдались повреждения шерстяного покрова, кожные воспалительные реакции, что является косвенным подтверждением наличия, по крайней мере, хотя бы одного из таких патологических состояний. Указанные изменения оказались более выраженными у крыс после однократного введения аллоксана в дозах 150 и 200 мг/кг, чем в 4 группе крыс после дробного введения аллоксана в дозе 300 мг/кг. Это свидетельствует о более сильном повреждающем эффекте однократного введения аллоксана по сравнению с дробным.

Уровень мочевины (табл. 1) в контрольной группе крыс находился в границах физиологической нормы [34], однако после введения аллоксана крысам экспериментальных групп, ее концентрация в сыворотке крови значительно повышалась: у животных 2 группы (Ал150) на 57 % ($p=0,027$); у крыс 3 группы (Ал200) на 82 % ($p<0,001$); у крыс 4 группы (Ал300) на 55 % ($p=0,105$), что свидетельствует о нарушении БО, развитии уремии и указывает на наличие патологических изменений функций печени и почек [40]. При этом очевидно, что такие изменения оказались более выраженными при однократном введении аллоксана в дозах 150 и 200 мг/кг (табл. 1; рис. 4).

Уровень креатинина (табл. 1) в контрольной группе не выходил за пределы физиологической нормы [34]. На фоне аллоксан-индуцированного диабета наблюдалось достоверное снижение концентрации креатинина в сыворотке крови на 43 % ($p=0,062$) у крыс 2 группы, 47 % ($p=0,023$) у крыс 3 группы и 64 % ($p<0,001$) у крыс 4 группы (табл. 1; рис. 4). Креатинин – единственный метаболит креатина, который в основном (98 %) локализуется в поперечно-полосатых мышцах, а его концентрация в моче и сыворотке крови коррелирует с оценкой мышечной массы. Следовательно, снижение данного показателя свидетельствует о существенном уменьшении мышечной и общей массы экспериментальных животных за счет катаболизма белка, что согласуется с результатами, полученными в данном исследовании и представленными на рис. 1. Существует также связь между

снижением уровня креатинина в сыворотке крови с гиперфилтрацией почечных клубочков и с повышенным метаболическим риском СД [49–51].

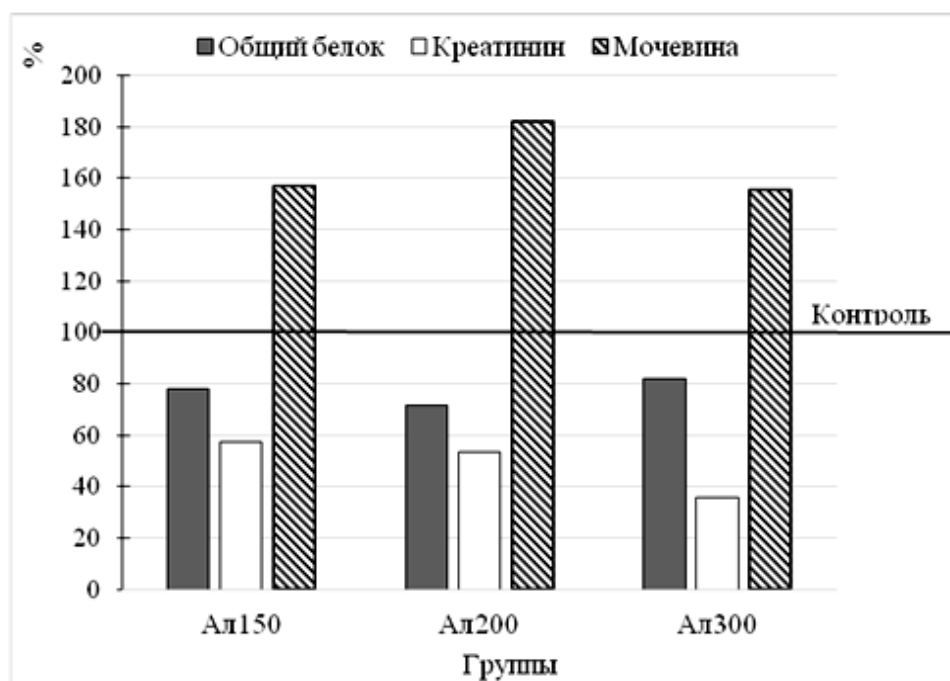


Рис. 4. Изменение компонентов белкового обмена сыворотки крови крыс после введения аллоксана в дозах 150 (Ал150), 200 (Ал200) и 300 (Ал300) мг/кг массы тела на 32 сутки экспериментального исследования (в % относительно значений этих показателей у крыс контрольной группы, принятых за 100 %).

Таким образом, изменения биохимических показателей, характеризующих ЛО и БО, произошли у животных в результате развития у них аллоксан-индуцированного диабета и могут быть следствием нарушения функций не только поджелудочной железы, но и почек и печени [52]. Структурные нарушения и механизмы повреждения печени при СД типа 1 у человека и животных обусловлены наличием инсулинзависимого механизма обмена глюкозы в гепатоцитах, участием этого органа во всех видах обмена и в инактивации 40–60 % инсулина, подтверждены на экспериментальных моделях и описаны в работах многих исследователей [24, 53]. Известно, что в гепатоцитах и клетках почечных канальцев крыс также, как и в поджелудочной железе, экспрессируется транспортер глюкозы GLUT2, поэтому введение аллоксана может оказывать токсическое действие на печень и почки [19], хотя гепатоциты крыс обладают более высокой антиоксидантной активностью, чем β -клетки островкового аппарата поджелудочной железы [37]. Диабетическое поражение печени связано прежде всего с ее жировой инфильтрацией с последующим некрозом и апоптозом гепатоцитов.

Морфологические исследования показывают наличие значительных деструктивных процессов в печени крыс через 30 суток после введения аллоксана, в том числе очаговых некрозов гепатоцитов, что, вероятно, связано с усилением процессов свободнорадикального окисления, развивающихся вследствие накопления высвобождающихся из адипоцитов свободных жирных кислот [39].

Диабетическая нефропатия является одним из тяжелых хронических осложнений СД 1 типа и развивается приблизительно у 20,1 % больных [54]. В основе почечного повреждения, связанного с гипергликемией, лежит гликирование структурных белков организма с последующей их фиксацией на базальных мембранах почечных клубочков и отложением иммунных комплексов. Причем, нефротоксическое действие аллоксана, связанное с некрозом отдельных участков извитых канальцев почек, проявляется уже на ранних сроках после его введения, а почечная недостаточность, возникающая у части животных в первые пять суток после введения диабетогенной дозы аллоксана может стать причиной гибели крыс до развития СД [11]. На 30 сутки аллоксан-индуцированного диабета в почках крыс выявлены значительные нарушения гломерулярного аппарата, связанные с повреждением капиллярных петель, межпетлевыми спайками, формированием поврежденных «лапчатых» клубочков, а также существенное расширение мочевого пространства капсулы клубочков, свидетельствующее о нарушении проницаемости сосудистой стенки, дистрофические изменения эпителия канальцев и лимфогистиоцитарная инфильтрация интерстиция почки [55]. Известно, что развитие диабетической нефропатии при СД зависит от степени компенсации углеводного обмена: при декомпенсированном течении СД концентрация мочевины и креатинина ниже, чем при компенсированном течении заболевания. Поэтому можно предположить, что у крыс 3 и 4 групп на фоне введения аллоксана в дозах 200 и 300 мг/кг развивался СД более тяжелой степени, чем у крыс 2 группы, которым вводили более низкую дозу препарата.

Помимо непосредственных биохимических маркеров, таких как патологически повышенные уровни глюкозы и кетоновых тел в крови и моче, которые характеризуют начало развития СД, нарушений липидного и белкового обменов, приводящих к хроническим ангио-, ретино-, нефропатиям, печеночной патологии (стеатоз, гликогеновая гепатопатия и диабетический гепатосклероз) и другим тяжелым осложнениям, все большее число клинических исследований в последнее время фокусируется на биохимических маркерах, которые могут идентифицировать и/или выявить наличие и прогрессирование воспаления при СД, поскольку в патогенезе СД 1 типа имеют место воспалительные и аутоиммунные реакции, контролируемые иммунокомпетентными клетками крови и тканей и опосредованные цитокинами [35, 56]. Эти маркеры включают анализ изменений в сыворотке крови уровня СРБ, который синтезируется гепатоцитами в виде белка с относительной молекулярной массой 118 кДа, состоящего из пяти идентичных субъединиц, образующих циклический пентамер. Как показали результаты исследования, у крыс контрольной группы концентрация СРБ в сыворотке крови составила 0,30 (0,20;0,40) мг/л, а на 32 сутки моделирования аллоксан-индуцированного диабета увеличилась на 400 % ($p=0,272$) у крыс 2 (Ал150) группы, на 1200 % ($p<0,001$) у крыс

3 (Ал200) группы и на 767 % ($p=0,008$) у крыс 4 (Ал300) группы (рис. 5), что свидетельствует о проявлении симптомов острого воспаления при СД [4, 57].

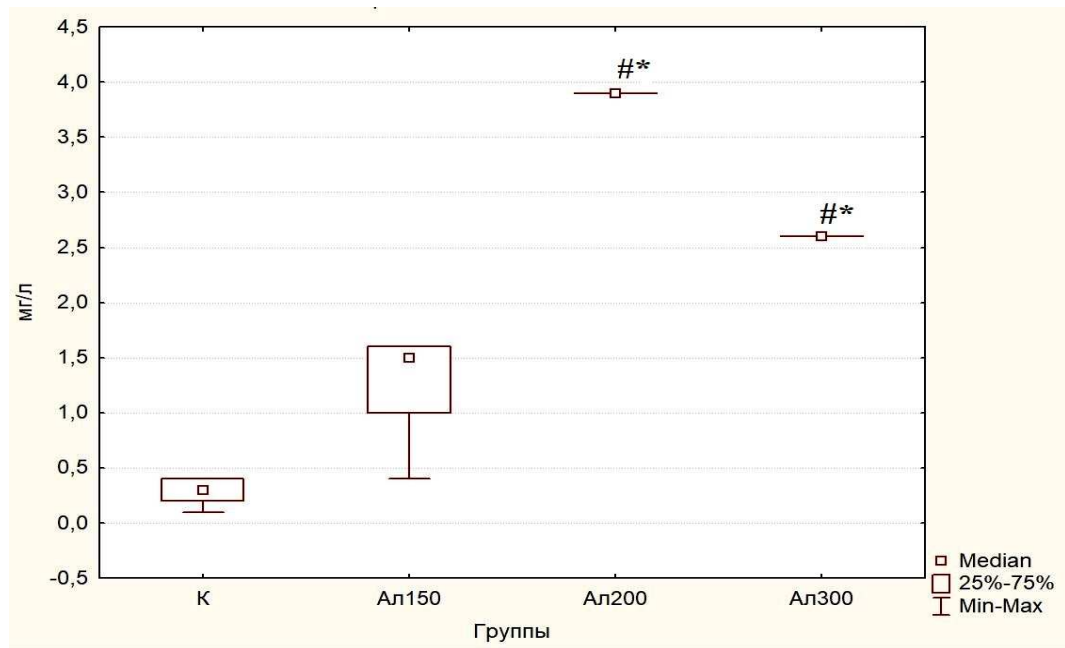


Рис. 5. Концентрация С-реактивного белка (мг/л) в сыворотке крови крыс контрольной группы (К), после введения аллоксана в дозах 150 (Ал150), 200 (Ал200) и 300 (Ал300) мг/кг массы тела на 32 сутки экспериментального исследования.

Примечания: те же, что на рис. 2.

В настоящее время появляется все больше публикаций, посвященных роли СРБ, определенного высокочувствительным методом, не только для прогнозирования и категоризации рисков развития сердечно-сосудистых осложнений, но и в диагностике СД. Гипергликемия в крови стимулирует выработку избыточного количества свободных радикалов, в том числе активных форм кислорода и азота, которые вызывают окислительный стресс, воспалительную реакцию, характеризующуюся повышением уровня СРБ в крови [57–59].

Введение крысам аллоксана, обладающего направленным токсическим действием в отношении инсулиноцитов [10], вызывает запуск воспалительного процесса. Согласно данным литературы, деструктивные процессы в панкреатических островках инициируют миграцию макрофагов, которые осуществляют фагоцитоз и презентацию β -клеточных антигенов Naïve CD4⁺ Т-лимфоцитам, инициируя аутоиммунную реакцию против β -клеток [60]. Более того, макрофаги способны секретировать провоспалительные цитокины TNF α , IL-1, IL-6 (увеличение их уровня в плазме крови крыс с аллоксановым СД является

закономерным явлением, отражающим развитие воспалительного процесса в островковой части поджелудочной железы крыс) и активные формы кислорода, которые являются триггерами каскада биологических реакций при СД и способствуют деструкции β -клеток [4]. В процессе развития аллоксанового диабета воспалительные реакции становятся системными, поскольку происходит повсеместное накопление гликированных белков (отражением является увеличение количества гликозилированного гемоглобина на 30 сутки исследования) и приводят к формированию хронических осложнений СД, таких как микроангиопатии, нейропатии, нефропатия, ретинопатия [35].

Установлено, что уровень СРБ у больных СД и сердечно-сосудистыми заболеваниями можно рассматривать в качестве маркера воспаления, окислительного стресса и эндотелиальной дисфункции, выраженность которых нарастает параллельно повышению средних значений этого показателя и ассоциируется с риском развития сердечно-сосудистых заболеваний [61–63]. Общим и взаимоотягощающим патогенетическим механизмом развития этих патологических состояний является дисфункция эндотелия и вялотекущее воспаление в интиме сосудов (отражением может быть уровень СРБ), основой которых служит дисбаланс медиаторов, обеспечивающих в норме оптимальное течение всех эндотелий зависимых процессов — барьерной функции, миграции клеток крови в сосудистую стенку и регуляции сосудистого тонуса, синтеза факторов, участвующих в гемостазе, иммуногенезе и воспалении [64, 65]. СД способствует развитию сердечно-сосудистых заболеваний посредством различных метаболических, структурных и биохимических изменений [66]. Хроническая гипергликемия способствует окислительному стрессу, повреждению тканей, увеличивая риск развития микрососудистых (ретинопатия, нефропатия и невропатия) и макрососудистых осложнений (застойная сердечная недостаточность, инсульт, ишемическая болезнь сердца, инфаркт миокарда и заболевания периферических сосудов).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе экспериментального исследования получены данные, подтверждающие эффективность аллоксановой модели диабета, которая в связи с низкой стоимостью, достаточно хорошей воспроизводимостью (заболеваемость у крыс составляет около 80 %), быстрым развитием заболевания (через 2–3 суток после введения препарата) имеет определенные преимущества перед другими моделями. Однако в результате высоких токсичности соединения для почек, печени и других органов, а, следовательно, летальности животных (минимум 30 %) необходимо обоснование эффективных доз аллоксана для достижения стабильной и длительной гипоинсулемии и гипергликемии.

Проведен сравнительный анализ выраженности нарушений метаболизма на длительных сроках развития аллоксанового диабета (32 дня) в зависимости от дозы (150, 200 и 300 мг/кг) и способа введения (однократно или дробно) препарата. Как показали экспериментальные исследования, направленность изменений биохимических показателей, характеризующих углеводный, липидный и белковый

обмены, а также СРБ в используемых моделях аллоксан-индуцированного диабета одинакова и связана с разрушением β -клеток поджелудочной железы, снижением синтеза и секреции в кровь инсулина, гипергликемией, глюкоз- и кетонурией, однако их выраженность зависит от дозы и способа введения диабетогенного препарата.

У крыс 2 группы после однократного введения аллоксана в дозе 150 мг/кг концентрация глюкозы в крови достоверно превышала значения этого показателя в контроле ($p < 0,05$) с 7 по 28 сутки исследования, а к 31 суткам эксперимента её значения приблизились к уровню контрольных значений (рис. 2; табл. 1). Это свидетельствует о том, что гипергликемия, возникающая у животных после введения аллоксана в дозе 150 мг/кг, нестабильна и может оказаться обратимым процессом, который по истечении определенного времени приведет к нормализации уровня глюкозы крови, а, следовательно, данную модель СД невозможно использовать в длительных экспериментах (более 30 дней). Особенности изменения биохимических показателей крови крыс этой группы, проведенные через 32 дня после введения аллоксана, также продемонстрировали отсутствие статистически значимых изменений (за исключением концентрации общего белка и мочевины в сыворотке крови) по сравнению с контролем, что свидетельствует о развитии непродолжительного СД легкой или средней тяжести.

Наиболее выраженный уровень гипергликемии как в капиллярной крови, так и в сыворотке крови, полученной из шейных вен после декапитации животных, зарегистрирован у крыс после введения однократной дозы аллоксана 200 мг/кг и особенно суммарной дозы 300 мг/кг (троекратно по 100 мг/кг через сутки). Изменения биохимических показателей сыворотки крови крыс этих экспериментальных групп свидетельствуют о существенном нарушении жирового и белкового метаболизма, развитии воспалительного процесса, что может быть следствием нарушения функций и структуры не только поджелудочной железы, но и почек, печени, кровеносных сосудов и других органов и свидетельствует о развитии СД тяжелой степени. При этом дробное введение аллоксана в суммарной дозе 300 мг/кг привело к наиболее выраженным метаболическим нарушениям на фоне статистически значимого снижения летальности по сравнению с однократным введением аллоксана в дозах 150 и 200 мг/кг.

Работа выполнена в рамках программы исследований № АААА-А21-121011990099-6 «Физиологические механизмы биологического действия факторов разной природы и интенсивности» ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет имени В. И. Вернадского».

Список литературы

1. Sun H. IDF diabetes atlas: global, regional and country-level diabetes prevalence estimates for 2021 and projections for 2045 / H. Sun, P. Saeedi, S. Karuranga [et al.] // Diabetes Res. Clin. Pract. – 2022. – Vol. 183. – P. 109–119.
2. Jwad M. Types of diabetes and their effect on the immune system / M. Jwad, H. Yousif Al-Fatlawi, P. D. Student // J. Adv. Pharm. Pract. – 2022. – Vol. 4, No. 1. – P. 21–30.

3. Stanifer J. W. Prevalence, risk factors, and complications of diabetes in the Kilimanjaro region: a population-based study from Tanzania / J. W. Stanifer, C. R. Cleland, G. J. Makuka [et al.] // PLoS One. – 2016. – Vol. 11, No. 10. – P. e0164428.
4. Дедов И. И. Сахарный диабет в Российской Федерации: распространенность, заболеваемость, смертность, параметры углеводного обмена и структура сахароснижающей терапии по данным федерального регистра сахарного диабета, статус 2017 г. / И. И. Дедов, М. В. Шестакова, О. К. Викулова [и др.] // Сахарный диабет. – 2018. – Т. 21, № 3.
5. Gati M. A. Physiological and histological study of experimental diabetes mellitus by alloxan / M. A. Gati // Int. J. Adv. Res. – 2016. – Vol. 4, No. 3. – P. 1814–1818.
6. Бафаев Ж. Т. Особенности типологических свойств животных в клиническом течении экспериментальной модели аллоксанового диабета / Ж. Т. Бафаев, А. А. Мавланов, З. Н. Хамидова // Новый день в медицине. – 2022. – Т. 1, № 39. – С. 257–263.
7. Rashmi P. Rodent models for diabetes / P. Rashmi, A. Urmila, A. Likhith [et al.] // 3 Biotech. – 2023. – Vol. 13. – P. 80.
8. Madhariya R. Experimental animal models: tools to investigate antidiabetic activity / R. Madhariya, B. Dixena, A. Ram [et al.] // Curr. Pharm. Des. – 2023. – Vol. 29, No. 2. – P. 79–94.
9. Зайчик А. Ш. Патолофизиология. Т. 2. Основы патохимии / А. Ш. Зайчик, Л. П. Чурилов. – СПб. : Элби-СПб., 2001. – 687 с.
10. Lenzen S. The mechanisms of alloxan- and streptozotocin-induced diabetes / S. Lenzen // Diabetologia. – 2008. – Vol. 51. – P. 216–226.
11. Баранов В. Г. Экспериментальный сахарный диабет. Роль в клинической диабетологии / В. Г. Баранов, И. М. Соколовцова, Э. Г. Гаспарян [и др.]. – Л. : Наука, 1983. – 240 с.
12. Данилова И. Г. Способ моделирования аллоксанового диабета / И. Г. Данилова, И. Ф. Гетте: Патент на изобретение № 2534411; заявл. 27.11.2014; опубл. 27.11.2014. – Бюл. № 33.
13. Эльбекьян К. С. Особенности протекания аллоксан-индуцированного сахарного диабета у экспериментальных крыс / К. С. Эльбекьян, А. Б. Ходжаян, Ф. А. Биджиева [и др.] // Медицинский вестник Северного Кавказа. – 2019. – Т. 14, № 1.2. – С. 264–267.
14. Fajarwati I. Administration of alloxan and streptozotocin in Sprague Dawley rats and the challenges in producing diabetes model / I. Fajarwati, D. D. Solihin, T. Wresdiyati, I. Batubara // IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci. – 2023. – Vol. 1174, No. 1. – P. 012035.
15. Биджиева Ф. А. Биохимические особенности аллоксан индуцированного сахарного диабета / Ф. А. Биджиева // Медицинский алфавит. – 2018. – Т. 31, № 2. – С. 12–14.
16. Behr G. A. Pancreas b-cells morphology, liver antioxidant enzymes and liver oxidative parameters in alloxan-resistant and alloxan-susceptible Wistar rats: a viable model system for the study of concepts into reactive oxygen species / G. A. Behr, E. G. da Silva, A. Romanelli [et al.] // Fundam. Clin. Pharmacol. – 2008. – Vol. 22. – P. 657–666.
17. Закирьянов А. Р. Диабетические осложнения у крыс при длительных сроках моделирования сахарного диабета 1-го типа / А. Р. Закирьянов, М. А. Плахотный, Н. А. Онищенко [и др.] // Патол. физиол. эксперим. терапии. – 2007. – № 4. – С. 21–25
18. Selyatitskaya V. G. Adrenocortical system activity in alloxan-resistant and alloxan-susceptible Wistar rats / V. G. Selyatitskaya, N. A. Palchikova, N. V. Kuznetsova // J. Diabetes Mellit. – 2012. – Vol. 2, No. 2. – P. 165–169.
19. Elsner M. Importance of the GLUT2 glucose transporter for pancreatic beta cell toxicity of alloxan / M. Elsner, M. Tiedge, B. Guldakke [et al.] // Diabetologia. – 2002. – Vol. 45, No. 11. – P. 1542–1549.
20. Пальчикова Н. А. Гормонально-биохимические особенности аллоксановой и стрептозотоциновой моделей экспериментального диабета / Н. А. Пальчикова, Н. В. Кузнецова, О. И. Кузьмина, В. Г. Селятицкая // Бюл. СО РАМН. – 2013. – Т. 33, № 6. – С. 18–24.
21. Radenković M. Experimental diabetes induced by alloxan and streptozotocin: the current state of the art / M. Radenković, M. Stojanović, M. Prostran // J. Pharmacol. Toxicol. Methods. – 2016. – Vol. 78. – P. 13–31.
22. Торопова А. А. Влияние комплексного фитосредства на углеводный обмен, морфофункциональное состояние поджелудочной железы при экспериментальном аллоксан-индуцированном сахарном диабете / А. А. Торопова, Я. Г. Разуваева // Вестник Бурятского государственного университета. Медицина и фармация. – 2024. – № 3. – С. 41–48.

23. Ральченко И. В. Влияние метформина и инсулина на метаболические нарушения при аллоксановом диабете / И. В. Ральченко, С. Шилали, С. Н. Толстогузов // Сибирское медицинское обозрение. – 2023. – № 3. – С. 78–83.
24. Блинкова Н. Б. Модуляция макрофага как фактор регуляции регенераторных процессов в печени крыс с аллоксановым диабетом / Н. Б. Блинкова, И. Г. Данилова, М. Т. Абидов // Гены и Клетки. – 2017. – Т. 12, № 3. – С. 44–44.
25. Barcham D. An improved color reagent for the determination of blood glucose by the oxidase system / D. Barcham, P. Trinder // Analyst. – 1972. – Vol. 97, No. 151. – P. 142–145.
26. Allain C. Enzymatic determination of total serum cholesterol / C. Allain, L. Poon, G. Chan [et al.] // Clin. Chem. – 1974. – Vol. 20, No. 4. – P. 470–475.
27. Roeschlau P. Enzymatische Bestimmung des Gesampt-Cholesterins in serum / P. Roeschlau, E. Bernt, W. A. Gruber // Clin. Chem. Clin. Biochem. – 1974. – Vol. 12, No. 5. – P. 226–227.
28. Nauk M. Measurement of high-density-lipoprotein cholesterol / M. Nauk, D. Wiebe, G. Warnick // Handbook of lipoprotein testing. – 2nd ed. – Washington DC: AACC Press, 2001. – P. 221–244.
29. Климов А. Н. Обмен липидов и липопротеидов и его нарушения / А. Н. Климов. – СПб.: Питер, 1999. – 512 с.
30. Cornall A. G. Determination of serum proteins by means of the biuret reaction / A. G. Cornall, C. J. Bardawill, M. M. David // J. Biol. Chem. – 1949. – Vol. 177, No. 2. – P. 751–766.
31. Burtis C. A. Tietz textbook of clinical chemistry and molecular diagnostics / C. A. Burtis, E. R. Ashwood, D. E. Bruns. – 5th ed. – St. Louis: Elsevier, 2012.
32. Claus D. R. Radioimmunoassay of human C-reactive protein and levels in normal sera / D. R. Claus, A. P. Osmand, H. Gewurz // J. Lab. Clin. Med. – 1976. – Vol. 87. – P. 120–128.
33. Hind C. R. H. The role of serum C-Reactive protein (CRP) measurement in clinical practice / C. R. H. Hind, M. B. Pepys // Int. Med. – 1984. – Vol. 5. – P. 112–151.
34. Макаров В. Н. Справочник. Физиологические, биохимические и биометрические показатели нормы экспериментальных животных / В. Н. Макаров, М. Н. Макарова. – СПб.: ЛЕМА, 2013 – 118 с.
35. Данилова И. Г. Цитокиновая регуляция регенераторных процессов в поджелудочной железе при аллоксановом сахарном диабете у крыс и его коррекции соединением ряда 1,3,4-тиадиазина и липоевой кислотой / И. Г. Данилова, В. В. Емельянов, И. Ф. Гетте [и др.] // Медицинская иммунология. – 2018. – Т. 20, № 1. – С. 35–44.
36. Яшанова М. И. Валидность моделей экспериментального диабета для изучения окислительного стресса / М. И. Яшанова, Т. Г. Щербатюк, В. Ю. Николаев // Журн. медико-биологических исследований. – 2019. – Т. 7, № 1. – С. 66–78.
37. Szkudelski T. The mechanism of alloxan and streptozotocin action in B cells of the rat pancreas / T. Szkudelski // Physiol. Res. – 2001. – No. 50. – P. 536–546.
38. Михайличенко В. Ю. Эффект трансплантации культуры клеток поджелудочной железы при аллоксановом сахарном диабете у крыс в эксперименте / В. Ю. Михайличенко, С. С. Столяров // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. – 2015. – № 9. – С. 670–672.
39. Ломаева С. В. Особенности обмена биополимеров соединительной ткани в печени крыс с аллоксановым диабетом / С. В. Ломаева, И. Ф. Гетте, Т. С. Булавинцева [и др.] // Бюллетень сибирской медицины. – 2013. – Т. 12, № 6. – С. 38–42.
40. Клиническая лабораторная диагностика (методы и трактовка лабораторных исследований) / под ред. В. С. Камышникова. – М.: МЕДпресс-информ, 2015. – 720 с.
41. Mistry J. Antidiabetic activity of mango peel extract and mangiferin in alloxan-induced diabetic rats / J. Mistry, M. Biswas, S. Sarkar [et al.] // Futur. J. Pharm. Sci. – 2023. – Vol. 9. – P. 22.
42. Rye K. A. Antiinflammatory actions of HDL: a new insight / K. A. Rye, P. J. Barter // Arterioscler. Thromb. Vasc. Biol. – 2008. – Vol. 28. – P. 1890–1891.
43. Smith J. D. Dysfunctional HDL as a diagnostic and therapeutic target / J. D. Smith // Arterioscler. Thromb. Vasc. Biol. – 2010. – Vol. 30. – P. 151–155.
44. Kontush A. Antiatherogenic function of HDL particle subpopulations: focus on antioxidative activities / A. Kontush, M. J. Chapman // Curr. Opin. Lipidol. – 2010. – Vol. 21. – P. 312–318.
45. Souza J. A. Small, dense HDL 3 particles attenuate apoptosis in endothelial cells: pivotal role of apolipoprotein A-I / J. A. Souza [et al.] // J. Cell. Mol. Med. – 2010. – Vol. 14. – P. 608–620.

46. Van L. S. High-density lipoprotein at the interface of type 2 diabetes mellitus and cardiovascular disorders / L. S. Van [et al.] // *Curr. Pharm. Des.* – 2010. – Vol. 16. – P. 1504–1516.
47. Андрейченко И. А. Информативность изменений биохимических параметров сыворотки крови при сахарном диабете 2-го типа / И. А. Андрейченко, С. Д. Галкин // *Вестник новых медицинских технологий.* – 2011. – № 4. – С. 184–186.
48. Бородин Е. А. Биохимия и клиническая лабораторная диагностика / Е. А. Бородин. – Благовещенск : Амурская ГМА Минздрава России, 2021.
49. Harita N. Lower serum creatinine is a new risk factor of type 2 diabetes: the Kansai healthcare study / N. Harita, T. Hayashi, K. K. Sato [et al.] // *Diabetes Care.* – 2009. – Vol. 32. – P. 424–426.
50. Lorenzo C. Risk of type 2 diabetes among individuals with high and low glomerular filtration rates / C. Lorenzo, S. D. Nath, A. J. Hanley [et al.] // *Diabetologia.* – 2009. – Vol. 52. – P. 1290–1297.
51. Hjeltnes J. Low serum creatinine is associated with type 2 diabetes in morbidly obese women and men: a cross-sectional study / J. Hjeltnes, J. Røislien, N. Nordstrand [et al.] // *BMC Endocr. Disord.* – 2010. – Vol. 10. – P. 6.
52. Буеверов А. О. Поражение печени при сахарном диабете 1-го типа / А. О. Буеверов, А. В. Зиллов // *Российский журнал гастроэнтерологии, гепатологии, колопроктологии.* – 2021. – Т. 31, № 2. – С. 7–13.
53. Jiang S. Hepatic functional and pathological changes of type 1 diabetic mice in growing and maturation time / S. Jiang, X. Tang, K. Wang [et al.] // *J. Cell. Mol. Med.* – 2019. – Vol. 23, № 8. – P. 5794–5807.
54. Борисов А. Г. Диабетическая нефропатия: современные принципы классификации, диагностики и особенности сахароснижающей терапии / А. Г. Борисов, С. В. Чернавский, М. А. Смирнова, А. А. Стрелюхов // *Лечащий Врач.* – 2021. – № 9 (24). – С. 53–58.
55. Блинкова Н. Б. Реакция иммунокомпетентных клеток на структурные повреждения почки при экспериментальном аллоксановом диабете / Н. Б. Блинкова, И. Г. Данилова, И. Ф. Гетте, Т. С. Булавинцева // *Российский иммунологический журнал.* – 2017. – Т. 11 (20), № 2. – С. 257–258.
56. Heier M. Inflammation in childhood type 1 diabetes; influence of glycemic control / M. Heier, H. D. Margeisdottir, C. Brunborg [et al.] // *Atherosclerosis.* – 2015. – Vol. 238, № 1. – P. 33–37.
57. Suryadinata R. V. Effectiveness of Lime Peel Extract (*Citrus aurantifolia* Swingle) against C-Reactive Protein Levels in Alloxan-Induced Wistar Rats / R. V. Suryadinata, A. Lorensia, K. Sefania // *Glob. Med. Health Commun.* – 2021. – Vol. 9, № 1. – P. 23–28.
58. Asmat U. Diabetes mellitus and oxidative stress—a concise review / U. Asmat, K. Abad, K. Ismail // *Saudi Pharm. J.* – 2016. – Vol. 24, № 5. – P. 547–553.
59. Richardson S. J. The Prevalence of Enteroviral Capsid Protein Vp1 Immunostaining in Pancreatic Islets in Human Type 1 Diabetes / S. J. Richardson, A. Willcox, A. J. Bone, A. K. Foulis, N. G. Morgan // *Diabetologia.* – 2009. – Vol. 52. – P. 1143–1151.
60. Sproston N. R. Role of C-reactive protein at sites of inflammation and infection / N. R. Sproston, J. J. Ashworth // *Front. Immunol.* – 2018. – Vol. 9. – P. 754.
61. Artasensi A. Type 2 Diabetes Mellitus: A Review of Multi-Target Drugs / A. Artasensi, A. Pedretti, G. Vistoli, L. Fumagalli // *Molecules.* – 2020. – Vol. 25, № 8. – P. 1987.
62. Marton L. T. The Effects of Curcumin on Diabetes Mellitus: A Systematic Review / L. T. Marton, L. M. Pescinini-E-Salzedas, M. E. C. Camargo [et al.] // *Front. Endocrinol.* – 2021. – Vol. 12. – P. 669448.
63. Chiavaroli L. Effect of low glycaemic index or load dietary patterns on glycaemic control and cardiometabolic risk factors in diabetes: systematic review and meta-analysis of randomised controlled trials / L. Chiavaroli, D. Lee, A. Ahmed [et al.] // *BMJ.* – 2021. – Vol. 374. – P. 1651.
64. Brevetti G. Endothelial dysfunction: a key to the pathophysiology and natural history of peripheral arterial disease? / G. Brevetti, V. Schiano, M. Chiariello // *Atherosclerosis.* – 2008. – Vol. 197. – P. 1–11.
65. Sima A. V. Vascular endothelium in atherosclerosis / A. V. Sima, C. S. Stancu, M. Simionescu // *Cell Tissue Res.* – 2009. – Vol. 335, № 1. – P. 191–203.
66. Ho K. L. Metabolic, structural and biochemical changes in diabetes and the development of heart failure / K. L. Ho, Q. G. Karwi, D. Connolly [et al.] // *Diabetologia.* – 2022. – Vol. 65. – P. 411–423.

FEATURES OF BIOCHEMICAL BLOOD PARAMETERS CHANGES IN RATS UNDER DIFFERENT EXPERIMENTAL MODELS OF ALLOXAN-INDUCED DIABETES

Chuyan E. N., Liventsov S. Yu., Dvoretzkaya N. I.

*Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education "Crimean Federal University named after V. I. Vernadsky", Simferopol, Republic of Crimea, Russia
E-mail: elena-chuyan@rambler.ru*

The necessity of modern research lies in the use of reliable experimental models of diabetes mellitus (DM) in animals, both for understanding the pathogenesis of the disease and for developing new pharmacological and non-pharmacological treatment methods. In experimental practice, the chemical model of DM, including the use of alloxan, is the most widespread. This model induces pronounced metabolic disorders in rats, accompanied by a persistent increase in blood glucose levels. *Objective of the study:* to identify the features of biochemical changes in the blood of rats with alloxan-induced DM in different experimental models.

Alloxan-induced diabetes was induced in male Wistar rats ($n=71$) of average weight (272.32 ± 22.70 g) and age (150.00 ± 12.00 days) by intraperitoneal administration of alloxan monohydrate at doses of 150 mg/kg (2-All150; $n=29$), 200 mg/kg (3-All200; $n=19$), and 300 mg/kg (4-All300; $n=13$; fractionally, 3 times, 100 mg/kg every other day). Rats in group 1 (control, $n=10$) received an equivalent volume of physiological saline (0.2 ml). During the development of DM, body weight and peripheral blood glucose levels (from the tail tip) were measured dynamically on days 7, 14, 21, 28, and 31. After the experiment was concluded (day 32), key biochemical parameters were measured in blood serum, including glucose, total cholesterol, high- and low-density lipoproteins, triglycerides, total protein, urea, creatinine, and C-reactive protein. The measurements were performed using an automated biochemical analyzer ERBA-XL-180 ("ErbaLachema", Czech Republic) with proprietary reagent kits designed for this device. The significance of differences between groups was assessed using Dunn's nonparametric test.

The results of the study showed that the mortality rate of experimental animals depended on the dose of alloxan and the administration method (single or fractional). In the second group (All150), mortality was 44.83 %; the highest was in the third group (All200) at 47.36 %; and the lowest was in the fourth group (All300) with fractional administration at 30.77 %. One month after alloxan administration, the animals developed DM, which was accompanied by polydipsia, polyuria, hyperglycemia, ketonuria, weight loss, dulling, darkening, and shedding of fur. The maximum increase in blood glucose concentration in group 4 rats was observed at the earliest stage (day 7; 20.3 mmol/L), while in group 3 rats, it peaked on day 14 (27.4 mmol/L). Changes in the biochemical parameters of rat serum in all experimental groups indicated significant disturbances in carbohydrate, lipid, and protein metabolism. However, the severity of these changes depended on the experimental model and the alloxan dose: fractional administration of alloxan at a dose of 300 mg/kg resulted in the most pronounced metabolic disturbances, while significantly reducing mortality.

Keywords: diabetes mellitus; experimental models; alloxan-induced diabetes; biochemical blood parameters in rats; carbohydrate, lipid, and protein metabolism.

References

1. Sun H., Saeedi P., Karuranga S. IDF diabetes atlas: global, regional and country-level diabetes prevalence estimates for 2021 and projections for 2045, *Diabetes Res. Clin. Pract.*, **183** (2022).
2. Jwad M., Yousif Al-Fatlawi H. Types of diabetes and their effect on the immune system / Student // *J. Adv. Pharm. Pract.*, **4**, 1 (2022).
3. Stanifer J. W., Cleland C. R., Makuka G. J. Prevalence, risk factors, and complications of diabetes in the Kilimanjaro region: a population-based study from Tanzania, *PLoS One*, **11**, 10 (2016).
4. Dedov I. I., Shestakova M. V., Vikulova O. K. Saharnyj diabet v Rossijskoj Federacii: rasprostranennost', zabolevaemost', smertnost', parametry uglevodnogo obmena i struktura saharosnizhayushchej terapii po dannym federal'nogo registra saharного diabeta, status 2017 g. *Saharnyj diabet*, **21**, 3 (2018).
5. Gati M. A. Physiological and histological study of experimental diabetes mellitus by alloxan, *Int. J. Adv. Res.*, **4**, 3 (2016).
6. Bafaev Zh. T., Mavlanov A. A., Hamidova Z. N. Osobennosti tipologicheskikh svojstv zhivotnyh v klinicheskom techenii eksperimental'noj modeli alloksanovogo diabeta, *Novyj den' v medicine*, **1**, 39 (2022).
7. Rashmi P., Urmila A., Likhit A. Rodent models for diabetes, *3 Biotech.*, **13** (2023).
8. Madhariya R., Dixena B., Ram A. Experimental animal models: tools to investigate antidiabetic activity, *Curr. Pharm. Des.*, **29**, 2 (2023).
9. Zajchik A. Sh., Churilov L. P. *Patofiziologiya. Osnovy patohimii.*, 688 (SPb. Elbi-SPb., 2001).
10. Lenzen S. The mechanisms of alloxan- and streptozotocin-induced diabetes, *Diabetologia.*, **51** (2008).
11. Baranov V. G., Sokoloverova I. M., Gasparyan E. G. *Eksperimental'nyj saharный diabet. Rol' v klinicheskoy diabetologii*, 240 (L.: Nauka, 1983).
12. Danilova I. G., Gette I. F. Sposob modelirovaniya alloksanovogo diabeta. Patent na izobretenie № 2534411; zayavl. 27.11.2014; opubl. 27.11.2014. – Byul. № 33.
13. El'bek'yan K. S., Hodzhayan A. B., Bidzhieva F. A. Osobennosti protekaniya alloksan-inducirovannogo saharного diabeta u eksperimental'nyh krysov, *Medicinskij vestnik Severnogo Kavkaza*, **14**, 1 (2019).
14. Fajarwati I., Solihin D. D., Wresdiyati T., Batubara I. Administration of alloxan and streptozotocin in Sprague Dawley rats and the challenges in producing diabetes model, *IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci.*, **1174**, 1 (2023).
15. Bidzhieva F. A. Biohimicheskie osobennosti alloksan inducirovannogo saharного diabeta, *Medicinskij alfavit.*, **31**, 2 (2018).
16. Behr G. A. da Silva E. G., Romanelli A. Pancreas b-cells morphology, liver antioxidant enzymes and liver oxidative parameters in alloxan-resistant and alloxan-susceptible Wistar rats: a viable model system for the study of concepts into reactive oxygen species, *Fundam. Clin. Pharmacol.*, **22** (2008).
17. Zakir'yanov A. R., Plahotnij M. A., Onishchenko N. A. Diabeticheskie oslozhneniya u krysov pri dlitel'nyh srokah modelirovaniya saharного diabeta 1-go tipa, *Patol. fiziol. eksperim. terapii.*, **4** (2007).
18. Selyatitskaya V. G., Palchikova N. A., Kuznetsova N. V. Adrenocortical system activity in alloxan-resistant and alloxan-susceptible Wistar rats, *J. Diabetes Mellit.*, **2**, 2 (2012).
19. Elsner M., Tiedge M., Guldbakke B. Importance of the GLUT2 glucose transporter for pancreatic beta cell toxicity of alloxan, *Diabetologia.*, **45**, 11 (2002).
20. Pal'chikova N. A., Kuznecova N. V., Kuz'minova O. I., Selyatitskaya V. G. Gormonal'no-biohimicheskie osobennosti alloksanovoj i streptozotocinovoj modelej eksperimental'nogo diabeta, *Byul., SO RAMN.*, **33**, 6 (2013).
21. Radenković M., Stojanović M., Prostran M. Experimental diabetes induced by alloxan and streptozotocin: the current state of the art, *J. Pharmacol. Toxicol. Methods.*, **78** (2016).
22. Toropova A. A., Razuvaeva Ya. G. Vliyanie kompleksnogo fitosredstva na uglevodnyj obmen, morfofunkcional'noe sostoyanie podzheludochnoj zhelezy pri eksperimental'nom alloksan-

- inducirovannom saharanom diabete, *Vestnik Buryatskogo gosudarstvennogo universiteta. Medicina i farmaciya*, **3** (2024).
23. Ral'chenko I. V., Shilali S., Tolstoguzov S. N. Vliyanie metformina i insulina na metabolicheskie narusheniya pri alloksanovom diabete, *Sibirskoe medicinskoe obozrenie*, **3**, (2023).
24. Blinkova N. B., Danilova I. G., Abidov M. T. Modulyaciya makrofaga kak faktor regulyacii regeneratoryh processov v pecheni krys s alloksanovym diabetom, *Geny i Kletki*, **12**, 3 (2017).
25. Barcham D. Trinder P. An improved color reagent for the determination of blood glucose by the oxidase system, *Analyst.*, **97**, 151 (1972).
26. Allain C., Poon L., Chan G. Enzymatic determination of total serum cholesterol, *Clin. Chem.*, **20**, 4 (1974).
27. Roeschlau P., Bernt E., Gruber W. A. Enzymatische Bestimmung des Gesampt-Cholesterins in serum, *Clin. Chem. Clin. Biochem.*, **12**, 5 (1974).
28. Nauk M., Wiebe D., Warnick G. Measurement of high-density-lipoprotein cholesterol Handbook of lipoprotein testing. – 2nd ed., *Washington DC: AACC Press*, (2001).
29. Klimov A. N. Obmen lipidov i lipoproteidov i ego narusheniya, SPb.: Piter, (1999).
30. Cornall A. G., Bardawill C. J., David M. M. Determination of serum proteins by means of the biuret reaction, *J. Biol. Chem.*, **177**, 2 (1949).
31. Burtis C. A., Ashwood E. R., Bruns D. E. Tietz textbook of clinical chemistry and molecular diagnostics – 5th ed., St. Louis : *Elsevier*, (2012).
32. Claus D. R., Osmand A. P., Gewurz H. Radioimmunoassay of human C-reactive protein and levels in normal sera, *J. Lab. Clin. Med.*, **87**, (1976).
33. Hind C. R., Pepys M. B. H. The role of serum C-Reactive protein (CRP) measurement in clinical practice, *Int. Med.*, **5** (1984).
34. Makarov V. N., Makarova M. N. Spravochnik. Fiziologicheskie, biohimicheskie i biometricheskie pokazateli normy eksperimental'nyh zhivotnyh, SPb.: *LEMA*, 118 (2013).
35. Danilova I. G., Emel'yanov V. V., Gette I. F. Citokinovaya regulyaciya regeneratoryh processov v podzheludochnoj zheleze pri alloksanovom saharanom diabete u krys i ego korrekcii soedineniem ryada 1,3,4-tiadiazina i lipoevoj kislotoj *Medicinskaya immunologiya*, **20**, 1 (2018).
36. Yashanova M. I., Shcherbatyuk T. G., Nikolaev V. Yu. Validnost' modelej eksperimental'nogo diabeta dlya izucheniya okislitel'nogo stressa *Zhurn. mediko-biologicheskikh issledovaniy*, **7**, 1 (2019).
37. Szkudelski T. The mechanism of alloxan and streptozotocin action in B cells of the rat pancreas, *Physiol. Res.*, **50** (2001).
38. Mihajlichenko V. Yu., Stolyarov S. S. Effekt transplantacii kul'tury kletok podzheludochnoj zhelezy pri alloksanovom saharanom diabete u krys v eksperimente, *Mezhdunarodnyj zhurnal prikladnyh i fundamental'nyh issledovaniy*, 9 (2015).
39. Lomaeva S. V., Gette I. F., Bulavinceva T. S. Osobennosti obmena biopolimerov soedinitel'noj tkani v pecheni krys s alloksanovym diabetom, *Byulleten' sibirskoj mediciny*, **12**, 6 (2013).
40. Klinicheskaya laboratornaya diagnostika (metody i traktovka laboratornyh issledovaniy) / pod red. V. S. Kamyshnikova, 720 (M.: MEDpress-inform, 2015).
41. Mistry J., Biswas M., Sarkar S. Antidiabetic activity of mango peel extract and mangiferin in alloxan-induced diabetic rats, *Futur. J. Pharm. Sci.*, **9**, 22 (2023).
42. Rye K.-A., Barter P. J. Antiinflammatory actions of HDL: a new insight, *Arterioscler. Thromb. Vasc. Biol.*, **28** (2008).
43. Smith J. D. Dysfunctional HDL as a diagnostic and therapeutic target, *Arterioscler. Thromb. Vasc. Biol.*, **30** (2010).
44. Kontush A. Chapman M. J. Antiatherogenic function of HDL particle subpopulations: focus on antioxidative activities, *Curr. Opin. Lipidol.*, **21** (2010).
45. Souza J. A. Small, dense HDL 3 particles attenuate apoptosis in endothelial cells: pivotal role of apolipoprotein A-I., *J. Cell. Mol. Med.*, **14** (2010).
46. Van L. S. High-density lipoprotein at the interface of type 2 diabetes mellitus and cardiovascular disorders., *Curr. Pharm. Des.*, **16** (2010).
47. Andrejchenko I. A., Galkin S. D. Informativnost' izmenenij biohimicheskikh parametrov syvorotki krovi pri saharanom diabete 2-go tipa, *Vestnik novykh medicinskih tekhnologij*, **4** (2011).

48. Borodin E. A. Biohimiya i klinicheskaya laboratornaya diagnostika, Blagoveshchensk: *Amurskaya GMA Minzdrava Rossii*, (2021).
49. Harita N., Hayashi T., Sato K. K. Lower serum creatinine is a new risk factor of type 2 diabetes: the Kansai healthcare study, *Diabetes Care*, **32** (2009).
50. Lorenzo C., Nath S. D., Hanley A. J. Risk of type 2 diabetes among individuals with high and low glomerular filtration rates, *Diabetologia*, **52** (2009).
51. Hjeltnes J., Røislien J., Nordstrand N. Low serum creatinine is associated with type 2 diabetes in morbidly obese women and men: a cross-sectional study, *BMC Endocr. Disord.*, **10**, 6 (2010).
52. Bueverov A. O., Zilov A. V. Porazhenie pecheni pri saharom diabete 1-go tipa, *Rossiiskij zhurnal gastroenterologii, gepatologii, koloproktologii.*, **31**, 2 (2021).
53. Jiang S., Tang X., Wang K. Hepatic functional and pathological changes of type 1 diabetic mice in growing and maturation time, *J. Cell. Mol. Med.*, **23**, 8 (2019).
54. Borisov A. G., Chernavskij S. V., Smirnova M. A., Stremouhov A. A. Diabeticheskaya nefropatiya: sovremennye principy klassifikacii, diagnostiki i osobennosti saharosnizhayushchej terapii, *Lechashchij Vrach*, **9**, 24 (2021).
55. Blinkova N. B., Danilova I. G., Gette I. F., Bulavinceva T. S. Reakciya immunokompetentnykh kletok na strukturnye povrezhdeniya pochki pri eksperimental'nom alloksanovom diabete, *Rossiiskij immunologicheskij zhurnal*, **11**, 2 (2017).
56. Heier M., Margeisdottir H. D., Brunborg C. Inflammation in childhood type 1 diabetes; influence of glycemic control, *Atherosclerosis*, **238**, 1 (2015).
57. Suryadinata R. V., Lorensia A., Sefania K. Effectiveness of Lime Peel Extract (*Citrus aurantifolia* Swingle) against C-Reactive Protein Levels in Alloxan-Induced Wistar Rats, *Glob. Med. Health Commun*, **9**, 1 (2021).
58. Asmat U., Abad K., Ismail K. Diabetes mellitus and oxidative stress—a concise review, *Saudi Pharm. J.*, **24**, 5 (2016).
59. Richardson S. J., Willcox A., Bone A. J., Foulis A. K., Morgan N. G. The Prevalence of Enteroviral Capsid Protein Vp1 Immunostaining in Pancreatic Islets in Human Type 1 Diabetes, *Diabetologia*, **52**, (2009).
60. Sproston N. R., Ashworth J. J. Role of C-reactive protein at sites of inflammation and infection, *Front. Immunol*, **9**, (2018).
61. Artasensi A., Pedretti A., Vistoli G., Fumagalli L. Type 2 Diabetes Mellitus: A Review of Multi-Target Drugs, *Molecules*, **25**, 8 (2020).
62. Marton L. T., Pescinini-E-Salzedas L. M., Camargo M. E. C. The Effects of Curcumin on Diabetes Mellitus: A Systematic Review, *Front. Endocrinol*, **12** (2021).
63. Chiavaroli L., Ahmed D. Lee, A. Effect of low glycaemic index or load dietary patterns on glycaemic control and cardiometabolic risk factors in diabetes: systematic review and meta-analysis of randomised controlled trials, *BMJ*, **374** (2021).
64. Brevetti G., Schiano V., Chiariello M. Endothelial dysfunction: a key to the pathophysiology and natural history of peripheral arterial disease, *Atherosclerosis*, **197** (2008).
65. Sima A. V., Stancu C. S., Simionescu M. Vascular endothelium in atherosclerosis, *Cell Tissue Res.*, **335**, 1 (2009).
66. Ho K.L. Karwi Q. G., Connolly D. L. Metabolic, structural and biochemical changes in diabetes and the development of heart failure, *Diabetologia*, **65** (2022).

УДК 639.11/.16

DOI 10.29039/2413-1725-2025-11-1-250-259

ИЗМЕНЕНИЯ ЧИСЛЕННОСТИ ОХОТНИЧЬИХ ВИДОВ ЖИВОТНЫХ В ТАТАРСТАНЕ ЗА ПОСЛЕДНИЕ 13 ЛЕТ

Ярмиев И. З., Рахимов И. И.

***ФГАОУ ВО «Казанский (Приволжский) федеральный университет» Институт
фундаментальной медицины и биологии, Казань, Республика Татарстан, Россия
E-mail: yarmiev82@gmail.com***

В статье представлена оценка состояния и основные методы учета численности охотничьих видов животных на территории Республики Татарстан с 2010 по 2023 гг. Одним из простых и распространенных методов учета является зимний маршрутный учет, который позволяет определить численность сразу нескольких видов животных. Также применяется и более современные методы, как авиаучет. За последние 13 лет в Татарстане наблюдалось значительное увеличение ресурсов зайца-беляка, зайца-русака, куницы, рыси, лося, косули, хоря и глухаря. Несколько уменьшились ресурсы белки, лисицы, кабана, корсака и куропатки. В работе рассмотрены причины, которые оказывают влияние на динамику численности популяций охотничьих животных в Республике Татарстан.

Ключевые слова: охотничьи виды, численность, ЗМУ, интродукция, биологические ресурсы, динамика численности.

ВВЕДЕНИЕ

За последние 13 лет на территории Республики Татарстан наблюдается колебательные изменения численности некоторых диких животных. На численность животных в природе влияют антропогенные, биотические и абиотические факторы. Усилившийся в последние годы антропогенное воздействие на доступные природные ресурсы привели к сокращению численности некоторых охотничьих видов животных на территории Республики Татарстан. В связи с этим становится актуальным проведение мониторинговых работ по отслеживанию динамики численности. Цель нашей статьи изучить изменения численности охотничьих видов животных на территории Татарстана, выявить основные факторы и проанализировать методы учета диких животных.

В настоящее время изучение динамики численности животных в популяции является основным показателем, который используется в охотничьем хозяйстве для характеристики состояния.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В Республике Татарстан используются различные методы для учета численности охотничьих животных. Это помогает следить за популяциями и принимать правильные решения по регулированию охоты и охране животного мира.

Зимний маршрутный учет (ЗМУ) – один из основных методов, который применяем для определения плотности населения и численности охотничьих зверей и птиц на больших территориях. Суть метода в том, что среднее число пересечений учетным маршрутом следов зверей прямо пропорционально плотности населения вида. ЗМУ позволяет нам одновременно определить численность многих видов, включая лося, косулю, кабана, волка, лисицу, зайцев и других [1].

ЗМУ проводится ежегодно в период с 15 января по 15 марта в дни с благоприятными погодными условиями. Учет проходит в два дня: в первый день затираются все следы на маршруте, а на следующий день учитываются новые следы. На основе этих данных мы рассчитываем плотность населения и численность видов [2].

Авиаучет – еще один эффективный метод, который используется для подсчета копытных животных, особенно лося и косули. Этот метод позволяет получить объективные данные о численности и размещении животных на больших территориях. Авиаучет проводится с помощью беспилотных летательных аппаратов (БПЛА), которые оснащены фото- и видеоаппаратурой высокого разрешения [3].

БПЛА позволяют оперативно производить съемку больших территорий, а специальное программное обеспечение автоматически определяет на снимках животных и их координаты. Это значительно повышает точность учета и сокращает время на обработку данных [3].

Для некоторых видов, таких как кабан, олень и косуля, применяются метод учета в местах искусственных концентраций. Этот метод предполагает подсчет животных на подкормочных площадках и у кормушек. Учет проводится визуально или с помощью фото- и видеорегистраторов [4].

В случаях, когда снежный покров отсутствует, используется метод шумового прогона. Этот метод подходит для учета лося, косули, оленя, кабана, лисицы, зайцев и некоторых видов птиц. Суть метода заключается в том, что загонщик с шумом нагоняет зверей в определенном направлении, а учётчик в течение всего времени фиксирует выгоняемых с учетной площади животных.

Для учета околотовных видов, таких как бобр и ондатра, проводят осенний учет по поселениям. А для учета барсука применяем весенний и осенний учет по норам [4].

Все эти методы помогают получать репрезентативные данные о численности и состоянии охотничьих ресурсов в Республике Татарстан. На основе этих данных можем эффективно организовывать сохранение охотничьих ресурсов и их рациональное использование, а также прогнозировать изменения в популяциях под воздействием природных и антропогенных факторов

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Мы провели сравнение численности основных видов охотничьих животных в Республике Татарстан за периоды с 2010 по 2023 год. Результаты показывают положительную динамику для большинства видов, что свидетельствует об эффективности мер по охране животного мира и регулированию охоты в регионе [5, 6].

На территории Татарстана обитает шесть видов копытных животных, и мы наблюдаем рост их численности. Особенно заметно увеличение популяций лося и косули. За последний год численность лосей выросла на 13,4 %, а косуль – на впечатляющие 15,6 %. Если сравнить с данными 2010 года, когда в республике насчитывалось чуть более 5,5 тысяч лосей, сейчас их численность достигла 15,7 тысяч особей. Популяция косуль также значительно увеличилась – с 0,8 тысяч особей в 2010 году до более чем 4,9 тысяч в настоящее время [7].

Кроме того, в Татарстане появились новые виды копытных. Недавно на территории республики были успешно интродуцированы марал и пятнистый олень. Программа по разведению маралов, начатая в 2013 году, дала ощутимые результаты. Сейчас в естественной среде обитают около 500 маралов. Что касается пятнистых оленей, 36 особей были выпущены в Алексеевском и Рыбно-Слободском районах [8].

В Республике Татарстан обитает 23 вида пушных зверей, такие как крот, сурок-байбак, суслики, хомяки, заяц-русак, волк, лисица, корсак, ондатра, водяная полевка, бобр, рысь, ласка, барсук, норка, белки, енотовидная собака, куница, хорь и пушные животные занесенные в Красную книгу Республики Татарстан, заяц-беляк, выдра, каменная куница и норка европейская. Осуществление охоты на пушные звери проводится без разрушения нор и выводковых убежищ, кроме разрушения бобровых плотин для установки самоловов, раскопки нор лисицы и енотовидной собаки для оказания помощи и разрушение нор шакалов и волков с изъятием щенков.

В Татарстане насчитывается более 40 видов водоплавающей и болотно-луговой дичи. Наиболее популярными объектами охоты являются утки, чирки и гуси. Среди боровой дичи особое внимание уделяется глухарю, тетереву и рябчику. Важно отметить, что охота на водоплавающую, болотно-луговую, степную и полевою дичь в Татарстане разрешена до 5 декабря, а на боровую дичь – до 5 января 2025 года. Эти сроки установлены с учетом биологических циклов птиц и необходимости сохранения их популяций [9, 10].

В целом, сравнение численности основных видов охотничьих животных в Республике Татарстан за 2010 и 2023 года показывает положительную динамику (табл. 1). Это результат эффективного управления охотничьими ресурсами, включая мониторинг численности, регулирование охоты и меры по охране животного мира. Экономическая оценка запасов охотничьих животных республики на 2022 составляет более 2 млрд рублей, что подчеркивает важность этого ресурса для региона [11].

Таблица 1

**Динамика численности охотничьих видов животных на территории
Республики Татарстан**

Годы	Виды охотничьих ресурсов (тыс.гол)																
	Белка	Заяц-беляк	Заяц-русак	Куница	Лисица	Волк	Рысь	Лось	Кабан	Косуля	Корсак	Хорь	Горностай	Глухарь	Тетерев	Рябчик	Куропатка
2010	4,73	9,91	29,74	2,39	7,9	0,02	0,038	5,52	5,52	0,8	0,168	0,62	0,152	2,305	57,700	4,361	237,25
2011	4,66	8,83	27,15	2,5	8,1	0,002	0,036	5,60	5,18	1,1	0,127	0,52	0,144	1,885	45,500	3,926	158,73
2012	4,83	9,12	26,35	2,62	8,08	0,007	0,69	6,54	4,93	1,23	0,200	0,49	0,17	1,355	46,500	3,997	88,318
2013	4,54	10,17	24,42	2,79	9,24	0,012	0,042	8,14	6,67	1,5	0,16	0,63	0,16	2,88	57,96	6,42	62,85
2014	3,53	9,21	21,76	2,36	8,98	0,008	0,402	7,42	4,33	1,42	0,086	0,33	0,114	1,58	61,16	5,67	61,83
2015	3,83	6,81	18,03	2,93	8,44	0,001	0,027	4,49	4,61	0,626	0,054	0,15	0,024	0,82	37,72	2,45	34,04
2016	4,62	7,04	19,43	2,41	6,16	0,001	0,057	7,71	6,19	2,204	0,077	0,25	0,016	1,89	44,18	5,02	78,91
2017	3,87	7,69	21,07	2,34	6,45	0,001	0,049	8,31	5,96	3,43	0,027	0,11	0,019	2,16	76,01	4,8	151,83
2018	4,706	8,096	30,178	2,59	8,001	0,006	0,046	8,9	7,58	4,634	0,076	0,133	0,019	2,55	67,422	5,08	110,28
2019	3,88	7,97	27,83	2,52	7,39	0,002	0,085	10,56	7,35	5,9	0,091	0,042	0,004	2,42	70,54	4,84	122,16
2020	4,9	7,5	28,23	2,43	6,85	0,001	0,05	9,58	8,27	5	0,055	0,039	0,009	2,78	72,27	5,23	121,34
2021	4,88	7,6	28,1	2,51	7,02	0	0,089	12,1	1,39	10,18	0,092	0,037	0,027	2,79	73,31	5,79	151,18
2022	4,97	8,804	28,35	2,47	6,79	0	0,081	13,59	1,21	12,61	0,159	0,02	0,004	2,95	140,43	6,63	225,16
2023	4,31	9,35	36,65	2,58	5,3	0	0,01	15,7	0,57	14,95	0,087	0,07	0	3,45	113,94	6,54	151,89

В Республике Татарстан охотничьи угодья занимают 93 % территории, что составляет 6 млн 309,4 тыс. гектаров. Это огромная площадь, на которой обитает 81 вид охотничьих животных. Распределение животных по районам неравномерно и зависит от многих факторов, включая наличие подходящих мест обитания, кормовой базы и антропогенного воздействия [11].

Распределение видов животных по районам Татарстана неравномерно и зависит от нескольких факторов:

- Разнообразие ландшафтов и экосистем. Оно влияет на то, какие виды животных могут успешно обитать в определённых районах. Например, зайцы и белки предпочитают лесистые местности, а лоси и медведи часто встречаются в удалённых лесах.

- Доступность пищи. Доступность пищи влияет на то, какие виды животных могут обитать в конкретных районах. Например, зоны повышенного биоразнообразия, к которым относятся крупные речные долины (Волга, Кама, Вятка), служат местами обитания типичных видов природного комплекса, так как в них сохраняются разного рода неудобья, где есть места для кормления животных.

- Требования животных к окружающей среде. Климатические изменения могут влиять на сезонные миграции охотничьих видов, изменяя их традиционные

маршруты и сроки. Это, в свою очередь, может привести к изменениям в распределении животных по территории республики. В Татарстане проводятся мероприятия по улучшению кормовой базы для диких животных. Это включает в себя создание кормовых полей, подкормочных площадок и солонцов. Такие меры помогают поддерживать стабильную численность популяций, особенно в зимний период, когда доступность естественных кормов ограничена. Изменения в сельскохозяйственной практике также могут влиять на кормовую базу диких животных. Например, увеличение площадей под определенные культуры может привести к изменению рациона некоторых видов и, как следствие, к изменению их численности и распространения.

Также на распределение видов животных по районам Татарстана влияют антропогенные факторы, например, изменение ландшафта и вмешательство человека, что может приводить к исчезновению некоторых видов или изменению их численности [3, 12].

Хищники играют важную роль в регулировании численности популяций охотничьих животных. В Татарстане основными хищниками, влияющими на популяции копытных и других охотничьих видов, являются волк, рысь и медведь. Однако их влияние не всегда однозначно негативно. Хищники могут выполнять роль естественных санитаров, удаляя из популяций больных и слабых особей [13].

В свое время численность волков была достаточно высокой в республике вплоть до начала 1990-х годов. Это было связано с высокой кормовой базой. Однако благодаря отсутствию скотомогильников и утилизация данного вида отходов, наблюдается снижение численности волков. Сейчас волк встречается единичными экземплярами как в южных, так и в северных районах республики. Болезни также могут оказывать существенное влияние на динамику численности охотничьих животных. Особое внимание уделяется таким заболеваниям, как бешенство, африканская чума свиней, грипп птиц и другие [14].

Одним из ключевых инструментов регулирования численности охотничьих животных является установление квот добычи. Государственный комитет ежегодно утверждает лимиты и квоты добычи охотничьих ресурсов на основе данных учета численности (табл. 2). Например, в 2024–2025 годах охотники Татарстана смогут добыть 918 лосей при их численности 16 тысяч особей, 861 косулю при численности почти 17 тысяч, 209 барсуков из 3,5 тысяч обитающих в регионе [13].

Квоты устанавливаются с учетом состояния популяций и необходимости их сохранения. Так, для редких видов квоты минимальны – разрешено добыть лишь 9 благородных оленей из 397 особей и 4 рыси из 108 обитающих в республике [15].

Важнейшим направлением являются биотехнические мероприятия, направленные на улучшение условий обитания охотничьих животных и увеличение их численности. Они включают:

1. Реконструкцию охотничьих угодий: посадку кормовых растений, устройство ремиз и живых изгородей, биотехнические рубки леса, создание кормовых полей и искусственных водоемов.

2. Подкормку животных: устройство подкормочных площадок, кормушек, солонцов, заготовку и выкладку кормов.

3. Расселение охотничьих животных: выбор мест отлова и выпуска, транспортировку, передержку и выпуск в угодья.
4. Предупреждение гибели животных от стихийных бедствий и сельхозмашин.
5. Ветеринарно-профилактические мероприятия по оздоровлению популяций [16].

Таблица 2

Лимит добычи охотничьих ресурсов на территории Республики Татарстан на период с 1 августа 2024 года до 1 августа 2025 года [5]

№ п/п	Вид охотничьих ресурсов	Численность особей	Лимит добычи	
			Особей	% от численности
1	Лось	16 084	918	5,71
2	Косуля сибирская	16 601	861	5,19
3	Олень благородный	397	9	2,27
4	Олень пятнистый	140	9	6,43
5	Рысь	108	4	3,70
6	Барсук	3557	209	5,88

Одной из ключевых задач государственного комитета по биологическим ресурсам, снижение нелегальной добычи охотничьих животных. Государственный комитет проводит регулярные рейды по выявлению и пресечению браконьерства. За последние годы удалось достичь значительных успехов в этом направлении. Например, за три года количество выявленных случаев браконьерства увеличилось на 30 %, что свидетельствует об эффективности проведенных мер [16].

Государственный комитет по биологическим ресурсам активно борется и с незаконными орудиями лова. Только за один год из водоемов Татарстана было изъято 3,8 тонны браконьерской рыбы и более тысячи орудий незаконного лова. А за пять лет были изъяты сети общей длиной от Казани до Иркутска [18].

Для усиления борьбы с браконьерством планируется создать Межведомственный совет, который будет координировать деятельность по этому направлению. Кроме того, активно вовлекается гражданское общество в эту работу, в том числе через систему «Народный контроль» и большое внимание уделяется профилактике браконьерства через пропаганду в средствах массовой информации разрешенных способов охоты, правил поведения на охоте и важности сохранения природных ресурсов [19].

Все эти меры направлены на обеспечение устойчивого развития охотничьего хозяйства Республики Татарстан, сохранение и увеличение популяций охотничьих животных, а также поддержание экологического баланса фауны нашего региона.

Работа по регулированию численности и охране видов – это непрерывный процесс, требующий постоянного мониторинга, анализа и корректировки принимаемых мер. На сегодняшний день продолжается совершенствование подходов, опираясь на научные данные и передовой опыт в области управления охотничьими ресурсами.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, анализ популяций охотничьих животных в Татарстане показывает положительную динамику для большинства видов. Это говорит об эффективности мер по охране животного мира и регулированию охоты в регионе. Рост численности лосей, косуль и других копытных, а также успешная интродукция новых видов, таких как марал и пятнистый олень, – все это свидетельствует о здоровом состоянии экосистем республики. Чтобы сохранить и приумножить эти достижения, ведется работа по мониторингу численности, улучшению среды обитания и борьбе с браконьерством. Наша цель – достичь оптимального баланса между сохранением природы и разумным использованием охотничьих ресурсов. Это позволит не только поддерживать богатство фауны Татарстана, но и обеспечить устойчивое развитие охотничьего хозяйства на долгие годы вперед.

Список литературы

1. Кондратенков И. А. Определение экологической плотности некоторых видов охотничьих животных по данным зимних маршрутных учетов. / Кондратенков И. А., Опарин М. Л., Опарина О. С. // Поволжский экологический журнал. – 2023 – (1) – С. 58–76. <https://doi.org/10.35885/1684-7318-2023-1-58-76>
2. Футоран П. А. Организация, проведение и результаты учета тетеревиных птиц в национальных парках «Кенозерский» и «Онежское Поморье» в 2017–2020 гг. / П. А. Футоран, А. В. Брагин // II Пахтусовские чтения: арктические горизонты : сборник материалов Всероссийской очно-заочной научно-практической конференции, Архангельск, 08–09 апреля 2021 года. – Архангельск: Общество с ограниченной ответственностью "Консультационное информационно-рекламное агентство", 2021. – С. 304–314. – EDN DTTALD.
3. Еськов Е. К. Организация авиаучета охотничьих животных с использованием пилотируемых и беспилотных авиационных комплексов / Е. К. Еськов, О. А. Греков // Вестник охотоведения. – 2018. – Т. 15, № 4. – С. 238–241. – EDN YPWXBZ.
4. Сицко А. А. О новых методиках учета охотничьих ресурсов / А. А. Сицко // Вестник охотоведения. – 2022. – Т. 19, № 2. – С. 120–125. – EDN TAPEES
5. Динамика численности охотничьих ресурсов / [Электронный ресурс] // Государственный комитет Республики Татарстан по биологическим ресурсам : [сайт]. – URL: <https://ojm.tatarstan.ru/> (дата обращения: 06.12.2024).
6. Ярмиев И. З. Многолетние изменения и распределение ресурсов основных видов охотничьих животных Республики Татарстан / Ярмиев И. З., Рахимов И. И., Мавлюдова Л. У. [Текст] // Животные в экосистемах внутренней азии: фундаментальные и прикладные аспекты. – Улан-Удэ: Издательство Бурятского госуниверситета имени Доржи Банзарова, 2024. – С. 333–339
7. Ярмиев И. З. Оценка состояния и динамики численности косули сибирской на территории Республики Татарстан / Ярмиев И. З., Рахимов И. И., Камахина Р. С. // ELS. – 2023. – № декабрь. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/otsenka-sostoyaniya-i-dinamiki-chislennosti-kosuli-sibirskoy-na-territorii-respubliki-tatarstan> (дата обращения: 11.01.2024).
8. Ярмиев И. З. Охрана алтайского марала и управление популяцией в Республике Татарстан: анализ и перспективы / И. З. Ярмиев, И. И. Рахимов // Экологический вестник Северного Кавказа. – 2024. – Том 20, № 2. – С. 102–106.
9. Батков Ф. С. В Татарстане появились два новых вида охотничьих животных / Батков Ф. С. [Электронный ресурс] // ТАТАР информ : [сайт]. – URL: <https://www.tatar-inform.ru/news/v-tatarstane-poyavilis-dva-novykh-vida-oxotnicix-zivotnyx-5878125?ysclid=m4csu1h23610668228> (дата обращения: 06.12.2024).
10. Трутнев М. Ю. Приказ Министерства природных ресурсов и экологии Российской Федерации от 19 августа 2009 г. N 253 г. Москва" Об утверждении Положения о государственном природном заказнике федерального значения" Малые Курилы. – 2011.

11. Батков Ф. С. В Татарстане за пять лет количество выдаваемых разрешений на охоту увеличилось на 32 % / Батков Ф. С. [Электронный ресурс] // Государственный комитет Республики Татарстан по биологическим ресурсам : [сайт]. – URL: <https://prav.tatarstan.ru/index.htm/news/2118140.htm?ysclid=m4ctq86ejk374148473> (дата обращения: 06.12.2024).
12. Леонтьев В. В. Экологические тенденции изменения биоразнообразия членистоногих на северо-востоке Республики Татарстан / Леонтьев В. В. // Вестник Челябинского государственного педагогического университета. – 2014. – № 9 (2). – С. 334–341.
13. Рахимов И. И. Самые редкие виды животных Татарстана: какие уже исчезли, а какие на грани вымирания? / Рахимов И. И. [Электронный ресурс] // ДЗЕН : [сайт]. – URL: <https://dzen.ru/a/ZT5R0Eyp8Cm3qzqV?ysclid=m4cza6sc6306197739>
14. Батков Ф. С. Батков рассказал, куда делись татарстанские волки / Батков Ф. С. [Электронный ресурс] // БЕЗФормата : [сайт]. – URL: <https://kazan.bezformata.com/listnews/kuda-delis-tatarstanskies-volki/108956971/> (дата обращения: 06.12.2024).
15. Указ Раиса РТ № УП-567 от 26.07.2024 года «Об утверждении лимита добычи охотничьих ресурсов на территории Республики Татарстан на период с 1 августа 2024 года до 1 августа 2025 года»
16. Дьяконов Е. А. Рациональное использование охотничьих ресурсов / Дьяконов Е. А. // Вестник науки. – 2024. – №6 (75). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/ratsionalnoe-ispolzovanie-ohotnichih-resursov> (дата обращения: 06.12.2024).
17. Батков Ф. С. «Охотничьи ресурсы – это народное достояние» / Батков Ф. С. [Электронный ресурс] // KAZANFIRST : [сайт]. – URL: <https://kazanfirst.ru/articles/591488> (дата обращения: 06.12.2024).
18. Батков Ф. С. «Создаются теневые организации»: в кабине РТ оценили урон от браконьерства / Батков Ф. С. [Электронный ресурс] // БИЗНЕС Online : [сайт]. – URL: <https://www.business-gazeta.ru/article/534078> (дата обращения: 06.12.2024).
19. Низамеев Б. Президент Татарстана: В дело борьбы с браконьерами следует активнее вовлекать гражданское общество / Низамеев Б. [Электронный ресурс] // Официальный Татарстан : [сайт]. — URL: <https://tatarstan.ru/index.htm/news/711482.htm> (дата обращения: 06.12.2024).

CHANGES IN THE NUMBER OF HUNTING ANIMALS IN TATARSTAN OVER THE LAST 13 YEARS

Yarmiev I. Z., Rakhimov I. I.

*Kazan (Volga Region) Federal University, Institute of Fundamental Medicine and Biology, Kazan, Republic of Tatarstan, Russia
E-mail: yarmiev82@gmail.com*

Studying the number of animals is one of the most pressing issues in modern ecology and biology. This area is crucial for preserving biodiversity, maintaining ecological balance and preventing species extinction. Changes in animal populations can have a significant impact on the entire ecosystem, so monitoring their numbers helps develop effective strategies for preserving and managing natural resources. In addition, studying the number of animals is important for agriculture, public health and sustainable development. The paper will consider the main methods of counting the number of animals, such as winter route census and aerial census, as well as the reasons for the relevance of this area in modern conditions.

In the Republic of Tatarstan, from 2010 to 2023, various methods for counting the number of game species of animals were carried out. One of the most common and simple

methods is winter route census (WRC), which allows you to estimate the number of several animal species at the same time. In addition, more modern methods are used, such as aerial census.

WRC includes planning counting routes, conducting field work and calculating the number of hunting resources. This method is used in areas of 8 thousand hectares or more. The field work period usually runs from January 15 to March 15 on days with favorable weather conditions and snow cover

Aerial census is a more modern method that allows for a quick and effective assessment of animal numbers over large areas. It is especially useful for species that are difficult to detect using ground-based methods

Over the past 13 years, Tatarstan has seen a significant increase in the resources of the mountain hare, brown hare, marten, lynx, elk, roe deer, polecat and wood grouse. The resources of squirrel, fox, wild boar, corsac fox and partridge have decreased somewhat. The paper examines the factors that influence the dynamics of game animal populations in the Republic of Tatarstan.

There are several key trends in the number of hunting resources over the analyzed period (2010-2023):

1. Increase in the number of some species

– Brown hare: The number increased from 29.74 thousand heads in 2010 to 36.65 thousand in 2023. This may indicate successful reproduction and favorable living conditions.

– Black grouse: Showed a significant increase in numbers, starting from 57.7 thousand heads in 2010, reaching a peak in 2022 (140.43 thousand heads), before decreasing slightly to 113.94 thousand in 2023.

2. Stability in the number of some species

– Marten: The number remained relatively stable, fluctuating in the range from 2.34 to 2.93 thousand heads.

– Elk: Gradual increase in numbers from 5.52 thousand heads in 2010 to 15.7 thousand in 2023.

3. Decline in numbers of individual species

– Mountain hare: A slight decrease is observed from 9.91 thousand in 2010 to 9.35 thousand in 2023, although with fluctuations.

– Wild boar: Showed fluctuations in numbers, but fell to 0.57 thousand heads in 2023 after a peak in 2018 (7.58 thousand heads).

– Wolf and corsac fox: The number of wolves has dropped to zero in recent years, and only isolated cases of corsac foxes are observed.

4. Seasonal fluctuations and abrupt changes

– The number of partridges and other birds shows abrupt changes, which may indicate a strong influence of seasonal factors and changes in habitat conditions.

Our analysis of game animal populations in Tatarstan shows positive dynamics for most species. This speaks to the effectiveness of measures to protect wildlife and regulate hunting in the region. The growth in the number of elk, roe deer and other ungulates, as well as the successful introduction of new species such as maral and sika deer, all testify to the healthy state of the republic's ecosystems.

Keywords: Hunting species, abundance, wild forest reserves, introduction, biological resources, population dynamics

References

1. Kondratenkov I. A., Oparin M. L., Oparina O. S. Determination of ecological density of some species of game animals based on winter route surveys. *Volga ecological journal*, **1**, 58 (2023)
2. Futoran P. A., Bragin P. A. *Organization, implementation and results of census of black grouse in the Kenozersky and Onega Pomorie national parks in 2017-2020*, II Pakhtusov readings: Arctic horizons: collection of materials of the All-Russian in-person and correspondence scientific-practical conference (Limited Liability Company "Consulting information and advertising agency, Arkhangelsk, 2021) p. 304
3. Eskov E. K., Eskov E. K. Organization of aerial census of game animals using manned and unmanned aircraft systems, *Bulletin of hunting*, **15**, 238 (2018).
4. Sitsko A. A. On new methods of counting game resources, *Bulletin of hunting science*, **19**, 120 (2022).
5. Dynamics of the number of hunting resources / [Electronic resource] // State Committee of the Republic of Tatarstan on Biological Resources : [site]. <https://ojm.tatarstan.ru>
6. Yarmiev I. Z., Rakhimov I. I., Mavlyudova L. U. Long-term changes and distribution of resources of the main species of game animals of the Republic of Tatarstan, *Publishing House of the Buryat State University named after Dorzhi Banzarov*, **1**, 333 (2024)
7. Yarmiev I. Z., Rakhimov I. I., Kamakhina R. S. Assessment of the status and population dynamics of Siberian roe deer on the territory of the Republic of Tatarstan, *ELS.*, No. december, (2023). <https://cyberleninka.ru/article/n/otsenka-sostoyaniya-i-dinamiki-chislennosti-kosuli-sibirskoy-na-territorii-respubliki-tatarstan>
8. Yarmiev I. Z., Rakhimov I. I., Protection of the Altai maral and population management in the Republic of Tatarstan: analysis and prospects, *Bulletin of the North Caucasus*, **2**, 102 (2024).
9. Batkov F. S. *Two new species of hunting animals appeared in Tatarstan* [Electronic resource], Tatar Inform : [website]. <https://www.tatar-inform.ru/news/v-tatarstane-poyavilis-dva-novykh-vida-oxotnicix-zivotnykh-5878125?ysclid=m4csu1h23610668228>
10. Trutnev M. Y. Order of the Ministry of Natural Resources and Ecology of the Russian Federation from August 19, 2009 N 253, Moscow "On Approval of the Regulations on the State Natural Reserve of Federal Significance" Malye Kurily (2011).
11. Batkov F. S. *In Tatarstan for five years the number of issued permits for hunting increased by 32 %*, [Electronic resource], State Committee of the Republic of Tatarstan on Biological Resources : [website]. <https://prav.tatarstan.ru/index.htm/news/2118140.htm?ysclid=m4ctq86ejk374148473>
12. Leontiev V. V. Ecological trends in changes in arthropod biodiversity in the north-east of the Republic of Tatarstan, *Bulletin of SUGHPU*, **9** (2), 334 (2014).
13. Rakhimov I. I. *The rarest animal species of Tatarstan: which have already disappeared, and which are on the verge of extinction?* [Electronic resource], DZEN : [website]. <https://dzen.ru/a/ZT5R0EyP8Cm3qzqV?ysclid=m4cza6sc6306197739>
14. Batkov F. S. *Batkov told where the Tatarstan wolves went*, [Electronic resource], BEZFormata : [website]. URL: <https://kazan.bezformata.com/listnews/kuda-delis-tatarstanskije-volki/108956971/>
15. Decree No. UP-567 of 26.07.2024 "On approval of the limit of hunting resources extraction on the territory of the Republic of Tatarstan for the period from August 1, 2024 to August 1, 2025" <http://publication.pravo.gov.ru/document/1600202407290001?ysclid=m8fqffiy3972731819>
16. Dyakonov E. A. Rational use of hunting resources, *Science Bulletin*, **6**, 75 (2024).
17. Batkov F. S. "Hunting resources are the national heritage", [Electronic resource], KAZANFIRST : [website]. <https://kazanfirst.ru/articles/591488>
18. Batkov F. S. "Shadow organizations are being created": in the Cabinet of Ministers of RT assessed the damage from poaching, [Electronic resource], BUSINESS Online : [website]. <https://www.business-gazeta.ru/article/534078>
19. Nizameev B. *President of Tatarstan: Civil society should be more actively involved in the fight against poachers*, [Electronic resource], Official Tatarstan : [website]. <https://tatarstan.ru/index.htm/news/711482.htm>

УДК 591.5:579.222+57.084

DOI 10.29039/2413-1725-2025-11-1-260-272

ВЛИЯНИЕ ПРОБИОТИЧЕСКОГО МИКРОБНОГО КОНСОРЦИУМА НА ПОВЕДЕНЧЕСКИЕ РЕАКЦИИ КРЫС С АЛЛОКСАН- ИНДУЦИРОВАННЫМ САХАРНЫМ ДИАБЕТОМ

Ярмлюк Н. С., Джелдубаева Э. Р., Ржевская В. С., Туманянц К. Н., Аединова Д. З.

***ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет имени В. И. Вернадского», Симферополь,
Республика Крым, Россия
E-mail: nat_yarm@mail.ru***

Показано влияние пробиотического микробного консорциума (ПМК) на поведенческие реакции крыс с аллоксан-индуцированным диабетом в тесте «инфракрасный актиметр». Выявлено, что у крыс с аллоксановым диабетом наблюдается достоверное снижение всех показателей двигательной активности, наиболее выраженное на 14-е сутки. Введение ПМК способствовало частичному восстановлению поведенческих реакций, особенно на 14-е сутки, когда значения показателей приближались к уровню контрольной группы. Полученные данные подтверждают гипотезу о модулирующем и защитном влиянии ПМК на поведение животных в условиях диабетического стресса и подчеркивают его потенциальную ценность как вспомогательного средства в терапии сахарного диабета.

Ключевые слова: аллоксан, сахарный диабет, пробиотический микробный консорциум, двигательная активность, крысы.

ВВЕДЕНИЕ

Сахарный диабет – одно из наиболее распространённых хронических заболеваний XXI века, характеризующееся не только нарушением углеводного обмена, но и системными расстройствами, включая поведенческие и когнитивные изменения [1, 2] Нарушения в эмоционально-поведенческой сфере, такие как тревожность, когнитивный дефицит, депрессия, всё чаще рассматриваются как осложнения диабета, обусловленные метаболическими сдвигами, хроническим воспалением и оксидативным стрессом, особенно со стороны центральной нервной системы [3].

В последние годы активно развивается направление, изучающее взаимосвязь между состоянием кишечной микробиоты и функционированием мозга, так называемая ось "микробиом–кишечник–мозг" [4]. Показано, что микробиота кишечника может влиять на функцию мозга через различные механизмы, такие как синтез нейротрансмиттеров, регуляция воспаления и модуляция иммунной системы [5]. Пробиотики, в особенности пробиотические микробные консорциумы (ПМК) способные модулировать состав микробиоты, рассматриваются как потенциальные

корректоры не только метаболических, но и поведенческих нарушений. Они дают анксиолитический и антидепрессивный эффекты, характеризующиеся положительными изменениями в эмоциональной, когнитивной, системной и нервной сферах [6]. Однако исследований, направленных на оценку поведенческих реакций при диабете в условиях введения пробиотиков, остаётся недостаточно.

Показано, что использование аллоксан-индуцированной модели сахарного диабета у лабораторных животных вызывает ряд физиологических изменений, включая гипергликемию и инсулиновую недостаточность [7]. Эти изменения, в свою очередь, приводят к заметным изменениям в поведении животных, которые могут быть исследованы с помощью различных этологических тестов. Некоторые исследования показывают, что диабетические крысы могут демонстрировать признаки депрессивно-подобного поведения, такие как снижение двигательной активности, уменьшение интереса к новизне и увеличение времени, проводимого в неподвижности в тесте принудительного плавания. Может наблюдаться снижение мотивации и интереса к окружающей среде [8]. Исследования в данной области направлены на уточнение роли пробиотиков в регуляции поведенческих функций при диабете и обоснование возможности их использования в комплексной терапии диабетических осложнений.

В связи с этим целью данной работы явилось изучение влияния пробиотического микробного консорциума на поведенческие реакции крыс с аллоксан-индуцированным диабетом в тесте инфракрасный актиметр.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Работа выполнялась в Центре коллективного пользования научным оборудованием «Экспериментальная физиология и биофизика» при кафедре физиологии человека и животных и биофизики в рамках программы исследований № АААА-А21-121011990099-6 «Физиологические механизмы биологического действия факторов разной природы и интенсивности» ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет имени В. И. Вернадского».

Эксперименты проводились на белых половозрелых крысах-самцах линии *Wistar*, которые были специально выведены для лабораторных исследований. Согласно государственному стандарту РФ «ГОСТ 33216-2014, Руководство по содержанию и уходу за лабораторными животными, Правила содержания и ухода за лабораторными грызунами и кроликами, Правила оборудования помещений и организации процедур» – испытуемые животные содержались в адекватных условиях, в соответствии с тезисами вышеприведённого государственного норматива. В клетках присутствовал свободный доступ к воде и гранулированному комбикорму со сбалансированным содержанием белкового, жирового и углеводного баланса компонентов. Поение и кормление проводилось подконтрольно, согласно внутреннему распорядку работы вивария.

Все применимые международные, национальные и/или институциональные принципы ухода и использования животных были соблюдены. Все процедуры, выполненные в исследованиях с участием животных, соответствовали этическим

стандартам, утвержденным правовыми актами РФ, принципам Базельской декларации и рекомендациям этического комитета по биоэтике ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет им. В. И. Вернадского» (протокол № 5 от 2022 г.).

Общая выборка составила 30 здоровых крыс, массой 280–330 г, разделенных на 3 экспериментальные группы по 10 особей в каждой. Животные первой группы (К) содержались в стандартных условиях вивария и служили биологическим контролем. Крысам второй (Ал) и третьей (Ал+Пб) группы был смоделирован сахарный диабет путем внутрибрюшинного введения аллоксана (мезоксалиломочевина, $C_4O_4H_2N_2 \times H_2O$, компания «Диаэм», Россия) в дозировке по 100 мг/кг в течение трех дней [9]. Аллоксан является относительно недорогим и легкодоступным химическим соединением. Диабет развивается в течение нескольких дней после его введения, что позволяет быстро проводить исследования [7]. Для определения возникновения диабета в ходе эксперимента проводился контроль концентрации глюкозы в крови, взятой из хвостового надреза крыс, при помощи глюкометра «iCheck». На 10-й день животным третьей группы (Ал+Пб) в течение последующих 21 суток интрагастрально по 3 мл вводился 1 % раствор ПМК. Животным первой (К) и второй (Ал) групп вводили эквивалентный объем питьевой воды.

Синтез тестируемого ПМК проводился на кафедре ботаники и физиологии растений и биотехнологий ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет имени В. И. Вернадского» под руководством Ржевской В. С. ПМК включал штаммы пробиотических микроорганизмов: *Lactobacillus parabuchneri* ВКМ В-3553D, *Lactobacillus plantarum* ВКМ В-3552D, *Lactobacillus acidophilus* ВКМ В-3563D, *Enterococcus faecium* ВКМ В-3551D, *Brettanomyces bruxellensis* ВКМ Y-3064D. Все штаммы микроорганизмов депонированы во Всероссийской коллекции микроорганизмов. Микробный консорциум получали путем совместного культивирования молочнокислых бактерий, энтерококка и дрожжей в жидкой питательной среде MRS в биореакторе Minifors 2 (Minifors 2 НТ, Швейцария) при температуре 32 °С и 50 об/мин в течение 3-х суток. Учет численности микроорганизмов в консорциуме проводили методом предельных разведений. Биологическая концентрация бактерий микробного консорциума составила $1,3 \cdot 10^9$ КОЕ.

Двигательная активность крыс исследована в системе «Инфракрасный актиметр» (IR Actimeter, Pan Lab Harvard Apparatus Испания), представленной специализированной рабочей камерой размером 45 x 45 см с прозрачными стенками, сделанными из полипропилена высотой 20 см, с двумя инфракрасными рамками, которые выполняют роль датчиков, реагирующих на движения. Для управления рабочей станции и сбора данных использовано программное обеспечение Actitrack 2.0 (Pan Lab Harvard Apparatus, Испания). Время проведения теста составило 3 минуты. Тестирование проводили на 1, 7, 14 и 21 сутки введения ПМК.

Статистическую обработку и графическое представление экспериментальных данных проводили с использованием программ GraphPad Prism 8 (версия 8.4.3 (686) (GraphPad Software, США) и Microsoft Excel 2010 (Microsoft Corporation, США). Проверку распределения данных на нормальность осуществляли с помощью критерия Шапиро-Уилка. Поскольку распределение данных в подавляющем большинстве

случаев не соответствовало нормальному, значимость различий между группами оценивали с помощью непараметрического критерия Краскела-Уоллиса. Множественные апостериорные сравнения значений показателей между группами проводили с помощью критерия Данна. В описании сравнения значений показателей в разных группах животных использовались %, которые рассчитывались по значениям медианы показателей соответствующих групп. Критический уровень значимости статистических гипотез (p) в данном исследовании принимали равным 0,05.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Анализ результатов исследования во второй группе крыс (Ал) с аллоксан-индуцированным диабетом показал, что за весь период эксперимента общая активность животных достоверно снижается относительно контрольных значений. На первые сутки наблюдения общая активность снижается на 220,5 у.е. ($p<0,05$), на 7-е – на 231 у.е. ($p<0,05$), на 14-е сутки – 270 у.е. ($p<0,01$), на 21-е – 173 у.е. ($p<0,05$) по сравнению с показателями крыс первой группы (рис. 1).

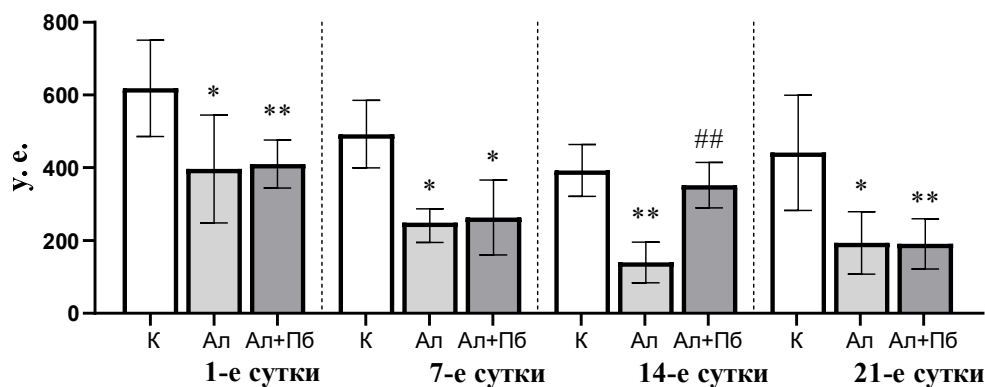


Рис. 1. Общая активность крыс в контроле (К), с аллоксан-индуцированным диабетом (Ал) и при дополнительном введении пробиотического микробного консорциума (Ал+Пб).

Примечание: * – достоверность различий по критерию Данна относительно контрольной группы (* – $p<0,05$; ** – $p<0,01$)

– достоверность различий по критерию Данна относительно группы Аллоксан (## – $p<0,01$)

В третьей группе крыс (Ал+Пб), которой дополнительно вводили ПМК, на 1-е сутки эксперимента общая активность снижается относительно контроля на 265 у.е. ($p<0,01$), а на 7-е сутки – на 227,5 у.е. ($p<0,05$). На 14-е сутки приёма ПМК общая активность крыс увеличивается относительно второй группы (Ал) на 240 у.е. ($p<0,01$) и приближается к контрольным значениям. Однако на 21-й день наблюдения общая активность животных группы Ал+Пб вновь снижается на 206 у.е. ($p<0,01$) относительно данных контрольной группы и приближается к

значениям группы Ал. Следовательно, наиболее выраженные изменения наблюдались на 14-е сутки исследования (рис. 1).

Таким образом, снижение общей активности у крыс с аллоксан-индуцированным диабетом в инфракрасном актиметре обусловлено несколькими взаимосвязанными факторами, которые являются следствием метаболических и неврологических нарушений, вызванных диабетом. Известно, что при сахарном диабете нарушается утилизация глюкозы клетками, что приводит к энергодефициту [10]. Клетки «голодают», несмотря на высокий уровень глюкозы в крови, что и вызывает слабость, утомляемость и, как следствие, снижение активности животных. Кроме того, хроническая гипергликемия может вызывать повреждение периферических нервов, что приводит к болевым ощущениям, онемению и слабости в конечностях, что и влияет на способность крыс активно двигаться.

Анализируя общую пройденную дистанцию в экспериментальных группах, также выявлено ее снижение. В группе Ал на первые и 21-е сутки наблюдения отмечена тенденция к снижению изучаемого показателя, тогда как на 7-е сутки общая дистанция снижается на 551,75 у.е. ($p<0,01$), а на 14-е сутки – на 513,95 у.е. ($p<0,01$) относительно данных контрольной группы (рис. 2).

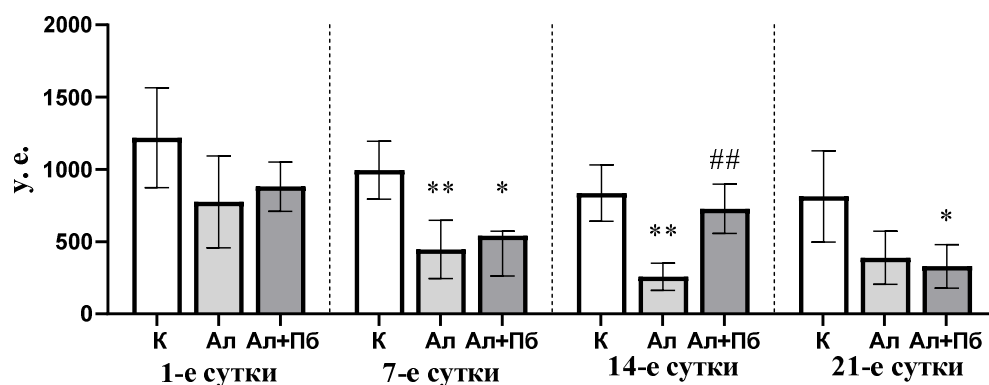


Рис. 2. Общая пройденная дистанция крыс в контроле (К), с аллоксан-индуцированным диабетом (Ал) и при дополнительном введении пробиотического микробного консорциума (Ал+Пб).

Примечание: * – достоверность различий по критерию Данна относительно контрольной группы (* – $p<0,05$; ** – $p<0,01$)

– достоверность различий по критерию Данна относительно группы Аллоксан (## – $p<0,01$)

В третьей группе животных (Ал+Пб) на первые сутки эксперимента достоверных изменений не обнаружено, тогда как на 7-е и 21-е сутки общая пройденная дистанция уменьшилась на 449,35 у.е. ($p<0,05$) и 399,70 у.е. ($p<0,05$) соответственно относительно контроля. Кроме того при дополнительном введении ПМК на 14-е сутки наблюдения у животных отмечено увеличение общей

пройденной дистанции на 493,90 у.е. ($p<0,01$) относительно данных группы Ал, что в свою очередь приближается к контрольным значениям (рис. 2).

Снижение общей пройденной дистанции в инфракрасном актиметре у крыс с аллоксановым диабетом является следствием тех же основных причин, которые вызывают и снижение общей активности. Однако акцент смещается на то, как эти причины влияют именно на способность животного перемещаться в пространстве. В связи с тем, что диабет препятствует эффективному использованию глюкозы, наступает быстрое утомление, что и ограничивает способность крысы проходить большие расстояния. Кроме того, диабетическая нейропатия может вызывать онемение, покалывание, боль и слабость в лапах, что вызывает дискомфорт при перемещениях, тем самым сокращая пройденное расстояние.

Характеризуя среднюю скорость крыс в инфракрасном актиметре отмечено, что на первые и 21-е сутки наблюдения в группе Ал выявлена лишь тенденция к уменьшению скорости относительно контрольных значений. Тогда как на 7-й и 14-й день эксперимента средняя скорость животных с аллоксановым диабетом снижается относительно животных контрольной группы на 3,05 см/с ($p<0,01$) и 3,15 см/с ($p<0,01$) соответственно (рис. 3).

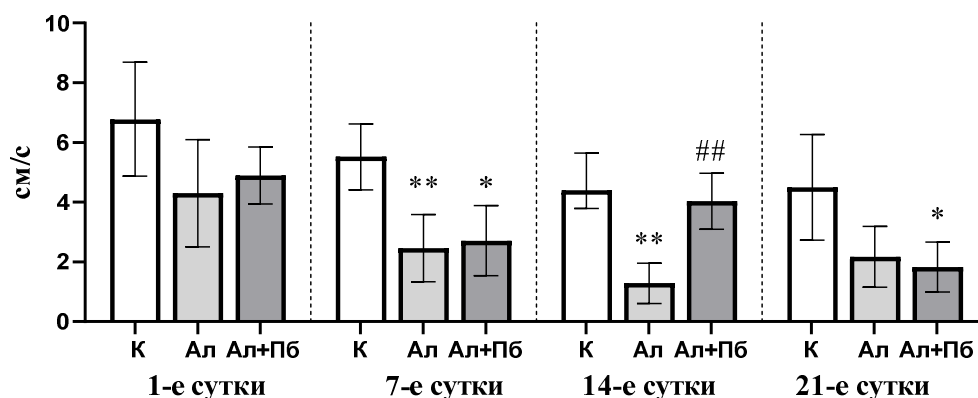


Рис. 3. Средняя скорость крыс в контроле (К), с аллоксан-индуцированным диабетом (Ал) и при дополнительном введении пробиотического микробного консорциума (Ал+Пб).

Примечание: * – достоверность различий по критерию Данна относительно контрольной группы (* – $p<0,05$; ** – $p<0,01$)

– достоверность различий по критерию Данна относительно группы Аллоксан (## – $p<0,01$)

В третьей группе животных на первые сутки эксперимента достоверных изменений средней скорости движения по сравнению с контролем не обнаружено. Тогда как на 7-й и 21-й день наблюдения выявлено снижение изучаемого показателя относительно контрольных значений на 2,5 см/с ($p<0,05$) и 2,2 см/с ($p<0,05$) соответственно. На 14-е сутки эксперимента отмечено увеличение средней скорости крыс группы Ал+Пб, значения которой приближаются к контрольным данным, но

при этом достоверно увеличиваются относительно изучаемого показателя в группе Ал на 3 см/с ($p<0,01$) (рис. 3).

Таким образом, снижение средней скорости движения крыс с аллоксановым диабетом является логическим следствием комплексного воздействия диабета на организм.

Проведя анализ времени покоя крыс от общей длительности наблюдения выявлено, что в обеих экспериментальных группах крысы значительно больше находились в покое, нежели в активном движении по сравнению с контрольной группой. Так, в группе Ал на первые сутки отмечено увеличение времени покоя на 15,6 % ($p<0,05$), на 7-е сутки – на 27,15 % ($p<0,05$), на 14-е – на 32,90 % ($p<0,01$) и на 21-й день – на 15,9 % ($p<0,05$) (рис. 4).

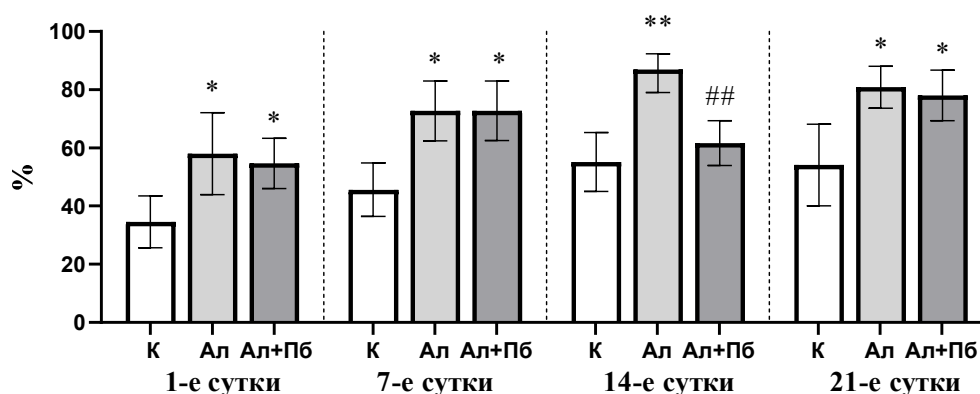


Рис. 4. Время покоя крыс от общей длительности наблюдения крыс в контроле (К), с аллоксан-индуцированным диабетом (Ал) и при дополнительном введении пробиотического микробного консорциума (Ал+Пб).

Примечание: * – достоверность различий по критерию Данна относительно контрольной группы (* – $p<0,05$; ** – $p<0,01$);

– достоверность различий по критерию Данна относительно группы Аллоксан (## – $p<0,01$)

Тогда как в группе Ал+Пб на первый, седьмой и 21-й день наблюдения отмечено увеличение времени проведенного животным в покое на 17,6 % ($p<0,05$), 27,8 % ($p<0,05$) и 17 % ($p<0,05$) относительно контрольных значений. Однако на 14-е сутки исследования время, проведенное крысами в покое, приближается к контрольным значениям, но в то же время и достоверно снижается относительно изучаемого показателя в группе Ал на 26,55 % ($p<0,01$) (рис. 4).

Результаты исследования демонстрируют выраженное негативное влияние аллоксан-индуцированного сахарного диабета на поведенческую активность крыс, что проявляется в снижении общей активности, сокращении пройденной дистанции, снижении средней скорости движения и увеличении времени покоя. Эти изменения указывают на развитие общей гиподинамии, связанной с комплексом метаболических и неврологических нарушений, типичных для диабетического

состояния. При этом устойчивое и статистически достоверное снижение всех ключевых поведенческих показателей особенно выражено на 14-е сутки наблюдения, когда зафиксировано наибольшее падение как общей активности (на 270 у.е.), так и пройденной дистанции (на 513,95 у.е.) и средней скорости (на 3,15 см/с). Это может указывать на пик деструктивных метаболических нарушений, связанных с длительным дефицитом энергии и нарастающим нейровоспалением. Диабетическая нейропатия, гипергликемия и оксидативный стресс, усиливаются на этом этапе, что отражается на поведении животных.

В группе Ал+Пб, где крысам вводился ПМК на фоне аллоксанного диабета на 14-е сутки, наоборот, отмечается частичное восстановление поведенческих реакций: общая активность, пройденная дистанция и средняя скорость приближаются к значениям контрольной группы и значимо превосходят аналогичные показатели группы Ал. Это может свидетельствовать о положительном действии ПМК на метаболическое состояние животных, за счёт нормализации микробиоты кишечника и снижения воспаления на уровне оси "микробиом-кишечник-мозг". Известно, что пробиотики способны уменьшать уровень системного воспаления, окислительного стресса и повышать чувствительность тканей к инсулину. На фоне аллоксанового диабета введение ПМК может способствовать восстановлению энергетического обмена и снижению нейротоксического воздействия хронической гипергликемии, что, в свою очередь, выражается в повышении двигательной активности животных. Однако, на 21-е сутки эксперимента наблюдается вторичное снижение всех поведенческих параметров, хотя они не достигают значений, зафиксированных у животных группы Ал. Возможной причиной может быть истощение компенсаторных механизмов.

Таким образом, введение ПМК оказывает модулирующее и частично восстанавливающее влияние на поведенческие реакции крыс с аллоксан-индуцированным диабетом, способствуя снижению степени двигательной депрессии, характерной для диабетического состояния, и может рассматриваться как перспективное направление в адъювантной терапии сахарного диабета, направленное на коррекцию поведенческих расстройств.

Результаты проведенных исследований согласуются с литературными данными. Так, А. В. Корнеевой с соавторами показано, что на 3-и сутки эксперимента имелась тенденция к активации поведенческих реакций, а начиная с 7-х суток их снижение. Животные заторможены, у половины из них наблюдалась тахикардия. К 30-му дню изменения сохранялись [11]. Многие авторы находятся в поиске веществ, которые облегчают течение заболевания СД. Мирошниченко И. Ю. продемонстрировано, что реамберин и альфа-липоевая кислота уменьшают выраженность гипергликемии и нормализуют этологический статус мышей и крыс с аллоксановым диабетом. Реамберин снижает выраженность гипергликемии и существенно корригирует нарушения мотивированного поведения и условно-рефлекторного обучения лишь при краткосрочном (1- и 7-дневном) применении относительно низких доз. Более продолжительное (14-дневное) применение реамберина сопровождается развитием толерантности в отношении его сахароснижающего и психотропного эффектов с одновременным усугублением дислипидемических расстройств при аллоксановом

диабете. Показано, что альфа-липоевая кислота, в отличие от реамберина обладающая антигипоксическим и противовоспалительным действием, характеризуется кумулятивным развитием сахароснижающего, гиполлипидемического, тимоаналептического, анксиолитического и ноотропного эффектов при аллоксановом диабете. Выраженность этих эффектов альфа-липоевой кислоты достигает максимума при 14-дневном курсовом применении данного лекарственного средства [12]. Волчегорский с соавт. установил, что 7-дневное применение производных 3-оксипиридина и янтарной кислоты (эмок-сипина, реамберина и мексидола) нормализует поведение больных животных в "открытом поле" и существенно повышает качество формирования условного рефлекса активного избегания. Производные 3-оксипиридина и янтарной кислоты не уступают а-липоевой кислоте по эффективности экспериментальной терапии расстройств поведения и условнорефлекторного обучения при аллоксановом диабете [13].

В свою очередь микробиота кишечника вносит существенный вклад в регуляцию обмена посредством различных механизмов. Возникшие дисбиотические изменения могут негативно повлиять на обменные процессы и быть фактором риска развития СД. Выявление новых патогенетических путей может быть полезным при нахождении точек приложения медикаментозной терапии, что будет способствовать улучшению результатов лечения СД [14].

В связи с этим можно сказать, что пробиотики оказывают позитивное влияние на двигательную активность крыс с СД, улучшая энергетический метаболизм, снижая нейровоспаление, модулируя ось "микробиом-кишечник-мозг" и улучшая функцию мышц. Однако эффект небольшой и может зависеть от многих факторов. Поэтому необходимы дальнейшие исследования для определения оптимальных штаммов, дозировок и продолжительности приема пробиотиков для достижения максимального эффекта.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Изменения поведения у крыс с аллоксан-индуцированным диабетом являются многообразными и отражают сложные взаимодействия между физиологическими изменениями, происходящими в организме, и нервной системой. Пробиотический микробный консорциум оказывает модулирующее и частично восстанавливающее влияние на поведенческие реакции крыс с аллоксан-индуцированным диабетом. Его введение способствует снижению степени двигательной депрессии, характерной для диабетического состояния, и может рассматриваться как перспективное направление в дополнительной терапии сахарного диабета, направленное на коррекцию поведенческих расстройств.

Работа выполнена на оборудовании ЦКП «Экспериментальная физиология и биофизика» в рамках инициативной темы № АААА-А21-121011990099-6 «Физиологические механизмы биологического действия факторов разной природы и интенсивности» ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет имени В. И. Вернадского».

Список литературы

1. Дедов И. И. Сахарный диабет / И. И. Дедов, М. В. Шестакова, А. Ю. Майоров, М. Ш. Шамхалова // Сахарный диабет. – 2020. – Т. 23. – С. 42–114. doi: 10.14341/DM12505
2. Лунева И. Е. Когнитивные нарушения у больных сахарным диабетом. / Лунева И. Е., Супонева Н. А. // Эффективная фармакотерапия. – 2022. – 18 (10). – С. 38–44. DOI 10.33978/2307-3586-2022-18-10-38-44.
3. Юсупова Д. Г. Особенности клинической диагностики эмоциональных и когнитивных нарушений у пациентов с сахарным диабетом. / Юсупова Д. Г., Супонева Н. А. // Эффективная фармакотерапия. – 2023. – 19 (3). – С. 36–40. DOI 10.33978/2307-3586-2023-19-3-36-40
4. Bourassa M. W. Neuroepigenetics and the gut microbiome: Can a high fiber diet improve brain health? / M. W. Bourassa, I. Alim, S. J. Bultman [et al.] // Butyrate Neurosci. Lett. – 2016. – V. 625. – P. 56–63.
5. Mingxue Gao. Gut microbiota composition in depressive disorder: a systematic review, meta-analysis, and meta-regression / Mingxue Gao, Jizhi Wang, Penghong Liu, Hongwei Tu, Ruiyu Zhang, Yanyan Zhang, Ning Sun, Kerang Zhan // Transl Psychiatry – 2023 – 13(1) – P. 379. doi: 10.1038/s41398-023-02670-5.
6. Ивашкин В. Т. Психобиотические эффекты пробиотиков и пребиотиков. / В. Т. Ивашкин, К. В. Ивашкин // Рос. журн. гастроэнтерол., гепатол., колопроктол. – 2018. – № 28 (1) – С. 4–12. doi: 10.22416/1382-4376-2018-28-1-4-12.).
7. Пальчикова Н. А. Гормонально-биохимические особенности аллоксановой и стрептозотоциновой моделей экспериментального диабета. / Пальчикова Н. А., Кузнецова Н. В., Кузьминова О. И., Селятицкая В. Г. // Бюллетень СО РАМН. – 2013. – Том 33, № 6. – С. 18–24.
8. Carlos Alberto Yasin Wayhs. Diabetic encephalopathy-related depression: experimental evidence that insulin and clonazepam restore antioxidant status in rat brain / Carlos Alberto Yasin Wayhs, Caroline Paula Mescka, Gilian Guerreiro, Tarsila Barros Moraes, Carlos Eduardo Diaz Jacques, Andrea Pereira Rosa, Marcelo Kneib Ferri, Maurício Schüler Nin, Carlos Severo Dutra-Filho, Helena Maria Tannhauser Barros, Carmen Regla Vargas // Cell Biochem Funct. – 2014. – 32(8). – P. 711–9. doi: 10.1002/cbf.3076.
9. Данилова И. Г. Способ моделирования аллоксанового диабета / И. Г. Данилова, И. Ф. Гетте: Патент на изобретение № 2534411; заявл. 27.11.2014; опубл. 27.11.2014. – Бюл. № 33.
10. Saltiel A. R. Insulin signaling in health and disease / Saltiel A. R. // J Clin Invest – 2021. – 131(1). – e142241. doi: 10.1172/JCI142241.
11. Корнеева А. В. Изменение поведенческих реакций у крыс с сахарным диабетом на фоне ишемии мозга / А. В. Корнеева, Г. И. Горохова, А. А. Фудашкин, В. А. Лемешенко, Е. Г. Филиппенко // Ежемесячный научно-практический медицинский журнал. – 2011. – № 3. – С. 14–16.
12. Мирошниченко И. Ю. Влияние реамберина и альфа-липоевой кислоты на расстройства поведения и метаболизма при экспериментальном сахарном диабете : диссертация канд.мед.наук. : 14.03.06 / Мирошниченко И. Ю. – Челябинск, 2010 – 145 с.
13. Волчегорский И. А. Антиоксиданты при экспериментальном сахарном диабете. / Волчегорский И. А., Рассохина Л. М., Мирошниченко И. Ю. // Проблемы Эндокринологии. – 2008. – 54(5). – С. 43–49. <https://doi.org/10.14341/probl200854543-50>
14. Червинец В. М. Влияние кишечной микробиоты на развитие сахарного диабета. / Червинец В. М., Червинец Ю. В., Ганзя Д. В., Беляев В. С., Зайцева В. С. // Экспериментальная и клиническая гастроэнтерология. – 2023. – 220(12). – С. 77–85. DOI: 10.31146/1682-8658-ecg-220-12-77-85

EFFECT OF PROBIOTIC MICROBIAL CONSORTIUM ON BEHAVIORAL REACTIONS OF RATS WITH ALLOXAN-INDUCED DIABETES MELLITUS

Yarmolyuk N. S., Dzheldubaeva E. R., Rzhetskaya V. S., Tumanyants K. N., Aedinova D. Z.

V. I. Vernadsky Crimean Federal University, Simferopol, Russia

E-mail: nat_yarm@mail.ru

In recent years, a direction studying the relationship between the state of intestinal microbiota and brain functioning, the so-called “microbiome-gut-brain” axis, has been actively developing. It has been shown that the gut microbiota can influence brain function through various mechanisms such as synthesis of neurotransmitters, regulation of inflammation and modulation of the immune system. Probiotics, especially probiotic microbial consortia (PMCs) capable of modulating the composition of the microbiota, are considered as potential correctors of not only metabolic but also behavioral disorders. They produce anxiolytic and antidepressant effects characterized by positive changes in emotional, cognitive, systemic and nervous spheres. However, studies aimed at evaluating behavioral responses in diabetes under conditions of probiotic administration remain insufficient.

Therefore, the aim of this work was to study the effect of probiotic microbial consortium on behavioral responses of alloxan-induced diabetic rats in the infrared actimeter test.

The total sample consisted of 30 healthy rats, weighing 280–330 g, divided into 3 experimental groups of 10 animals each. The animals of the first group (K) were kept in standard vivarium conditions and served as biological control. The rats of the second (Al) and third (Al+Pb) groups were modeled diabetes mellitus by intraperitoneal injection of alloxan (mesoxalylurea, $C_4O_4H_2N_2 \times H_2O$, Diaem Company, Russia) at a dosage of 100 mg/kg for three days. Alloxan is a relatively inexpensive and readily available chemical compound. Diabetes develops within a few days after its administration, which allows for rapid research. To determine the occurrence of diabetes during the experiment, the concentration of glucose in blood taken from the tail incision of rats was monitored using an “iCheck” glucometer. On the 10th day, the animals of the third group (Al+Pb) were intragastrically administered 1% PMC solution by 3 ml for the next 21 days. Animals of the first (K) and second (Al) groups were administered an equivalent volume of drinking water.

The results of the study demonstrate a pronounced negative effect of alloxan-induced diabetes mellitus on the behavioral activity of rats, which is manifested by a decrease in total activity, a reduction in the distance covered, a decrease in the average speed of movement and an increase in resting time. These changes indicate the development of general hypodynamia associated with a complex of metabolic and neurological disorders typical of the diabetic state. At the same time, a steady and statistically significant decrease in all key behavioral indices is especially pronounced on the 14th day of observation, when the greatest drop in both total activity (by 270 units), as well as in the distance traveled (by 513.95 units) and average speed (by 3.15 cm/s) was recorded. This may indicate a peak of destructive metabolic disturbances associated with

prolonged energy deficit and increasing neuroinflammation. Diabetic neuropathy, hyperglycemia and oxidative stress, increase at this stage, which is reflected in the behavior of the animals.

In the AI+Pb group, where rats were administered PMC against alloxan diabetes on the background of 14 days on the contrary, a partial recovery of behavioral reactions was observed: total activity, distance covered and average speed approached the values of the control group and significantly exceeded the similar parameters of the AI group. This may indicate a positive effect of PMC on the metabolic state of animals due to the normalization of intestinal microbiota and reduction of inflammation at the level of the axis “microbiome-intestine-brain”. It is known that probiotics can reduce the level of systemic inflammation, oxidative stress and increase tissue sensitivity to insulin. Against the background of alloxan diabetes, administration of PMC can contribute to the restoration of energy metabolism and reduce the neurotoxic effects of chronic hyperglycemia, which, in turn, is expressed in the increase in motor activity of animals. However, on the 21st day of the experiment, a secondary decrease in all behavioral parameters is observed, although they do not reach the values recorded in animals of the AI group. The possible reason may be the depletion of compensatory mechanisms.

Thus, administration of PMC has a modulating and partially restorative effect on behavioral responses of alloxan-induced diabetic rats, contributing to the reduction of the degree of motor depression characteristic of the diabetic state, and can be considered as a promising direction in adjuvant therapy of diabetes mellitus aimed at the correction of behavioral disorders.

Keywords: alloxan, diabetes mellitus, probiotic microbial consortium, motor activity, rats.

References

1. Dedov I. I., Shestakova M.V., Mayorov A.Yu., Shamkhalova M. Sh. Diabetes mellitus, *Diabetes Mellitus*, **23**, 42 (2020). doi: 10.14341/DM12505.
2. Luneva I. E., Suponeva N.A. Cognitive disorders in patients with diabetes mellitus, *Efficient pharmacotherapy*, **18** (10), 38 (2022). DOI 10.33978/2307-3586-2022-18-10-38-44.
3. Yusupova D. G., Suponeva N. A. Features of clinical diagnostics of emotional and cognitive disorders in patients with diabetes mellitus, *Effective Pharmacotherapy*, **19** (3), 36 (2023). DOI 10.33978/2307-3586-2023-19-3-36-40
4. Bourassa M. W., Alim I., Bultman S. J. [et al.] Neuroepigenetics and the gut microbiome: Can a high fiber diet improve brain health? *Butyrate Neurosci. Lett.*, **625**, 56 (2016).
5. Mingxue Gao, Jizhi Wang, Penghong Liu, Hongwei Tu, Ruiyu Zhang, Yanyan Zhang, Ning Sun, Kerang Zhan Gut microbiota composition in depressive disorder: a systematic review, meta-analysis, and meta-regression, *Transl Psychiatry*, **13**(1), 379 (2023). doi: 10.1038/s41398-023-02670-5.
6. Ivashkin V. T., Ivashkin K. V. Psychobiotic effects of probiotics and prebiotics, *Ros. zhurn. gastroenterol., gepatol., koloproktol*, **28** (1), 4 (2018). doi: 10.22416/1382-4376-2018-28-1-4-12.).
7. Palchikova N. A., Kuznetsova N. V., Kuzminova O. I., Selyatitskaya V. G. Hormonal and biochemical features of alloxan and streptozotocin models of experimental diabetes, *Bulletin of SB RAMS*, **33**, 6, 18 (2013).
8. Carlos Alberto Yasin Wayhs, Caroline Paula Mescka, Gilian Guerreiro, Tarsila Barros Moraes, Carlos Eduardo Diaz Jacques, Andrea Pereira Rosa, Marcelo Kneib Ferri, Maurício Schüler Nin, Carlos Severo Dutra-Filho, Helena Maria Tannhauser Barros, Carmen Regla Vargas. Diabetic encephalopathy-related depression: experimental evidence that insulin and clonazepam restore antioxidant status in rat brain, *Cell Biochem Funct.*, **32**(8), 711 (2014). doi: 10.1002/cbf.3076.

9. Danilova I. G., Gette I. F. *Method of modeling alloxan diabetes*, Patent for invention No. 2534411; applied for. 27.11.2014; publ. 27.11.2014., Bulletin No. 33.
10. Saltiel A. R. Insulin signaling in health and disease, *J Clin Invest.*, **131(1)**, e142241. (2021). doi: 10.1172/JCI142241.
11. Korneeva A. V., Gorokhova G. I., Fudashkin A. A., Lemeshenko V. A., Filipchenko E. G. Changes in behavioral responses in rats with diabetes mellitus against the background of brain ischemia, *Monthly Scientific and Practical Medical Journal*, **3**, 14 (2011).
12. Miroshnichenko I. Yu. Effect of reamberin and alpha-lipoic acid on behavioral and metabolic disorders in experimental diabetes mellitus : thesis Cand.med.sci. : 14.03.06, 145 p (Chelyabinsk, 2010).
13. Volchegorsky I. A., Rassokhina L. M., Miroshnichenko I. Yu. Antioxidants in experimental diabetes mellitus. *Problems of Endocrinology*, **54(5)**, 43 (2008). (In Russ.) <https://doi.org/10.14341/probl200854543-50>
14. Chervinets V. M., Chervinets Y. V., Ganzya D. V., Belyaev V. S., Zaitseva V. S. Influence of intestinal microbiota on the development of diabetes mellitus, *Experimental and clinical gastroenterology*, **220(12)**, 77 (2023). DOI: 10.31146/1682-8658-ecg-220-12-77-85

Ученые записки Крымского федерального университета имени В. И. Вернадского
Биология. Химия. Том 11 (77). 2025. № 1. С. 273–282.

УДК 546.47+ 542.97

DOI 10.29039/2413-1725-2025-11-1-273-282

МОНОЯДЕРНЫЙ КОМПЛЕКС ЦИНКА С ТЕТРАДЕНТАТНЫМ N₂O₂-ДОНОРНЫМ ЛИГАНДОМ КАК ПЕРСПЕКТИВНЫЙ МАТЕРИАЛ ДЛЯ БИОВИЗУАЛИЗАЦИИ

Брага Е. В., Мамонтов К. М., Сидякин А. И., Гусев А. Н.

*Институт биохимических технологий, экологии и фармации (структурное подразделение)
ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет им. В.И. Вернадского», Симферополь,
Республика Крым, Россия
E-mail: braga.yelena@ya.ru*

Синтезирован и исследован люминесцирующий комплекс цинка на основе азометинового «salen-like» лиганда, который представляет собой две молекулы 3-метил-1-фенил-4-формилпиразол-5-она «сшитые» молекулой пропан-1,3-диамина. Состав и структура комплекса установлена по данным элементного, термогравиметрического анализа, ИК-спектроскопии. Молекулярная структура комплекса установлена на основе данных РСА. Комплекс проявляет интенсивную фотолюминесценцию в растворах и может использоваться для визуализации клеточных структур клеток эпидермиса *Allium cepa*.

Ключевые слова: люминесценция, цинк, биовизуализация.

ВВЕДЕНИЕ

Современное развитие медицины, молекулярной биологии и генетики тесно связано с совершенствованием методов визуализации молекулярных процессов, протекающих в клетках живых организмов. В данном направлении особенно перспективным является метод флуоресцентной микроскопии, обеспечивающий высокое пространственное разрешение и хорошую чувствительность. Учитывая приборные возможности и специфику объектов исследования многие коммерческие флуорофоры на основе органических красителей не отвечают высоким требованиям современной диагностики, среди которых наиболее важными являются: обеспечение специфической связи с молекулой-мишенью, органеллой или клеткой; высокая эффективность излучения в сочетании с фотостабильностью. Кроме вышеуказанных требований в последнее десятилетие возрос спрос к люминофорам, чувствительным к конкретным мишеням: биометаллам, pH среды, биомаркерам [1].

Высокая люминесцентная активность азометиновых оснований в присутствии ионов цинка, в сочетании с устойчивостью в растворах, чувствительностью к pH среды и наблюдаемой двухфотонной люминесценцией, делает предложенные соединений идеальными кандидатами для использования в биоимейджинге. Цинк относится к группе микроэлементов, его уникальность заключается в том, что он входит в состав более 300 ферментов и выполняет разнообразные физиологические функции, обладает антиоксидантными свойствами. Его токсичность для животных и человека невелика – это связано с тем, что при избыточном поступлении он выводится организмом. Таким образом, люминесцирующие в видимой области комплексы цинка являются перспективными красителями для биовизуализации [2]. Ранее были описаны комплексы цинка с азометиновыми производными салицилового альдегида, демонстрирующие высокую эффективность для визуализации живых клеток. Очевидно, что варьирование заместителей в подобных соединениях является удобным способом настройки как фотофизических характеристик, так и улучшения параметров бивизуализации. В настоящей работе описан комплекс цинка с азометиновым производным 1-фенил-3-метилпиразол-5-она и 1,3-диаминопропана, люминесцентные свойства которого позволяют его использовать в флуоресцентной микроскопии высокого разрешения [3].

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В работе использованы: 1-фенил-3-метилпиразол-5-он, пропан-1,3-диамин фирм (Merck), $\text{Zn}(\text{CH}_3\text{COO})_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ (ч.д.а.), гидроксид натрия (х.ч.), гидроксид калия (х.ч.), соляную кислоту (х.ч.), хлорангидрид ортофосфорной кислоты (х.ч.), этилацетат(х.ч.).

Элементный анализ синтезированных соединений выполнен на CHN-анализаторе «Euro EA Elemental Analyser». Термогравиметрические исследования синтезированных комплексов выполнены на термогравиметрическом дифференциальном термическом анализаторе «STA 6000». Инфракрасные спектры зарегистрированы на ИК-Фурье спектрометре «Perkin Elmer Spectrum-two». Спектры возбуждения и люминесценции зарегистрированы на спектрофлуориметре «Horiba Fluoromax-4». Определение структуры монокристаллов методом рентгеновской дифракции проводили на приборе «Bruker Apex-II CCD» с дифрактометром Xcalibur, Eos (MoK α -излучение, графитовый монохроматор, $\lambda = 0,71073 \text{ \AA}$). Структура была определена прямым методом и уточнены полноматричным методом наименьших квадратов в анизотропном приближении (SHELX-97 и SHELX-2014) [4]. ^1H -ЯМР-спектры (δ , м.д.; КССВ, Гц) получены для растворов в DMSO- d_6 на приборе «Varian Mercury-400» (400 МГц), внутренний стандарт – Me_4Si . ESI+-MS сняты на Thermo Scientific MS/MS TSQ Quantum Access MAX.

Клетки исследовали на люминесцентном микроскопе «МИКМЕД-2вар.26» (ЛОМО-Микросистемы, Россия). Фотофиксацию вели с использованием цифровой камеры «МС-6.3» (ЛОМО-Микросистемы, Россия) интегрированную с программным обеспечением «ToupView» (ToupTek Photonics).

Синтез координационного соединения. К раствору 4-формил-3-метил-1-фенилпиразол-5-она (808 мг, 4 ммоль) в 50 мл метанола добавляли 2 ммоль соответствующего диамина и перемешивали при кипячении с обратным холодильником в течение 1 часа. После этого к раствору добавляли кристаллический $\text{Zn}(\text{AcO})_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ (438 мг, 2 ммоль) и раствор Et_3N (400 мг, 4 ммоль) в 10 мл метанола. Перемешивали при 50 °С в течение 8 часов. Осадок отфильтровали, промыли холодным метанолом и эфиром и сушили на воздухе. После перекристаллизации из этанола выход продукта составил 67 %.

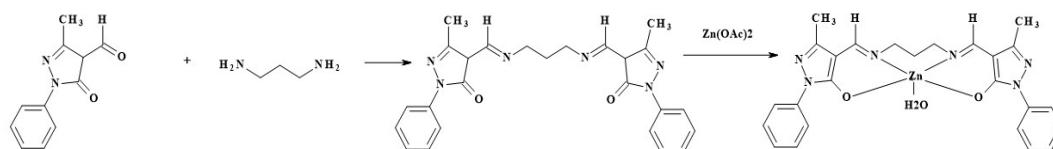


Рис.1. Схема синтеза координационного соединения.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Целевой комплекс был получен с хорошим выходом в одну стадию в виде бесцветного кристаллического соединения, умеренно растворимого в этаноле, хлороформе, ацетонитриле, хорошо растворимое в ДМСО и нерастворимого в воде.

Состав синтезированного комплекса определяли методами элементного и термогравиметрического анализа. По данным элементного анализа комплекс имеет состав $\text{ZnL} \cdot \text{H}_2\text{O}$. Для $\text{C}_{25}\text{H}_{26}\text{N}_6\text{O}_3\text{Zn}$ вычислено в %: С, 57.31; Н, 5.00 %; N, 16.04. Найдено: С, 57.40; Н, 5.15, N, 16.07. По данным ТГА установлено, что в интервале температур 180–200 °С, происходит потеря массы на 4 %, сопровождающаяся эндотермическим эффектом. Это соответствует удалению координированной молекулы воды. Соединение термически стабильно до температуры 400 °С. Нагревание выше 400 °С приводит к медленному разложению образца.

ИК-спектр комплекса (рис. 2) позволяет оценить таутомерную форму лиганда и способ координации с атомом металла. В спектре наблюдаются полосы колебаний в области 2847–2922 и 3028–3059 cm^{-1} , отнесенные к связям С–Н алифатической цепи и ароматических колец, соответственно. Интенсивная полоса при 1628 cm^{-1} указывает на наличие группы $\text{C}=\text{N}$, принадлежащей к иминной группе, в то время как полоса при 1363 cm^{-1} отвечает валентным колебаниям $\text{C}_{\text{pyr}}-\text{O}$. Регистрация данных полос указывает на образование депротонированной иминойной формы лиганда при координации с катионом цинка [5, 6]. Примечательно, что ИК-спектр демонстрирует широкий пик в интервале 3200–3300 cm^{-1} , указывающий на наличие координированной молекулы воды в структуре комплекса. Кроме того, полосы, наблюдаемые в низкочастотных областях 510 и 455 cm^{-1} отвечают колебаниям ν ($\text{Zn}-\text{N}$) и ν ($\text{Zn}-\text{O}$) соответственно, что подтверждает образование координационных связей.

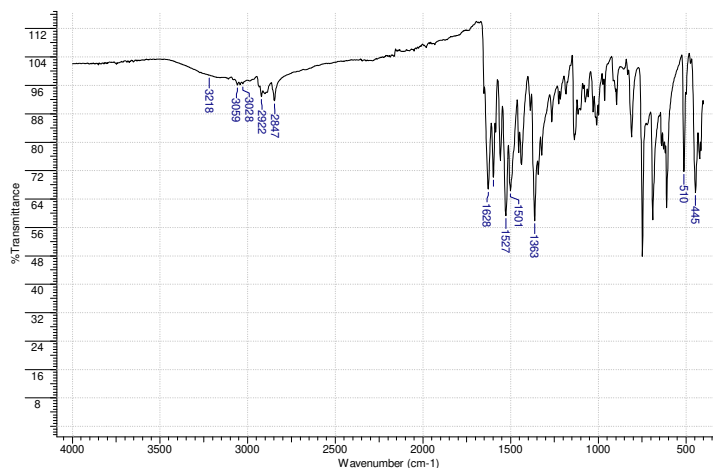
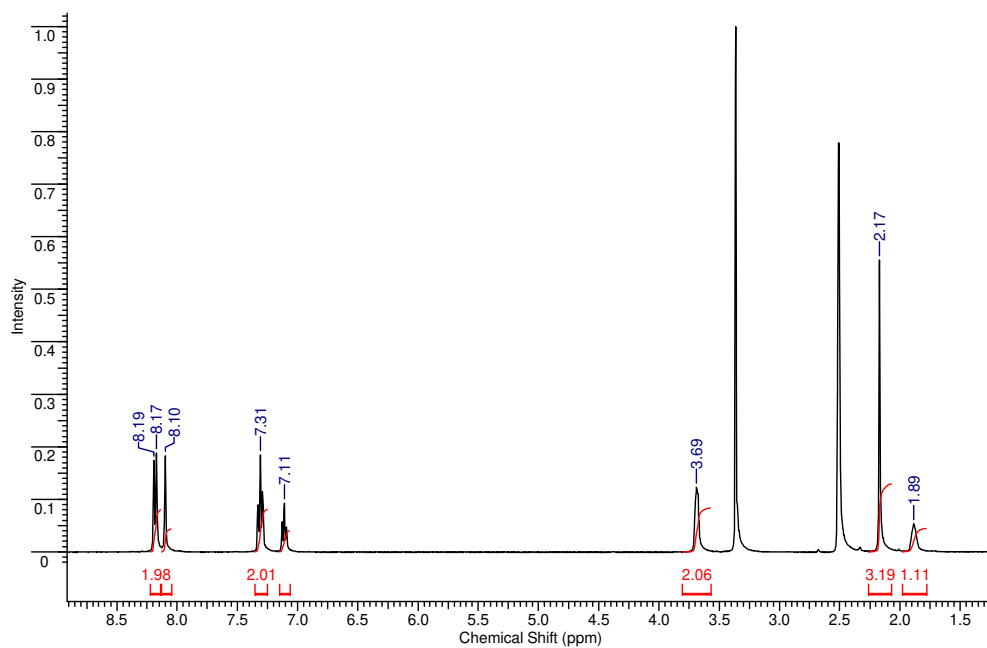


Рис. 2. ИК-спектр комплекса.

¹H ЯМР-спектр диамагнитного комплекса цинка(II) (рис. 3) дает дополнительное подтверждение того, что азометиновый лиганд координируется в депротонированной иминовой форме. Альдегидный протон (--CH=O) проявился в виде синглета при 8,19 ppm, при этом в спектре отсутствуют сигналы «кислых» протонов. Пики, наблюдаемые в спектре ¹H ЯМР, согласуются с общим числом атомов водорода, присутствующих в структуре. Эти данные свидетельствуют о том, что комплекс остается стабильным в растворе и не подвергается диссоциации.

Рис. 3. ¹H ЯМР-спектр комплекса цинка(II).

Молекулярное строение комплекса установлено по данным РСА.

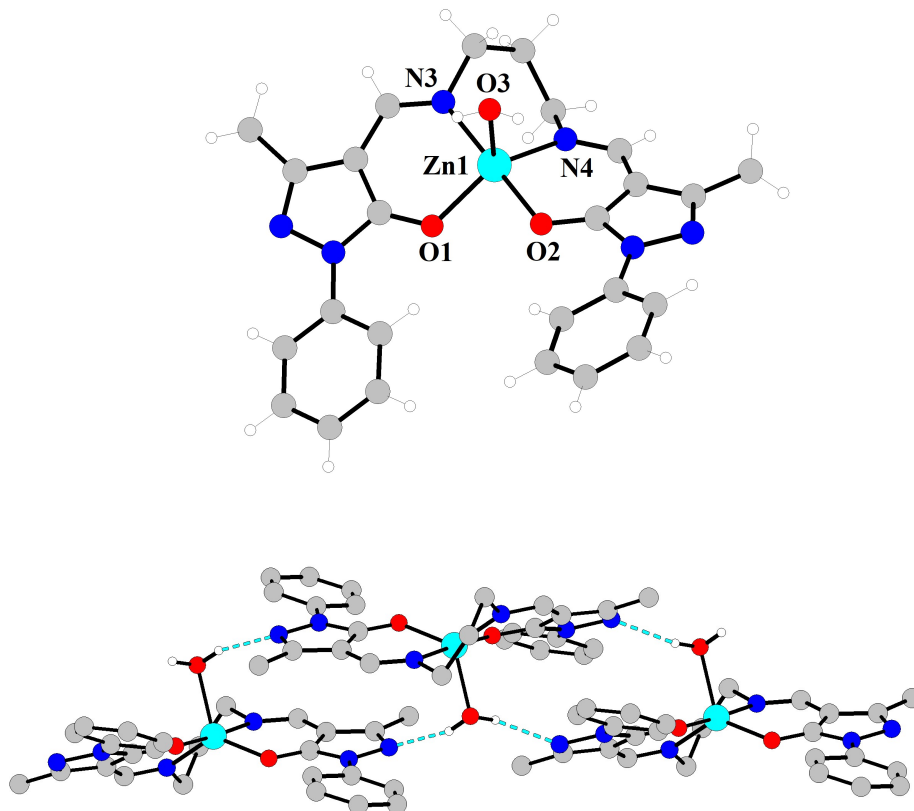


Рис. 4. Молекулярное строение и фрагмент кристаллической решетки комплекса.

Комплекс является молекулярным и кристаллизуется в триклинной сингонии. Параметры решетки: $a=7.2840(2)$, $b=11.4657(3)$, $c=14.5993(4)$, $\alpha=74.4730(10)$, $\beta=75.8820(10)$, $\gamma=82.8380(5)$, $V=1136.99(5)$, $Z=2$. Катион цинка в комплексе пентакоординирован за счет двух атомов азота и двух атомов кислорода полностью депротонированной тетрадентатной молекулы лиганда. Пятое место в координационной сфере занимает атом кислорода молекулы воды. Координационный полиэдр представляет собой искаженную тетрагональную пирамиду. Длины связей близки к стандартным значениям. Отдельные молекулы комплекса соединены водородной связью с участием атомов водорода координированной молекулы воды одной молекулы комплекса и атомов азота пиразольных колец соседних молекул ($O3H3A-N2$ ($d=1.926$ Å) и $O3H3B-N5$ ($d=2.047$ Å), что приводит к образованию 1D-супрамолекулярной структуры.

Основным показателем, характеризующим эффективность флуоресцентного красителя, является эффективная фотолюминесценция при возбуждении в ближней

УФ- или видимой областях спектра [7]. Флуоресцентные свойства были исследованы для растворов комплекса в хлороформе и ДМСО ($5 \cdot 10^{-5}$ М). На первом этапе были исследованы спектры поглощения в указанных растворах (рис. 5). В обоих случаях в спектрах наблюдаются две основные полосы поглощения с максимумами 276 и 285 нм и 309 и 347 нм для растворов в хлороформе и ДМСО соответственно. Согласно литературным данным коротковолновая полоса может быть отнесена к $\pi-\pi^*$ переходам ароматических колец, в то время как длинноволновая полоса относится к $n-\pi^*$ переходам связи $C=N$. Отличительной чертой спектров является достаточно большой длинноволновый «хвост» в спектре, заходящий в видимую область, очевидно связанный с появлением MLCT полосы и указывающий на возможность поглощения комплексов относительно безопасных для живых клеток квантов видимого спектра [7].

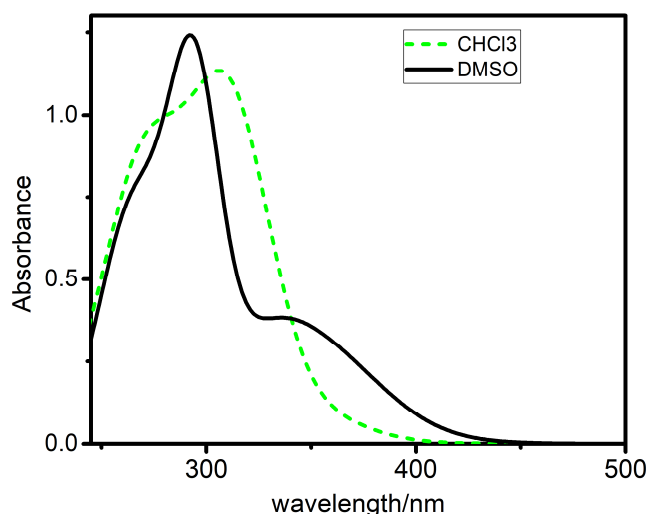


Рис. 5. Спектры поглощения растворов комплекса в хлороформе (пунктирная кривая) и ДМСО (сплошная кривая).

Оптимальная длина возбуждения для растворов комплексов была установлена по данным спектроскопии возбуждения, согласно которой в хлороформе максимум эмиссии достигается при возбуждении 354 нм, в то время как для раствора в ДМСО максимумы в спектре возбуждения расположены при 397 и 407 нм. При облучении светом с соответствующей длиной волны комплексы проявляют яркую эмиссию в синей и сине-зеленой областях спектра. Спектры люминесценции представлены на рисунке 6, из которого видно, что в обоих случаях спектр представляет собой интенсивную широкую полосу с двумя максимумами (444 и 452 нм) для хлороформного раствора и одним максимумом при 482 нм для раствора в ДМСО. Квантовый выход излучения составляет 0,7 и 0,9 % для раствора в хлороформе и ДМСО, соответственно.

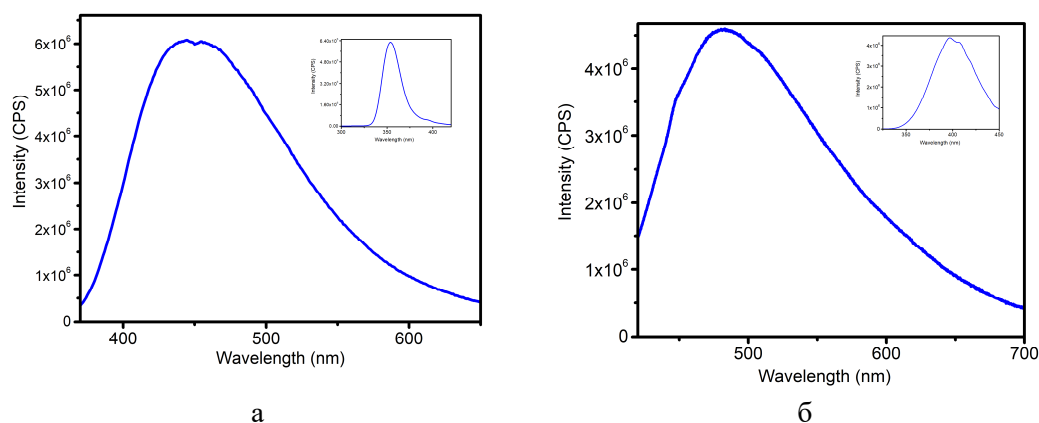


Рис. 6. Спектры люминесценции и возбуждения (вставка) для растворов комплекса в хлороформе (а) и ДМСО (б).

Время жизни возбужденного состояния находится в наносекундном диапазоне, что указывает на флуоресцентный характер излучения. Кривые затухания аппроксимируются биэкспоненциальными выражениями.

Таблица 1
Фотофизические характеристики растворов комплекса

Растворитель	Поглощение, нм	Максимум эмиссии, нм	Квантовый выход, %	Время жизни, нс
Хлороформ	276, 309	444, 452	0,7	5,4
ДМСО	285, 347	482	0,9	6,5

Учитывая, что исследованный комплекс проявляет более эффективную фотолюминесценцию в ДМСО при возбуждении видимым светом испытания по биовизуализации проводили в данном растворителе [8]. Комплекс растворяли в 80 % ДМСО (1 г/л), и в соотношении 1:10 вносили в химически чистый глицерин. Клетки эпидермиса лука (*Allium cepa* L.) отделяли от луковиц и сразу переносили в глицериновый раствор красителя. Спустя 24 часа после достаточной диффузии красителя в клетки исследовали их на люминисцентном микроскопе. В клетках чётко визуализируются клеточная оболочка, ядра и ядрышки, цитоплазма (в пристенных слоях клетки) (рис. 7.). Взаимодействие носит адсорбционный характер.

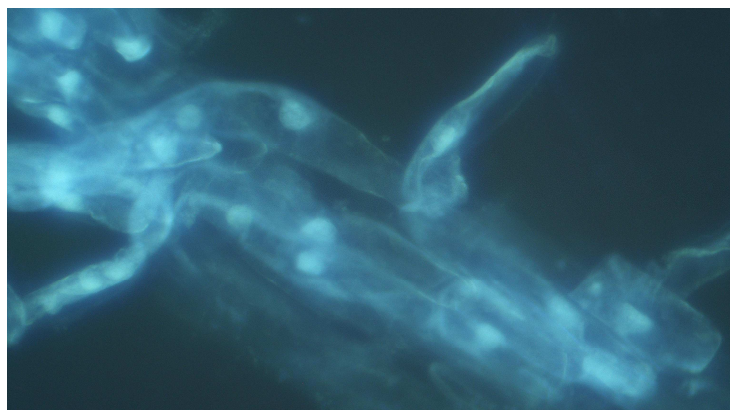


Рис. 7. Флуоресценция после окрашивания (увеличение $\times 400$). Условия визуализации: спектр возбуждающего света: 400–410 нм; барьерный светофильтр (дихроическое зеркало) 400–455 нм; снимаемый спектр флуоресценции 455–700 нм.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Синтезирован комплекс цинка на основе 3-метил-1-фенил-4-формилпиразол-5-она и пропан-1,3-диамина. Состав комплекса установлен по данным элементного и термогравиметрического анализа, ЯМР-спектроскопии. Строение комплекса установлено методами ИК-спектроскопии и РСА.
2. Установлено, что комплекс проявляет интенсивную фотолюминесценцию в синей области спектра.
3. Полученное соединение является эффективным красителем для визуализации биологических объектов.

"Работа выполнена при поддержке гранта РНФ №25-23-00143"

Список литературы

1. Lo K.K.-W. Applications of luminescent inorganic and organometallic transition metal complexes as biomolecular and cellular probes / K.K.-W. Lo, A.W.-T. Choi, W.H.-T. Law // *Dalt. Trans. The Royal Society of Chemistry* – 2012. – Vol. 41, № 20 – P. 6021–6047.
2. LITE microscopy: Tilted light-sheet excitation of model organisms offers high resolution and low photobleaching / T. C. Fadero, T. M. Gerbich, K. Rana [et al] // *The Journal of Cell Biology*. – 2018. – Vol. 217. – P. 1869–1882.
3. Dumur F. Low-cost zinc complexes for white organic light-emitting devices / F. Dumur, L. Beouch, M.-A. Tehfe, [et al.] // *Thin Solid. Films*. – 2014 – Vol. 564.– P. 351–360.
4. Sheldrick G. M. SHELX97. Program for the Solution of Crystal Structures. Göttingen University, Göttingen (Germany), 1997.
5. Marchetti F., Pettinari C., Di Nicola C., Tombesi A., Pettinari R. Coordination chemistry of pyrazolone-based ligands and applications of their metal complexes. *Coord. Chem. Rev.* – 2009. – Vol. 401. – 213069.
6. Orabi E. A. Tautomerism and antioxidant activity of some 4-acylpyrazolone-based Schiff bases: a theoretical study / E. A. Orabi // *RSC Advances*. – 2018. – Vol. 8, № 54. – P. 30842–30850.

7. Kumar N. Roopa, Vandana Bhalla V., Kumar M. Beyond zinc coordination: Bioimaging applications of Zn(II)-complexes, *Coord. Chem.Rev.* – 2021. – Vol. 427. – P. 2133550.
8. Chan J., Dodani S. C., Chang C. J. Reaction-based small-molecule fluorescent probes for chemoselective bioimaging, *Nat. Chem.* – 2012. – Vol. 4. – P. 973–984.

MONONUCLEAR COMPLEX OF ZINC WITH TETRADENTATE N₂O₂-DONOR LIGAND AS A PERSPECTIVE MATERIAL FOR BIOIMAGING

Braga E. V., Mamontov K. M., Sidyakin A. I., Gusev A. N.

*V. I. Vernadsky Crimean Federal University, Simferopol, Crimea, Russian Federation
E-mail: braga.yelena@ya.ru*

Modern development of medicine, molecular biology and genetics is closely related to the improvement of methods for visualization of molecular processes occurring in the cells of living organisms. The fluorescence microscopy method, which provides high spatial resolution and good sensitivity, is particularly promising in this direction. Taking into account the instrumental capabilities and specificity of research objects, many commercial fluorophores based on organic dyes do not meet the high requirements of modern diagnostics, among which the most important are: ensuring specific binding to the target molecule, organelle or cell; high emission efficiency combined with photostability. In addition to the above-mentioned requirements, in the last decade the demand for phosphors sensitive to specific targets: biometals, pH of the medium, biomarkers has increased. The high luminescent activity of azomethine bases in the presence of zinc ions, combined with stability in solutions, sensitivity to the pH of the medium and observed two-photon luminescence, makes the proposed compounds ideal candidates for use in bioimaging. Zinc belongs to the group of trace elements, its uniqueness lies in the fact that it is a part of more than 300 enzymes and performs a variety of physiological functions, has antioxidant properties. Its toxicity for animals and humans is small - this is due to the fact that in excessive intake it is excreted by the body. Thus, zinc complexes luminescent in the visible region are promising dyes for biovisualization.

A luminescent zinc complex based on azomethine “salen-like” ligand, which represents two molecules of 3-methyl-1-phenyl-4-formylpyrazol-5-one “cross-linked” by a molecule of propane-1,3-diamine, has been synthesized and studied. The composition and structure of the complex was established by elemental, thermogravimetric analysis and IR spectroscopy. The molecular structure of the complex was established on the basis of PCA data. The complex exhibits intense photoluminescence in solutions and can be used for visualization of cellular structures of *A. cepa* epidermis cells.

Keywords: luminescence, zinc, bioimaging.

References

1. Lo, K. K.-W., Choi, A. W.-T., & Law, W. H.-T., Applications of luminescent inorganic and organometallic transition metal complexes as biomolecular and cellular probes. *Dalton Transactions*, **41(20)**, 6021 (2012).
2. Fadero T. C., Gerbich T. M., Rana K., Suzuki A., DiSalvo M., Schaefer K. N., Maddox P. S. LITE microscopy: Tilted light-sheet excitation of model organisms offers high resolution and low photobleaching. *The Journal of Cell Biology*, **217(5)**, 1869 (2018).
3. Dumur F., Beouch L., Tehfe M.-A., Contal E., Lepeltier M., Wantz G., Gigmes D. Low-cost zinc complexes for white organic light-emitting devices. *Thin Solid Films*, **564**, 351 (2014).
4. Sheldrick G. M. SHELX97. *Program for the Solution of Crystal Structures*. Göttingen University, Göttingen (Germany), (1997).
5. Marchetti F., Pettinari C., Di Nicola C., Tombesi A., Pettinari R. Coordination chemistry of pyrazolone-based ligands and applications of their metal complexes. *Coord. Chem. Rev.* **401**, 213069 (2011).
6. Orabi E. A. Tautomerism and antioxidant activity of some 4-acylpyrazolone-based Schiff bases: a theoretical study. *RSC Advances*. **8 (54)**, 30842 (2018).
7. Kumar N, Roopa, Vandana Bhalla V., Kumar M. Beyond zinc coordination: Bioimaging applications of Zn(II)-complexes, *Coord. Chem.Rev.*, **427**, 213550 (2021).
8. Chan J., Dodani S. C., & Chang C. J. Reaction-based small-molecule fluorescent probes for chemoselective bioimaging. *Nature Chemistry*, **4(12)**, 973 (2012).

УДК 544.47+544.72

DOI 10.29039/2413-1725-2025-11-1-283-293

КАТАЛИТИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА КОМПОЗИТНЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ ОКСИДА ЦИНКА

Вяткина О. В.¹, Копылец Т. А.², Милюкова О. А.¹

¹*ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет им. В.И. Вернадского», Симферополь, Россия*

²*ФГАОУ ВО «Казанский (Приволжский) федеральный университет», Казань, Россия
E-mail: kopylets03@mail.ru*

В статье приведены результаты исследования и сравнения морфологии частиц, адсорбционной способности и эффективности фотокатализа широкозонных полупроводников на примере химически чистого оксида цинка и его гетероструктуры, модифицированной ионами железа(III). Технология модификации химически чистого образца заключается в ультразвуковом диспергировании образца оксида цинка в растворе соли железа(III) с последующей агрегацией гетерогенной системы, центрифугированием и отжигом в воздушной среде. Показано, что введение ионов железа в матрицу оксида цинка приводит к повышению эффективности фотокаталитического разрушения красителя. Установлено, что длительное ультразвуковое диспергирование в растворе соли железа(III) образца ZnO привело к уменьшению размера частиц, но не повлияло на его адсорбционную способность.

Ключевые слова: адсорбция, оксид цинка, допирование, фотокатализ.

ВВЕДЕНИЕ

Ряд современных методов очистки воды базируются на усовершенствованных процессах окисления, в рамках которых происходит гетерогенный фотокатализ, эффективный при разложении не подвергающихся биodeградации веществ. Оксид цинка является подходящим сырьём для создания катализаторов благодаря своим структурным особенностям, а также токопроводящим и оптическим свойствам [1]. Основным его недостатком в фотокатализе является узкий спектральный диапазон поглощения, ограничивающийся ультрафиолетовой области спектра. Существуют различные методы улучшения каталитических свойств посредством уменьшения запрещённой зоны полупроводника: изменение морфологии частиц, допирование кристаллической решётки полупроводника, фотосенсибилизация красителями [2]. Поэтому получение новых фотоактивных композитов на основе оксида цинка является актуальной задачей в настоящее время.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Изучение фотокаталитической активности проводилось на основе модельных систем, в которых деградируемым веществом выступал кислотный азокраситель метиловый оранжевый ч.д.а. ТУ 6-09-5171 84, фотоактивным субстратом –

гетероструктурный материал из металлооксидов с различной шириной запрещенной зоны ZnO/Fe, где легирующая добавка – 6-водный хлорид железа(III) ч.д.а. ТУ 6-09-5171 84. Также в качестве образца для сравнения выступает немодифицированный оксид цинка (ZnO) х.ч. ГОСТ 10262_73. Изучение образцов проводилось при различных условиях протекания реакции: при освещении светом в ультрафиолетовом и видимом диапазоне спектра – для изучения активности фотокатализатора, а также в условиях отсутствия видимого света для определения адсорбционной способности оксида металла. Время экспозиции составляло 15 мин, 30 мин и 60 мин.

В модельных системах I–IV деградируемым веществом выступал азокраситель метиловый оранжевый, фотоактивным субстратом – х.ч. ZnO. В состав модельных систем V–VIII входит азокраситель метилоранж и фотоактивный субстрат ZnO/Fe. Исследуемые системы содержали 25 мл рабочего раствора метилоранжа и 0,25 г твердофазного вещества. На основе образцов I и V изучалась адсорбционная способность вещества, исследования проводились в условиях отсутствия излучения. Системы II и VI подвергались воздействию естественного освещения. Системы III и VII облучались ультрафиолетовым излучением с длиной волны 365 нм. Системы IV и VIII подвергались воздействию ультрафиолетового излучения с длиной волны 254 нм.

Легирование химически чистого оксида цинка 6-водным хлоридом железа(III) проводилось на основе известной методики [3] с некоторой её модификацией. В качестве исходных веществ для изготовления металлооксидной фоточувствительной гетероструктуры ZnO/Fe был взят оксид цинка (ZnO) х.ч. ГОСТ 10262_73 в количестве 6,25 г и 6-водный хлорид железа(III) ч. ГОСТ 4147-74 в качестве легирующей добавки в количестве 0,06 г, чтобы получить массовое соотношение железа к цинку 0,24 %. Технология повышения фоточувствительности заключается в ультразвуковом диспергировании ZnO в растворе соли железа. Растворителем в растворе соли железа является этанол (50 мл раствора этанола хлорида железа(III), в котором масса железа 0,0125 г). Вышеуказанный материал подвергали обработке в ультразвуковой ванне DIGITAL ULTRA CLEANER CDS-300 (CODYSON) (мощность 55 Вт, частота 42 кГц) на протяжении 3 часов. Затем раствор нагревали до 40 °С при непрерывном перемешивании на магнитной мешалке RSM-10A PHOEIX Instrument, и в этих условиях по каплям добавляли 25 мл 10 % водного раствора аммиака (производитель ООО «Иодные Технологии и Маркетинг»). Раствор перемешивали в течение 1 часа. После процесса перемешивания гетерогенная система подвергалась агрегации по механизму Освальдского созревания 24 часа при комнатной температуре. По прошествии указанного времени раствор центрифугировали в лабораторной медицинской центрифуге ОПн-8 ШХ2Л79.040 (15 мин, 8000 об/мин). Полученный твёрдый продукт подвергали отжигу в воздушной среде при 250 °С в течение 2 часов.

Образцы исследовали методами УФ-спектроскопии (спектрофотометр Cintra 4040), размер частиц и фракционный состав композита определяли на лазерном дифракционном анализаторе гранулометрического состава Fritsch Analysette 22 MicroTec plus при диспергировании в воде. Размер частиц ZnO

определяли в 0,5 % водной суспензии методом седиментационного анализа с использованием торсионных весов ВТ-500).

Фотокаталитическую активность материалов определяли фотоколориметрическим методом. Исследования проводились при помощи прибора ЭКСПЕРТ-003 при длине волны $\lambda=525$ нм по принципу измерения исходной оптической плотности раствора метилоранжа и остаточной оптической плотности раствора после действия на него различных видов электромагнитного излучения (УФ-лампы VL-215.LC ($\lambda=254$ нм; 365 нм)) в присутствии фотокаталитического материала.

В раствор метилоранжа с концентрацией 60 мг/л ($1,8 \cdot 10^{-4}$ моль/л) вносили фотокатализатор, суспендировали и оставляли под источником излучения на 15, 30 и 60 минут. По истечению экспозиции системы II–IV отфильтровывали и измеряли оптическую плотность конечного раствора. При исследовании систем VI–VIII по истечении экспозиции раствор сначала центрифугировали (8000 об/мин, 15 мин) для разделения фаз, поскольку он содержал более мелкодисперсный материал. Фотокаталитическую деградацию красителя определяли фотоколориметрическим методом по калибровочному графику.

Исследование адсорбции проводилось на основе модельных систем I и V. Степень связывания органического красителя с адсорбентом рассчитывается по формуле (1):

$$A(\%) = \frac{C_{\text{исх}} - C_{\text{ост}}}{C_{\text{исх}}} \times 100 \quad (1)$$

где, $C_{\text{исх}}$ – исходная концентрация раствора метилоранжа (моль/л);
 $C_{\text{ост}}$ – остаточная концентрация раствора метилоранжа (моль/л);

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Размер частиц исходного оксида цинка определяли методом седиментационного анализа, данные которого представлены на Рис. 1.

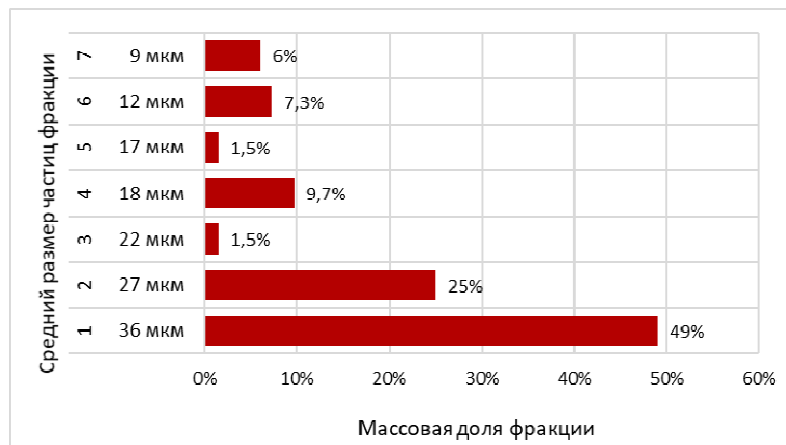


Рис. 1. Фракционный состав суспензии химически чистого ZnO.

Образец содержит 3 фракций, средний размер частиц с наибольшей массовой долей (49 %) составляет 36 мк. Седиментационный анализ композитного материала позволил определить наличие микроразмерных частиц, однако в данном случае анализ имеет достаточно низкую воспроизводимость и не позволяет с высокой долей точности определить размеры частиц. Поэтому дополнительно было проведено исследование методом лазерной дифракции, которое показало, что модифицированный материал ZnO/Fe преимущественно содержит 2 фракции (рис. 2).

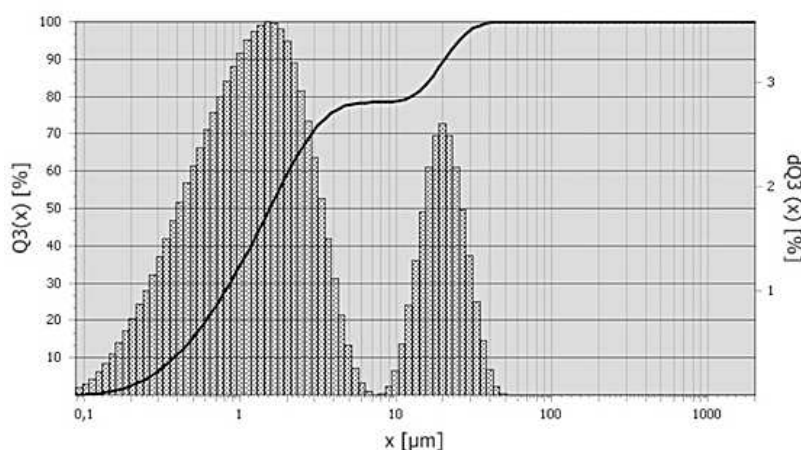


Рис. 2. Интегральная и дифференциальная кривая распределения размеров частиц полученного композита ZnO/Fe.

Содержание фракции с наибольшей массовой долей составляет 78 %, средний размер частиц 2 мкм, что почти в 18 раз меньше размера частиц исходного ZnO.

Исходя из данных о размерности можно было бы предположить, что у более мелкодисперсного материала адсорбционная способность будет выше. Однако исследование показало, что различия в степенях связывания адсорбированного вещества обоих материалов при экспозиции равной 30 минут и 60 минут незначимы (табл. 1). Вероятнее всего это связано с тем, что в процессе исследования системы не подвергались перемешиванию. Изучаемый материал плотно ложатся на дно стакана, и жидкая фаза контактирует только с его поверхностью, но не с объемом всей твердой фазы. Поэтому степень адсорбции одинакова.

Этот параметр был важен, поскольку при исследовании фотокаталитической активности степень фотодегradации красителя вычисляется как разность между остаточной концентрацией раствора и количеством адсорбированного вещества.

Анализ светопоглощающей способности материалов проводился методом спектроскопии в УФ- и видимой областях спектра.

Было установлено, что активация каталитической активности х.ч. ZnO происходит при воздействии на него света в диапазоне длин волн 250–400 нм, что соответствует УФ-зоне спектра (рис. 3).

Таблица 1

Сравнение результатов анализа с помощью модифицированного теста
Стьюдента для системы I и системы V

Система	Хср. (%)	t (0,9; 4) эксп.	t (0,9; 4) табл.	Степень различия
τ = 15 мин				
I (ZnO)	6 (±0,3)	4,0103	2,13	Различия значимые
V (ZnO/Fe)	7 (±0,6)			
τ = 30 мин				
I (ZnO)	8,0 (±0,2)	2,1270	2,13	Различия незначимые
V (ZnO/Fe)	7,4 (±0,4)			
τ = 60 мин				
I (ZnO)	10 (±0,2)	0,5099	2,13	Различия незначимые
V (ZnO/Fe)	10 (±0,5)			

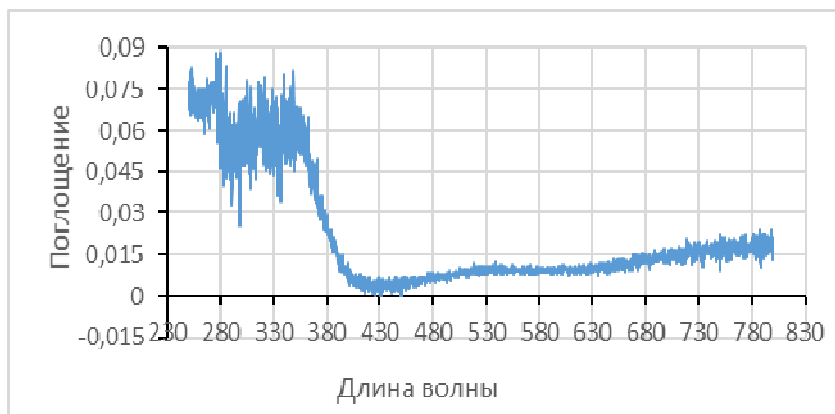


Рис. 3. Электронный спектр поглощения стандартного образца ZnO.

ZnO/Fe проявляет каталитическую активность при воздействии света в диапазоне от 250 до 630 нм (рис. 4). Наличие полосы поглощения в видимой области спектра позволяет предположить фотокаталитическую активность данного материала не только в УФ, но и в видимой области спектра.

Исследование фотокаталитической активности материалов проводилось на основе модельных систем II и VI, в условиях облучения видимым светом.

Было установлено, что хч. ZnO не обладает фотокаталитической активностью при облучении солнечным светом и уменьшение концентрации красителя обусловлено исключительно процессом адсорбции, и он не обладает фотокаталитической активностью в видимой области электромагнитного спектра.

Процент фотодегradации менее 1 %. Разница между остаточной концентрацией раствора и количеством адсорбированного вещества незначимая, на основе чего можно сделать вывод, что уменьшение концентрации красителя в растворе вызвано исключительно процессом адсорбции.

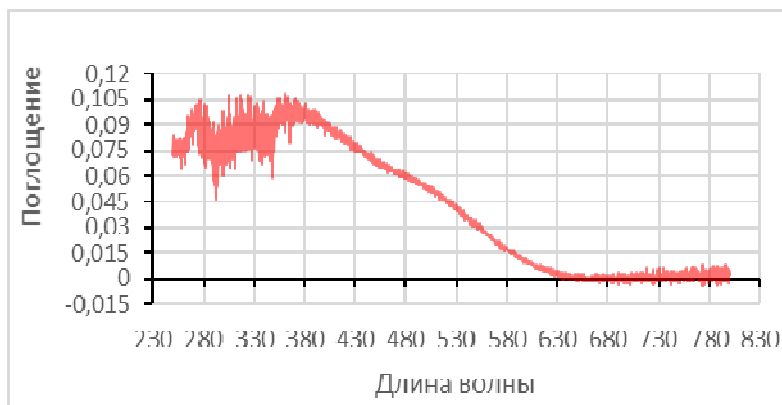


Рис. 4. Электронный спектр исследуемого композита (ZnO/Fe).

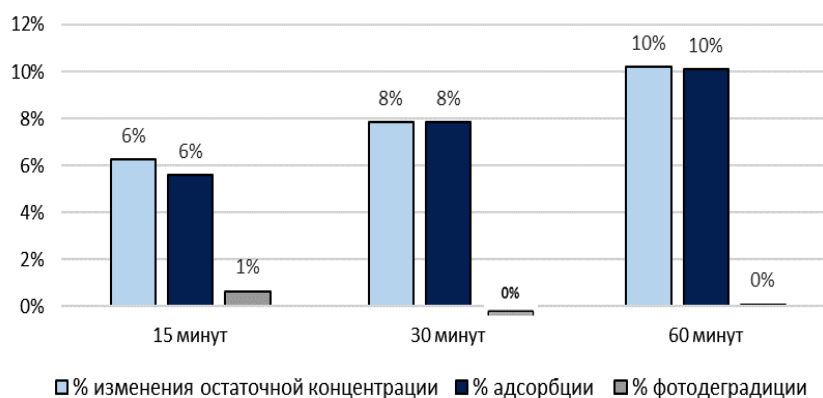


Рис. 5. Степень фотодегradации метилоранжа исходным ZnO при воздействии дневного света.

Оксид цинка, легированный ионами железа, обладает небольшой фотокаталитической активностью в области видимого света. Степень фотодегradации красителя составляет около четырёх процентов.

Исследование фотокаталитической активности материалов проводилось на основе модельных систем III, IV, VII и VIII в условиях облучения ультрафиолетовым излучением при разных длинах волн.

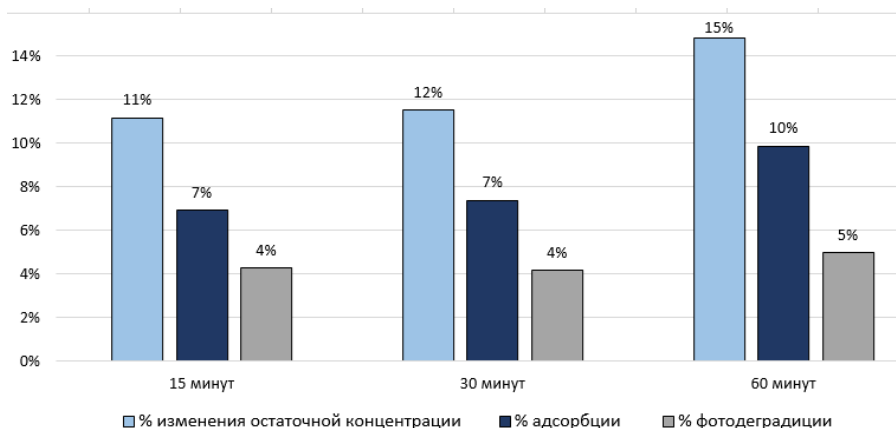


Рис. 6. Степень фотодегradации метилоранжа композитом ZnO/Fe при дневном свете.

В системе III разница в изменениях остаточных концентраций раствора метилоранжа составляет примерно 1% каждые 15 минут. Рис. 7 наглядно иллюстрирует что, скорость фотодегradации метилоранжа составляет не более 2 % за 60 минут.

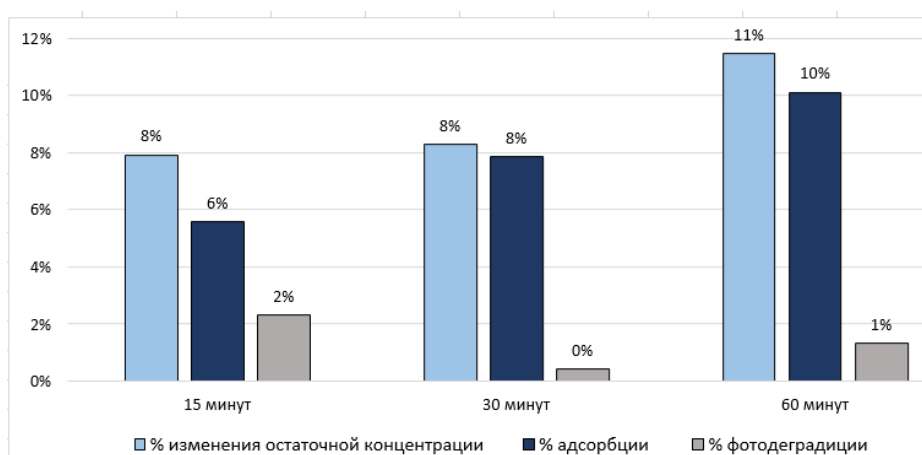


Рис. 7. Степень фотодегradации метилоранжа исходным ZnO при УФ-облучении $\lambda=365$ нм.

Для того чтобы сделать вывод о влиянии длины волны на эффективность фотокаталитического расщепления провели ряд химических опытов действие УФ облучение с длиной волны 254 нм (рис. 8).

При времени облучения систем до 30 минут различными длинами волн наблюдается практически одинаковый процент изменения конечной концентрации раствора красителя. В обоих случаях наибольшая степень активности приходится

на начальный момент времени. С течением времени при соотношении степени адсорбции метилоранжа и степени фотодегradации последняя заметно уступает. Из чего сделан вывод, что исходный химически чистый оксид цинка проявляет невысокую эффективность даже в УФ диапазоне.

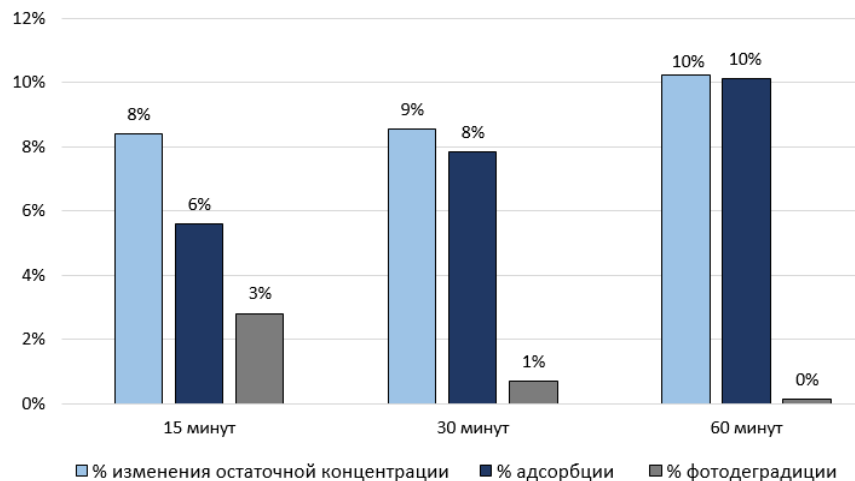


Рис. 8. Степень фотодегradации метилоранжа исходным ZnO при УФ-облучении $\lambda=254$ нм.

Композитный материал ZnO/Fe является почти в пять раз более эффективным фотокатализатором по сравнению с исходным веществом. При облучении длиной волны 365 нм расщепление метилоранжа происходит с эффективностью $\sim 4\%$ за 30 минут (рис. 9).

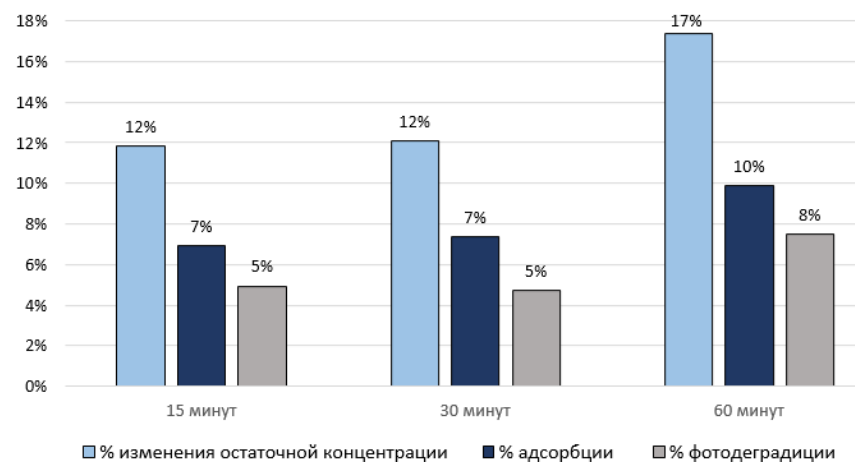


Рис. 9. Степень фотодегradации метилоранжа композитом ZnO/Fe при УФ-облучении $\lambda=365$ нм.

Анализ системы VIII, представленной на Рис. 10, показал, что с увеличением энергии поглощаемых фотонов скорость разложения красителя увеличилась. По прошествии получаса наблюдается увеличение степени разложения до 7 %.

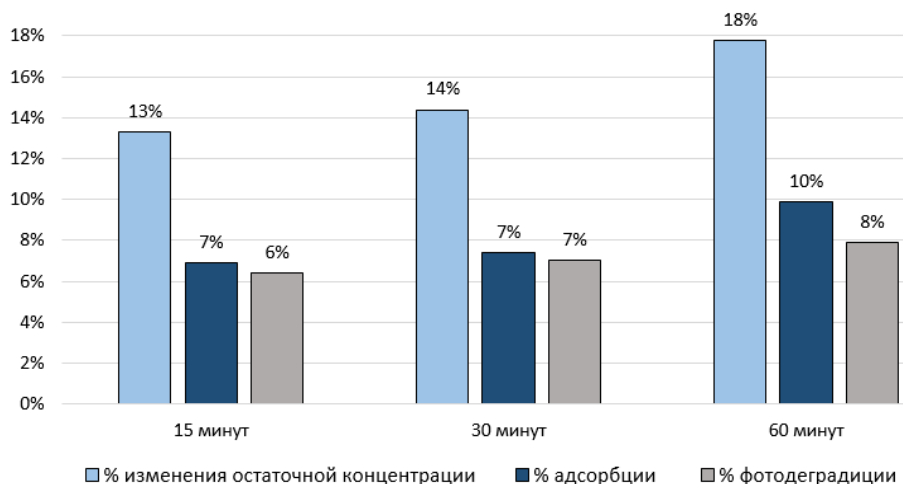


Рис. 10. Степень фотодегградации метилоранжа композитом ZnO/Fe при УФ-облучении $\lambda=254$ нм.

Сравнение исходного оксида цинка с допированным железом образцом показало, что при облучении УФ излучением с различными длинами волн эффективность фотокатализа полученного материала ZnO/Fe по всем показателям превосходит исходное вещество.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Установлено, что длительное ультразвуковое диспергирование в растворе соли железа(III) образца ZnO приводит к уменьшению размера частиц и не влияет на его адсорбционную способность.
2. Учтены и проанализированы вклады различных факторов, влияющих на степень очистки системы, включая адсорбцию, степень фотоактивности материалов при различных спектральных характеристиках облучения и времени его воздействия.
3. Показано, что гетероструктурный материал на основе оксида цинка, с легирующей добавкой в виде ионов железа (III) ZnO/Fe является активным фотокатализатором при воздействии света в диапазоне 250–630 нм и проявляет наибольшую фотокаталитическую активность в диапазоне 254–380 нм.

Список литературы

1. Viena N. M. Occurrence of Pharmaceuticals in River Water and Their Elimination in a Pilot-Scale Drinking Water Treatment Plant / N. M. Viena, H. Härkki, T. Tuhkanen, L. Kronberg // Environ. Sci. Technol. – 2007. – Vol. 41, № 14. – P. 5077-5084.

2. Чуаньси Я. Майцзинь Гуан Цуйхуа Дамэнь Цин Цун Чжэ Ши Пянь Цзуншу Кайши [Чтобы сделать шаг в мир фотокатализа, начните с этих десяти обзоров] [Электронный ресурс] / Я. Чуаньси // Cailiaoniu. – 2018. (На китайском языке) – Режим доступа: <http://www.cailiaoniu.com/142963.html>
3. Патент 103831093А КНР, МПК: 801J 23/06(2006.01), 801J 23/80 (2006.01), 002F 1/30 (2006.01). A kind of Zinc oxide-base composite photocatalyst nano material and preparation method thereof / Qiao R., Yin Q., Zhu L., Wu W., Li Mi., Tong G. (КНР); патентообладатель Hubei Wuhan Yongjia Patent Agency Co., Ltd. (КНР) – № 201410081116.2; заявл. 06.03.2014; опубликовано 06.04.2014. – 9 с.

CATALYTIC PROPERTIES OF ZINC OXIDE-BASED COMPOSITE MATERIALS

Vyatkina O. V.¹, Kopylets T. A.², Milyukova O. A.¹

¹V.I. Vernadsky Crimean Federal University, Simferopol, Crimea, Russian Federation

²Kazan (Volga region) Federal University, Kazan, Russian Federation

E-mail: oksana_vyatkina@list.ru

The article presents the results of a study comparing the morphology of particles, adsorption capacity, and photocatalytic efficiency of wide-bandgap semiconductors, using chemically pure zinc oxide and its iron(III) ion-modified heterostructures as examples. The material under investigation was obtained through ultrasonic dispersion of chemically pure zinc oxide in a solution of iron(III) salt. The metal oxide, in the form of a crystalline substance, contains a doping level of iron at 0.24 % by weight of the cationic component. The influence of particle size on the adsorption capacity of the material was investigated. The particle size of the initial zinc oxide was determined using sedimentation analysis. The study of photocatalytic activity was conducted based on model systems, where the degradable substance was the azo dye methyl orange, and the photoactive substrate was the ZnO/Fe heterostructured material. The unmodified zinc oxide served as a comparison sample. Natural and artificial radiation sources with various spectral characteristics ($\lambda=365$ nm, $\lambda=254$ nm) were used for photo-initiating the reaction.

Sedimentation analysis of the composite material allowed for the determination of the presence of micro-sized particles (10^{-6}). Additionally, laser diffraction studies showed that the modified ZnO/Fe material has a particle size nearly 18 times smaller than that of the initial ZnO. Prolonged ultrasonic dispersion of the ZnO sample in the iron(III) salt solution led to a reduction in particle size but did not affect its adsorption capacity. ultraviolet-visible spectroscopy revealed that the ZnO/Fe heterostructural material is an active photocatalyst when exposed to light in the range of 250–650 nm, exhibiting the highest photocatalytic activity in the range of 254–380 nm. It was found that the longer the system is exposed to radiation, the more effective the dye degradation process becomes. The maximum degree of photodegradation was achieved after one hour of exposure of the modified metal oxide and methyl orange system to radiation at $\lambda=254$ nm, with the parameter value reaching 18 % without accounting for adsorption.

Keywords: adsorption, zinc oxide, doping, photocatalysis.

References

1. Vieno N. M., Härkki H., Tuhkanen T. and Kronberg L. Occurrence of Pharmaceuticals in River Water and Their Elimination in a Pilot-Scale Drinking Water Treatment Plant, *Environ. Sci. Technol.*, **41**(14), 5077 (2007).
2. Chuanxi Y. Maijin guang cuihua damen, qing cong zhe shi pian zongshu kaishi [To enter the door of photocatalysis, please start with these ten reviews]. *Cailiaoniu*. 2018. (in Chinese) – available at: <http://www.cailiaoniu.com/142963.html>
3. Qiao R., Yin Q., Zhu L., Wu W., Li Mi. and Tong G. (2018). *A kind of Zinc oxide-base composite photocatalyst nano material and preparation method thereof*. Chinese Patent № CN103831093A. Hubei Wuhan Yongjia Patent Agency Co., Ltd., filed March 6, 2014, and issued April 6, 2014.

УДК 666.913.2

DOI 10.29039/2413-1725-2025-11-1-294-300

СКРИНИНГ ВОДОРАСТВОРИМЫХ ПРИРОДНЫХ И СИНТЕТИЧЕСКИХ ПОЛИМЕРНЫХ МАТЕРИАЛОВ, ВЛИЯЮЩИХ НА ПРОЦЕСС ОТВЕРЖДЕНИЯ ГИПСА

Гришковец В. И.¹, Яковишин Л. А.², Ткаченко Э. В.², Мельник В. М.¹

¹*Институт биохимических технологий, экологии и фармации ФГАОУ ВО «Крымский
федеральный университет им. В. И. Вернадского», Симферополь, Россия*

²*ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет», Севастополь, Россия
E-mail: vladgri@ukr.net*

Проведен скрининг ряда коммерчески доступных водорастворимых природных, полусинтетических и синтетических полимерных соединений в отношении влияния на процесс отверждения строительного гипса. Оценка ингибирующей активности проводилась для весовых концентраций 1 % и менее. Показано, что нейтральные природные полисахариды либо не обладают ингибирующей активностью, либо проявляют ее в незначительной степени (крахмал, агар-агар), тогда как кислые природные полисахариды (пектины) и, в особенности танин, биополимеры белковой природы (альбумины, казеин, глютины) обладают выраженной ингибирующей активностью. Нейтральные полимерные материалы на основе природных соединений (водорастворимый крахмал, декстран, фиколл) и слабоосновный хитозан совершенно не обладают ингибирующим действием, тогда как кислый полусинтетический полимер (карбоксиметилцеллюлоза) проявил выраженную ингибирующую активность. Полностью синтетические нейтральные водорастворимые полимеры (полиэтиленгликоль, поливиниловый спирт, поливинилпирролидон) не проявили ингибирующей активности.

Ключевые слова: вяжущие материалы, гипс, полисахариды, белки, полусинтетические и синтетические водорастворимые полимерные материалы.

ВВЕДЕНИЕ

Гипсовые вяжущие широко применяются в строительной и архитектурной областях [1–5]. Поэтому необходимость улучшения свойств гипсовой продукции, ее прочности, водостойкости, а также улучшения условий ее формования и обработки ставит задачи по разработке новых добавок при получении гипсовых вяжущих, что способствует производству дешевых, безопасных, качественных и долговечных материалов. В наших последних [6–8] и более ранних публикациях освещались вопросы влияния низкомолекулярных неорганических и органических соединений на процесс отверждения гипса. Целью настоящей работы явился скрининг ряда коммерчески доступных водорастворимых природных, полусинтетических и синтетических полимерных соединений в отношении влияния на процесс отверждения строительного гипса. Расширение ряда используемых ретардантных веществ и поиск новых соединений с подобными свойствами интересны не только с

практической точки зрения, но и с чисто научной, так как помогают глубже понять механизм замедляющего действия ретардантных добавок.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В работе использовались вещества: строительный гипс марки Г5, крахмал картофельный, крахмал кукурузный, камедь вишневая, камедь абрикосовая, пектин яблочный, пектин цитрусовый, альгинат натрия, агар-агар, альбумин яичный, альбумин бычий сывороточный, казеин, желатин пищевой, клей костный, танин медицинский, крахмал водорастворимый, декстран, фиколл, хитозан, карбоксиметилцеллюлоза, полиэтиленгликоль, поливиниловый спирт, поливинилпирролидон.

В ходе работы испытывали 1 % водные растворы вышеперечисленных соединений. Для соединений, дающих плотные гели (альгинат натрия, хитозан, пектины, агар-агар) использовали 0,2–0,5 % растворы. Для получения отвержденных гипсовых образцов брали навески гипса по 2,0 г, к которым добавляли по 1,3 мл исследуемых растворов каждого полимерного соединения. Смесь интенсивно перемешивали в ступке с помощью пестика в течение 10 с. Получившуюся гипсовую массу переносили на подложку и фиксировали время начала и окончания отверждения образца. Качественная оценка ингибирующего действия исследуемых соединений проводилась путем сравнения с временем отверждения гипса Г5 в дистиллированной воде (7 мин для начала отверждения и 30 мин для окончания). Момент помутнения глянцевого покрытия гипсовой смеси отмечали как начало процесса отверждения. Время окончательного отверждения определялось в момент, когда образец при надавливании и легком ударе стеклянной палочкой перестает деформироваться и издает характерный «стеклянный» звук. Увеличение времени начала отверждения в 2–3 раза (до 20 мин) в сравнении с дистиллированной водой качественно оценивалось как средняя активность «+», увеличение времени начала отверждения более чем в 4 раза в сравнении с водой оценивалось как высокая активность «+ +». Аналогично оценивалась и замедляющая активность в отношении окончания процесса отверждения. Отсутствие заметного замедления (менее 1,5 раз в сравнении с дистиллированной водой) оценивалось как «–», а ускорение отверждения – как «– –».

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Поскольку в наших предыдущих публикациях исследовалось влияние лишь низкомолекулярных неорганических и органических соединений на процесс отверждения гипса [6–8], то целью настоящей работы явился поиск новых соединений с ретардантной активностью, а именно скрининг ряда коммерчески доступных водорастворимых природных, полусинтетических и синтетических полимерных соединений в отношении влияния на процесс отверждения строительного гипса. Были исследованы крахмал картофельный, крахмал кукурузный, камедь вишневая, камедь абрикосовая, пектин яблочный, пектин цитрусовый, альгинат натрия, агар-агар, альбумин яичный, альбумин бычий

сывороточный, казеин, желатин пищевой, клей костный, танин медицинский, крахмал водорастворимый, декстран, фиколл, хитозан, карбоксиметилцеллюлоза, полиэтиленгликоль, поливиниловый спирт и поливинилпирролидон. В первую группу вошли чисто природные водорастворимые полимерные материалы (табл. 1), во вторую – модифицированные природные и полностью синтетические водорастворимые полимеры (табл. 2).

Таблица 1

**Ингибирующее действие природных полимерных соединений
на процесс отверждения гипса**

Соединение	Ингибирующая активность
Крахмал картофельный	+
Крахмал кукурузный	+
Камедь вишневая	–
Камедь абрикосовая	–
Пектин яблочный	+
Пектин цитрусовый	+
Альгинат натрия	+
Агар-агар	+
Альбумин яичный	++
Альбумин бычий сывороточный	++
Казеин	++
Желатин	++
Клей костный (глютиновый)	++
Танин	++

Примечание: средняя активность «+», высокая активность «++», отсутствие активности «–».

Таблица 2

**Ингибирующее действие модифицированных природных и синтетических
полимерных соединений на процесс отверждения гипса**

Соединение	Активность
Крахмал водорастворимый	–
Декстран	–
Фиколл	–
Хитозан	– –
Карбоксиметилцеллюлоза	++
Полиэтиленгликоль	–
Поливиниловый спирт	–
Поливинилпирролидон	–

Примечание: средняя активность «+», высокая активность «++», отсутствие активности «–», ускорение отверждения «– –».

Анализ полученных результатов показал, что нейтральные природные полисахариды либо не обладают ингибирующей активностью, либо проявляют ее в незначительной степени (крахмал, агар-агар), тогда как кислые природные полисахариды (пектины), содержащие остатки уроновых кислот (D-галактуриновой, D-маннуриновой и L-гулуриновой), проявили средне выраженную ретардантную активность. Танин медицинский, представляющий собой гидролизующийся галлотанин с остатками глюкозы и ароматической фенолкарбоновой галловой кислоты, показал высокую ретардантную активность. Биополимеры белковой природы (альбумины, казеин, глютины) также показали высокую ингибирующую активность.

Нейтральные полимерные материалы на основе природных соединений (водорастворимый крахмал, декстран, фикоил) совершенно не обладают ингибирующим действием, а слабоосновный хитозан проявил даже ускоряющее действие на процесс отверждения гипса. Единственный исследованный кислый полусинтетический полимер (карбоксиметилцеллюлоза) проявил ярко выраженную ингибирующую активность. Полностью синтетические нейтральные водорастворимые полимеры (полиэтиленгликоль, поливиниловый спирт, поливинилпирролидон) не проявили ингибирующей активности.

Очевидно, что для проявления ретардантной активности природные или полусинтетические полимерные соединения должны обладать кислыми группами – карбоксильными группами в остатках уроновых кислот пектинов и альгинатов, карбоксильными группами в остатках галловой кислоты танина, карбоксильными или амидными группами в остатках аминокислот природных белковых соединений, карбометоксильными в случае карбоксиметилцеллюлозы.

Широко распространенной точкой зрения на механизм ингибирующего действия полимерных соединений является якобы их способность к образованию коллоидных растворов, которые затрудняют образование и рост зародышевых кристаллов двуводного гипса $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ [1–5]. Однако можно высказать предположение, что существенную роль играет не сам факт образования коллоидных растворов и коллоидных мицелл (что свойственно всем исследованным полимерным соединениям), а именно специфическая сорбция кислотных фрагментов полимеров на поверхности зародышевых и растущих кристаллов двуводного сульфата кальция $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$. Этот вопрос детально обсужден нами в статье [6] при сравнении ингибирующего действия солей лимонной, яблочной и этилендиаминтетрауксусной кислот. В этой же работе показано, что комплексообразование с ионами кальция в затворяющем растворе не является, как считалось ранее, существенным, так как совершенно не прослеживается связи с константами устойчивости кальциевых солей этих соединений и их ретардантным действием. В случае танинов, пектинов, альгинатов, карбоксиметилцеллюлозы, к сожалению, нет надежных данных по константам устойчивости кальциевых комплексов, чтобы высказать суждение о роли комплексообразования в механизме ретардантного действия.

С практической точки зрения из исследованного ряда соединений интересны белковые биополимеры (альбумины, казеины, глютиновые клеи), танин и

карбоксиметилцеллюлоза ввиду их дешевизны, доступности и высокой ретардантной активности.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Проведен скрининг ряда коммерчески доступных водорастворимых природных, полусинтетических и синтетических полимерных соединений в отношении влияния на процесс отверждения строительного гипса.
2. Показано, что нейтральные природные полусинтетические полисахариды (растворимый крахмал, декстран, фиколл) и синтетические полимеры (полиэтиленгликоль, поливиниловый спирт, поливинилпирролидон) либо не обладают ингибирующей активностью, либо проявляют ее в незначительной степени (крахмал, агар-агар).
3. Установлено, что кислые природные полисахариды (пектины), и особенно танин и биополимеры белковой природы (альбумины, казеин, глютины) обладают выраженной ингибирующей активностью.
4. С практической точки зрения из исследованного ряда соединений интересны белковые биополимеры (альбумины, казеины, глютиновые клеи), танин и карбоксиметилцеллюлоза ввиду их дешевизны, доступности и высокой ретардантной активности.

Список литературы

1. Бутт Ю. М. Химическая технология вяжущих материалов: учебник для вузов / Ю. М. Бутт, М. М. Сычев, В. В. Тимашев. – М.: Высшая школа, 1980. – 472 с.
2. Попов К. Н. Строительные материалы и изделия: учебник для вузов / К. Н. Попов, М. Б. Каддо. – М.: Высшая школа, 2005. – 438 с.
3. Пашенко А. А. Вяжущие материалы / А. А. Пашенко, В. П. Сербин, Е. А. Старчевская – Киев: Вища школа, 1985. – 440 с.
4. Байер В. Е. Архитектурное материаловедение / В. Е. Байер. – М.: Архитектура С, 2006. – 264 с.
5. Сулименко Л. М. Технология минеральных вяжущих материалов и изделий на их основе: учебник для вузов / Л. М. Сулименко. – М.: Высшая школа, 2005. – 334 с.
6. Гришковец В. И. Влияние литиевых, натриевых и калиевых солей яблочной кислоты на процесс отверждения гипса / В. И. Гришковец, Л. А. Яковишин, Е. Н. Корж [и др.] // Ученые записки Крымского федерального университета имени В. И. Вернадского. Биология. Химия. – 2024. – Т. 10 (76), № 4. – С. 265–273.
7. Гришковец В. И. Влияние натриевых солей этилендиаминтетрауксусной кислоты на процесс отверждения гипса / В. И. Гришковец, В. М. Мельник, Л. А. Яковишин [и др.] // Ученые записки Крымского федерального университета имени В. И. Вернадского. Биология. Химия. – 2024. – Т. 10 (76), № 3. – С. 315–322.
8. Гришковец В. И. Влияние тетраборатов лития и калия на процесс отверждения гипса / В. И. Гришковец, Л. А. Яковишин, Е. Н. Корж // Ученые записки Крымского федерального университета имени В. И. Вернадского. Биология. Химия. – 2023. – Т. 9 (75), № 4. – С. 271–275.

SCREENING OF WATER-SOLUBLE NATURAL AND SYNTHETIC POLYMER MATERIALS AFFECTING ON THE GYPSUM CURING PROCESS

*Grishkovets V. I.¹, Yakovishin L. A.², Tkachenko E. V.², Melnik V. M.¹*¹*V. I. Vernadsky Crimean Federal University, Simferopol, Crimea Republic, Russia*²*Sevastopol State University, Sevastopol, Russia**E-mail: vladgri@ukr.net*

The purpose of this work was to screen a number of commercially available water-soluble natural, semi-synthetic and synthetic polymer compounds for their effect on the curing process of building gypsum. Potato starch, corn starch, cherry gum, apricot gum, apple pectin, citrus pectin, sodium alginate, agar-agar, egg albumin, bovine whey albumin, casein, food gelatin, bone glue, medical tannin, water-soluble starch, dextran, ficol, chitosan, carboxymethylcellulose, polyethylene glycol, polyvinyl alcohol, polyvinylpyrrolidone.

Analysis of the results showed that neutral natural polysaccharides either do not have inhibitory activity or exhibit it to a small extent (starch, agar-agar), whereas acidic natural polysaccharides (pectins) containing residues of uronic acids (D-galacturonic, D-mannuronic and L-guluronic) showed moderate retardation activity. Medical tannin, which is a hydrolyzable gallotanin with glucose residues and aromatic phenolcarboxylic gallic acid, showed high antioxidant activity. Biopolymers of protein nature (albumins, casein, gluten) also showed high inhibitory activity.

Neutral semi-synthetic polymer materials based on natural compounds (water-soluble starch, dextran, ficoll) have absolutely no inhibitory effect, and semi-synthetic weakly basic chitosan has even shown an accelerating effect on the gypsum curing process. The only acidic semi-synthetic polymer studied (carboxymethylcellulose) showed pronounced inhibitory activity. Fully synthetic neutral water-soluble polymers (polyethylene glycol, polyvinyl alcohol, polyvinylpyrrolidone) showed no inhibitory activity.

Obviously, for the manifestation of antioxidant activity, natural or semi-synthetic polymer compounds must have acidic groups – carboxyl groups in the residues of uronic acids of pectins and alginates, carboxyl groups in the residues of gallic acid of tannin, carboxyl or amide groups in the residues of amino acids of natural protein compounds, carbomethoxyl in the case of carboxymethyl cellulose.

From a practical point of view, protein biopolymers (albumins, caseins, glutinic adhesives), tannin, and carboxymethylcellulose are interesting from the studied range of compounds due to their cheapness, accessibility, and high antioxidant activity.

Keywords: binder materials, gypsum, polysaccharides, proteins, semi-synthetic and synthetic water-soluble polymer materials.

References

1. Butt Yu. M., Sychev M. M., Tamashev V. V., *Chemical technology of knitting materials: the textbook for high schools*, 472 p. (High school, Moscow, 1980). (In Russ.).
2. Popov K. N., Kaddo M. B., *Building materials and products: a textbook for high schools*, 438 p. (High school, Moscow, 2005). (In Russ.).

3. Paschenko A. A., Serbin V. P., Starchevskaya E. A., *Cementing materials*, 440 p. (High school, Kiev, 1985). (In Russ.).
4. Bayer V. E., *Architectural Materials*, 264 p. (Architecture, Moscow, 2006). (In Russ.).
5. Sulimenko L. M., *The technology of mineral binding materials and products based on them: a textbook for high schools*, 334 p. (High school, Moscow, 2005). (In Russ.).
6. Grishkovets V. I., Yakovishin L. A., Korzh E. H., Chistotin D. I., Influence of lithium, sodium and potassium salts of malic acid on gypsum curing process, *Scientific Notes of Crimean V. I. Vernadsky Federal University. Biology. Chemistry*, **10 (4)**, 265 (2024). (in Russ.).
7. Grishkovets V. I., Melnik V. M., Yakovishin L. A., Korzh E. N., Effect of ethylenediaminetetraacetic acid sodium salts to the process of gypsum curing, *Scientific Notes of Crimean V. I. Vernadsky Federal University. Biology. Chemistry*, **10 (3)**, 315 (2024). (in Russ.).
8. Grishkovets V. I., Yakovishin L. A., Korzh E. N., The effect of lithium and potassium tetraborates on the gypsum curing process, *Scientific Notes of Crimean V. I. Vernadsky Federal University. Biology. Chemistry*, **9 (4)**, 271 (2023). (in Russ.).

УДК 547.918:543.42:615.074

DOI 10.29039/2413-1725-2025-11-1-301-309

КООРДИНАЦИОННЫЕ СОЕДИНЕНИЯ БРОМИДА И ИОДИДА МЕДИ(I) С 3-ПИРИДИН-4-ИЛ-5-(4-ХЛОРФЕНИЛ)-1H-1,2,4-ТРИАЗОЛОМ

Захаров К. С., Гусев А. Н., Брага Е. В.

*Институт биохимических технологий, экологии и фармации (структурное подразделение)
ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет им. В. И. Вернадского», Симферополь,
Республика Крым, Россия
E-mail: kostya.zakharov002@mail.ru*

Методом рентгеноструктурного анализа были установлены кристаллические структуры координационных соединений бромид и иодида меди(I) с трифенилфосфином и 3-пиридин-4-ил-5-(4-хлорфенил)-1H-1,2,4-триазолом. Бромид меди(I) образует мооядерный комплекс моноклинной сингонии в пространственной группе $P2_1/n$, в то время как иодид меди(I) – биядерный комплекс триклинной сингонии с плоским ядром ромбической формы Cu_2I_2 в пространственной группе $P\bar{1}$.

Ключевые слова: мооядерные комплексы, биядерные комплексы, координационные соединения меди(I), триазолы, рентгеноструктурный анализ, кристаллическая структура, TADF.

ВВЕДЕНИЕ

Люминесцентные комплексы Cu(I) в последнее время привлекают все больше внимания исследователей как перспективные излучатели, благодаря структурно настраиваемым фотофизическим свойствам [1–3]. Обычно производные Cu(I) обладают долгоживущей фосфоресценцией за счет переноса заряда металл-лиганд (Metal to Ligand Charge-Transfer или MLCT) и/или внутрелигандных переходов [4, 5]. В то же время эти комплексы могут проявлять термически активированную замедленную флуоресценцию (Thermally Activated Delayed Fluorescence или TADF), что позволяет достичь 100 % внутренней квантовой эффективности [6]. До недавнего времени большинство примеров реализации TADF-механизма было обнаружено для соединений платиновых металлов, стоимость и распространенность которых не позволяет широко внедрять в производство устройства на их основе [7–9].

Из литературных данных известно, что TADF люминесцентные комплексы Cu(I) условно можно разделить на два основных класса: мооядерные и многоядерные комплексы, причем вторых гораздо больше [6]. Мооядерные TADF-люминесцентные комплексы Cu(I) включают преимущественно катионные и нейтральные тетракоординированные соединения, в основном принадлежащие к типам $[Cu(N^{\wedge}N)_2]$ и $[Cu(N^{\wedge}N)(P^{\wedge}P)]$. Однако в 2011 году Хитоми Охара предложил довольно простые мооядерные комплексы Cu(I)-галогенидов, $[CuX(PPh_3)_2(L)]$ (X=галогенид-ион, PPh_3 =трифенилфосфин, L=N-гетероароматический лиганд) демонстрирующих чрезвычайно интенсивную люминесценцию, реализуемую по

TADF механизму [10, 11]. Используя данный подход, в настоящей работе был выбран 3-пиридин-4-ил-5-(4-хлорфенил)-1*H*-1,2,4-триазол в качестве N-гетероциклического лиганда для создания новых представителей мооядерных TADF – люминофоров меди(I) [12–15].

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Все реагенты и растворители коммерчески доступны и использовались без дополнительной очистки: 4-цианопиридин, гидразид 4-хлорбензойной кислоты, метиловый спирт, уксусная кислота, металлический натрий, этиленгликоль, хлороформ, трифенилфосфин, CuBr и CuI (Sigma-Aldrich).

Получение 3-пиридин-4-ил-5-(4-хлорфенил)-1H-1,2,4-триазола (L). Синтез лиганда осуществлялся в два этапа согласно методам описанных в литературе (рис. 1) [12–13].

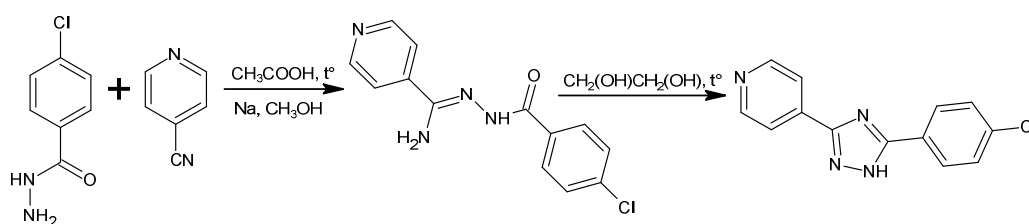


Рис. 1. Схема синтеза 3-пиридин-4-ил-5-(4-хлорфенил)-1*H*-1,2,4-триазола.

Получение $[\text{CuBr}(\text{PPh}_3)_2(\text{L})]$ (комплекс 1). Смесь CuBr (0,144 г, 1 ммоль), PPh_3 (0,262 г, 1 ммоль) и L (0,257 г, 1 ммоль) растворяли в 30 мл $\text{CH}_3\text{OH}/\text{CHCl}_3$ (1:1) при нагревании. Перемешивание продолжали в течение 2 ч, не растворившуюся твердую фракцию отфильтровывали. На следующий день из фильтрата начали образовываться желтые призматические кристаллы, пригодные для рентгеноструктурного анализа монокристаллов, которые собирали фильтрованием.

Получение $[\text{Cu}_2\text{I}_2(\text{PPh}_3)_2(\text{L})_2]$ (комплекс 2). Смесь CuI (0,191 г, 1 ммоль), PPh_3 (0,262 г, 1 ммоль) и L (0,257 г, 1 ммоль) растворяли в 30 мл $\text{CH}_3\text{OH}/\text{CHCl}_3$ (1:1) при нагревании. Перемешивание продолжали в течение 2 ч, не растворившуюся твердую фракцию отфильтровывали. На следующий день из фильтрата начали образовываться желтые призматические кристаллы, которые собирали фильтрованием.

Рентгеноструктурный анализ был выполнен на дифрактометре Bruker Smart APEX II при температуре 100 К в Институте общей и неорганической химии имени Н. С. Курнакова РАН. Эмпирические поправки на поглощение были применены для обоих комплексов с использованием программы SADABS. Структуры были решены в программе OLEX2 с использованием метода Intrinsic Phasing и уточнены с помощью SHELXL полноматричным методом наименьших квадратов по F² с анизотропными термическими параметрами для всех неводородных атомов [16].

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

В результате синтеза координационных соединений были получены желтые призматические монокристаллы методом медленного упаривания маточного раствора пригодные для анализа методом рентгеновской кристаллографии. Кристаллы обоих соединений выветриваются при хранении на воздухе, умеренно растворимы в полярных и малополярных растворителях, таких как ацетонитрил, метанол и хлороформ, значительно хуже растворяются в бензоле и других неполярных растворителях.

Рентгеноструктурным анализом были определены пространственные структуры синтезированных координационных соединений. Основные кристаллографические данные представлены в таблице 1.

Таблица 1

Кристаллографические данные синтезированных координационных соединений меди(I)

Параметры	Комплекс 1 [CuBr(PPh ₃) ₂ (L)]	Комплекс 2 [Cu ₂ I ₂ (PPh ₃) ₂ (L) ₂]
Брутто-формула	C ₄₉ H ₃₉ BrClCuN ₄ P ₂	C ₆₂ H ₄₈ Cl ₂ Cu ₂ I ₂ N ₈ P ₂
M _r	924.68	1418.88
Кристаллическая решетка	Моноклинная	Триклинная
Пространственная группа	P2 ₁ /n	P $\bar{1}$
Температура (K)	100	100
a (Å)	11.576(4)	11.1474(7)
b (Å)	22.327(8)	12.4142(8)
c (Å)	16.759(6)	12.7807(9)
α (°)	90	107.727(2)
β (°)	103.322(8)	113.258(2)
γ (°)	90	101.795(2)
V (Å ³)	4215(3)	1437.34
Z	4	1
μ (mm ⁻¹)	1.646	2.010
Crystal size (mm)	0.5 × 0.19 × 0.05	0.18 × 0.16 × 0.1
T _{min} , T _{max}	0.516, 0.747	0.557, 0.747
Количество измеренных, независимых и наблюдаемых [I > 2σ(I)] отражений	40909, 10430, 7447	15850, 7084, 5912
R _{int}	0.0762	0.0445
R[F ² > 2 σ (F ²)]	0.0679	0.0378
wR(F ²)	0.1687	0.0868
S	1.025	1.037
Количество параметров	523	352
$\Delta\rho_{\max}, \Delta\rho_{\min}$ (e Å ⁻³)	0.93, -0.83	1.10, -0.72

Комплекс 1 кристаллизуется в моноклинной пространственной группе $P2_1/n$ и имеет мооядерную структуру (рис. 2). Атом Cu находится в тетраэдрическом окружении, состоящем из атома Br, двух атомов P из PPh_3 и атома N пиридиньного кольца моодентантного лиганда L. Все лиганды терминальные. Расстояния Cu–Br и Cu–N составляют 2,540 и 2,079 Å соответственно. Длины связи Cu–P различаются: 2,271 и 2,277 Å. Валентные углы вокруг центра Cu лежат в диапазоне от $100,2(1)^\circ$ до $116,2(5)^\circ$, что может быть следствием стерических затруднений между лигандами. Геометрия координационного окружения атома меди является искаженной тетраэдрической ($\tau_4 = 0,91$) [17]. Триазольный лиганд немного скручен: торсионные углы между ароматическими кольцами и центральным триазольным кольцом составляют $1,0(8)^\circ$ и $11,4(7)^\circ$.

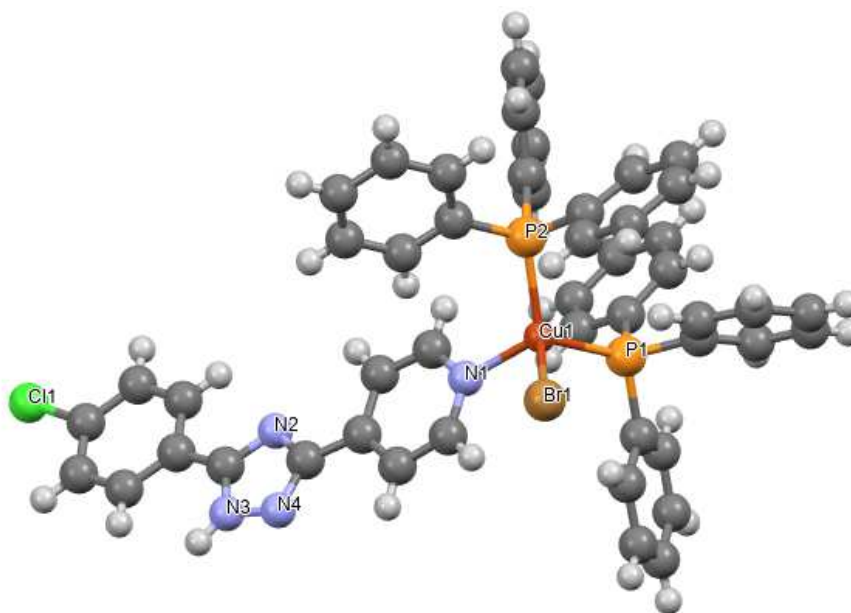


Рис. 2. Молекулярная структура комплекса 1.

Для комплекса 1 также наблюдаются межмолекулярные контакты $C \cdots Cl$ и $C-H \cdots Cl$. Атом хлора, расположенный в лиганде L, образует галогенную связь с атомом углерода пиридиньного кольца N-гетероциклического лиганда и связь с атомом водорода в бензольном кольце трифенилфосфина, а также еще одну связь с атомом водорода пиридиньного кольца N-гетероциклического лиганда, но уже другой молекулы (рис. 3). Координированный бромид-ион образует две межмолекулярные связи: с NH-группой триазола и с атомом водорода в бензольном кольце N-гетероциклического лиганда соседней молекулы.

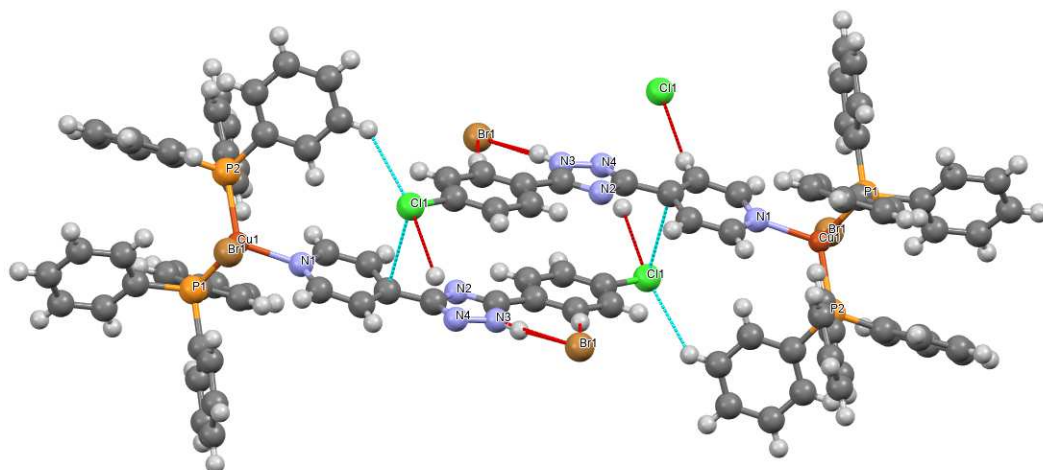


Рис. 3. Молекулярная упаковка комплекса 1.

Комплекс 2 кристаллизуется в триклинной пространственной группе $P\bar{1}$. В отличие от 1 комплекса, имеет биядерную структуру с плоским ядром ромбической формы Cu_2I_2 ($\text{Cu}\cdots\text{Cu}$ 2,895 Å, $\text{I}\cdots\text{I}$ 4,501 Å), имеющим кристаллографический центр инверсии в центре димерного кольца (рис. 4). Каждый центр Cu находится в тетраэдрическом координационном окружении, состоящем из двух мостиковых атомов I, одного атома P из PPh_3 и атома N пиридиньного кольца монодентатного лиганда L. Расстояния Cu–I лежат в диапазоне 2,657 – 2,695 Å. Длина связи Cu–N составляет 2,054 Å, для Cu–P 2,236 Å, что согласуется с полученными нами ранее данными для аналогичных димерных комплексов [17–18]. Расстояние $\text{Cu}\cdots\text{Cu}$ в димере длиннее по сравнению с суммой радиусов Ван-дер-Ваальса Cu (2,80 Å), что предполагает отсутствие купрофильного связывающего взаимодействия. Углы вокруг центров Cu варьируются от $101,46(8)^\circ$ до $114,50(2)^\circ$, что аналогично 1 комплексу указывает на наличие стерических затруднений между лигандами в молекуле. Геометрия координационного окружения атома меди также является искаженной тетраэдрической ($\tau_4=0,94$). Триазольный лиганд уже заметно скручен: торсионные углы между ароматическими кольцами и центральным триазольным кольцом составляют $4,1(6)^\circ$ и $25,0(6)^\circ$.

Для комплекса 2 наблюдаются межмолекулярные контакты $\text{C}\cdots\text{Cl}$. Атом хлора, расположенный в лиганде L, образует галогенную связь с двумя атомами углерода бензольного кольца трифенилфосфина (рис. 5). Координированный иодид-ион образует связь с NH-группой триазола соседней молекулы.

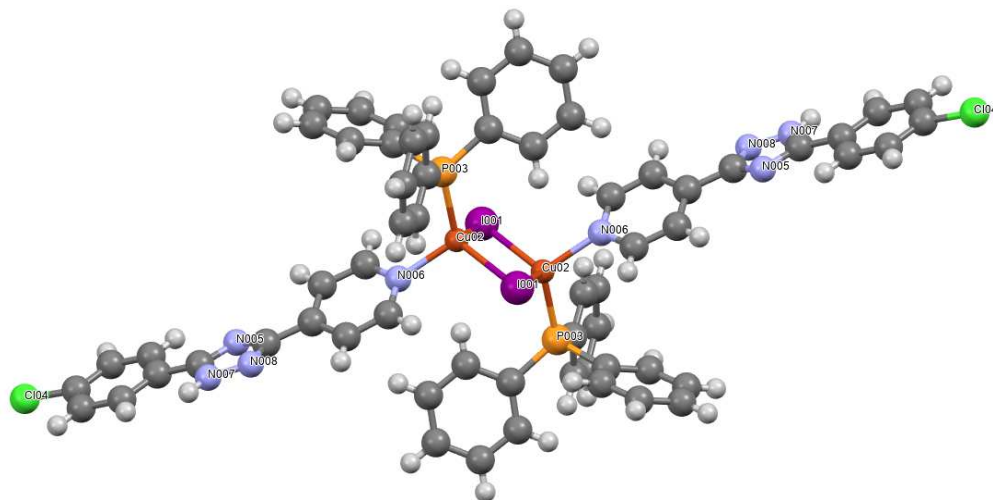


Рис. 4. Молекулярная структура комплекса 2.

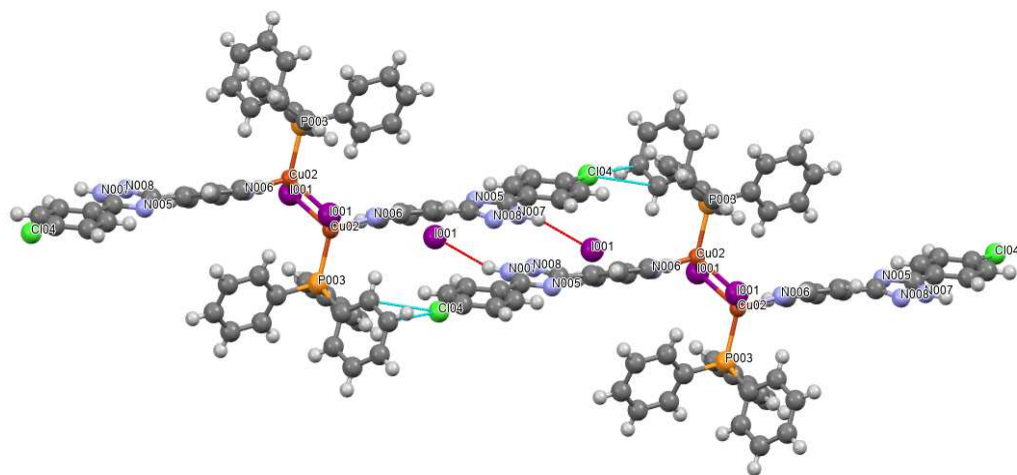


Рис. 5. Молекулярная упаковка комплекса 2.

Таким образом, в ходе проведенного исследования было установлено, что природа галогенид-аниона в исходной соли меди(I) является ключевым фактором, определяющим строение комплексов с 3-пиридин-4-ил-5-(4-хлорфенил)-1*H*-1,2,4-триазолом: в случае бромид-аниона образуется мооядерный комплекс, а для иодид-аниона – биядерный. Полученные результаты расширяют возможности целенаправленного синтеза комплексов с заданным строением.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Исследованы кристаллические структуры двух новых координационных соединений меди(I) методом рентгеноструктурного анализа.
2. Координационные соединения имеют принципиально разное строение, несмотря на различие только в ионе галогена.
3. Комплекс $[\text{CuBr}(\text{PPh}_3)_2(\text{L})]$ кристаллизуется в моноклинной пространственной группе $\text{P}2_1/\text{n}$ и имеет моноядерную структуру.
4. Комплекс $[\text{Cu}_2\text{I}_2(\text{PPh}_3)_2(\text{L})_2]$ кристаллизуется в триклинной пространственной группе $\text{P}\bar{1}$, имеет биядерную структуру с плоским ядром ромбической формы Cu_2I_2 .

Список литературы

1. Yang X. Recent advances in the design of afterglow materials: Mechanisms, structural regulation strategies and applications / X. Yang, G. I. N. Waterhouse, S. Lu, J. Yu // *Chem. Soc. Rev.* – 2023. – Vol. 52. – P. 8005–8058.
2. Tsuge K. Luminescent copper (I) complexes with halogenido-bridged dimeric core / K. Tsuge, Y. Chishina, H. Hashiguchi, Y. Sasaki, M. Kato, S. Ishizaka, N. Kitamura // *Coord. Chem. Rev.* – 2016. – Vol. 306. – P. 636–651.
3. Mensah A. Recent progress in luminescent Cu(I) halide complexes: A mini-review / A. Mensah, J. J. Shao, J. L. Ni, G. J. Li, F. M. Wang, L. Z. Chen // *Front. Chem.* – 2022. – P. 816363–816370.
4. Armaroli N. Photoactive mono-and polynuclear Cu(I)–phenanthrolines. A viable alternative to Ru (II)–polypyridines? / N. Armaroli // *Chem. Soc. Rev.* – 2001. – Vol. 30. – P. 113–124.
5. Ruthkosky M. Electron and energy transfer from CuI MLCT excited states / M. Ruthkosky, C. A. Kelly, F. N. Castellano, G. J. Meyer // *Coord. Chem. Rev.* – 1998. – Vol. 171. – P. 309–322.
6. Housecroft C. E. TADF: Enabling luminescent copper (I) coordination compounds for light-emitting electrochemical cells, / C. E. Housecroft, E. C. Constable // *J. Mater. Chem.* – 2022. – C. 10. – P. 4456–4482.
7. Amouri H. Luminescent complexes of platinum, iridium, and coinage metals containing N-heterocyclic carbene ligands: Design, structural diversity, and photophysical properties / H. Amouri // *Chem. Rev.* – 2023. – Vol. 123. – P. 230–270.
8. Alsaedi M. S. Insight into luminescent iridium complexes: Their potential in lightemitting electrochemical cells / M. S. Alsaedi // *J. Saudi Chem. Soc.* – 2022. – P. 101442–101484.
9. Liu Z. Luminescent iridium complexes and their applications / Z. Liu, Z. Bian, C. Huang // *Mol. Organomet. Mater. Opt.* – 2010. – P. 113–142.
10. Ohara H. Simple and extremely efficient blue emitters based on mononuclear Cu(I)-halide complexes with delayed fluorescence / H. Ohara, A. Kobayashi, M. Kato // *Dalton Trans.* – 2014. – Vol. 43. – P. 17317–17323.
11. Ohara H. Effects of N-heteroaromatic ligands on highly luminescent mononuclear copper (I)-halide complexes / H. Ohara, A. Kobayashi, M. Kato // *Comptes Rendus Chimie* – 2015. – Vol. 18. – P. 766–775.
12. Gusev A. Structure and excitationdependent emission of novel zinc complexes with pyridyltriazoles / A. Gusev, E. Braga, E. Zamnius, M. Kiskin, M. Kryukova, A. Baryshnikova, B. Minaev, G. Baryshnikov, H. Ågren, W. Linert // *RSC Adv.* – 2019. – P. 22143–22152.
13. Gusev A. Structure and tuneable luminescence in polymeric zinc compounds based on 3-(3-pyridyl)-5-(4-pyridyl)-1,2,4-triazole / A. Gusev, E. Braga, Y. Baluda, M. Kiskin, M. Kryukova, N. Karaush-Karmazin, G. Baryshnikov, A. Kuklin, B. Minaev, H. Ågren, // *Polyhedron* – 2020. – Vol. 191. – P. 114768–114776.
14. Gusev A. N. Zinc(II) complexes of 3,5-bis(4-pyridyl)-1H-1,2,4-triazole: Synthesis, the role of counter-anions in the formation of a type of crystal structure, and luminescence properties / A. N. Gusev, E. V. Braga, E. A. Zamnius, I. A. Nauhatskiy, M. A. Kryukova, M. A. Kiskin, E. V. Alexandrov, A. V. Sokolov, W. Linert // *Polyhedron.* – 2023. – Vol. 243. – P. 116573–116581.

15. Gusev A. Structure and emission properties of dinuclear copper (I) complexes with pyridyltriazole / A. Gusev, M. Kiskin, E. Braga, E. Zamnius, M. Kryukova, N. Karaush-Karmazin, G. Baryshnikov, B. Minaev, W. Linert // RSC Adv. – 2023. – Vol. 13. – P. 3899–3909.
16. Гуржий В. В. Расшифровка кристаллических структур в программном комплексе OLEX2 / В. В. Гуржий, А. А. Золотарев. – СПб.: Издательство Санкт-Петербургского университета, 2017. – 80 с.
17. Gusev A. 0D and 1D-dimensional Cu(I)-based halides pyridyltriazoles basis: Synthesis, Structures, and photophysical properties/ A. Gusev, E. Braga, E. Zamnius, K. Zakharov, M. Kiskin, W. Linert // Inorganica Chimica Acta. – 2024. – Vol. 568. – P. 122077–122084.
18. Брага Е. В. Биядерные и полимерные комплексы меди(I): синтез, структура и фотолюминесцентные свойства / Е. В. Брага, А. Н. Гусев, К. М. Мамонтов, К. С. Захаров // XX Международная конференция «Спектрометрия координационных соединений»: тезисы докладов. – Краснодар, 2024. – С. 10.

COORDINATION COMPOUNDS OF COPPER(I) BROMIDE AND IODIDE WITH 3-PYRIDINE-4-YL-5-(4-CHLOROPHENYL)-1H-1,2,4-TRIAZOLE

Zakharov K. S., Gusev A. N., Braga E. V.

*Institute of biochemical technologies, ecology and pharmacy CFU by the name of V. I. Vernadsky,
Simferopol, Russia
E-mail: kostya.zakharov002@mail.ru*

Luminescent Cu(I) complexes have recently attracted increasing attention from researchers as promising environmentally friendly emitters due to their structurally tunable photophysical properties. Typically, Cu(I) derivatives exhibit long-lived phosphorescence due to metal-ligand charge transfer (MLCT) and/or intraligand transitions. At the same time, these complexes can exhibit thermally activated delayed fluorescence (TADF), which allows achieving 100 % internal quantum efficiency. Until recently, most examples of the TADF mechanism were found for platinum metal compounds, the cost and prevalence of which do not allow for the widespread introduction of devices based on them into production. It is known from the literature that TADF luminescent Cu(I) complexes can be conditionally divided into two main classes: mononuclear and polynuclear complexes, with the latter being much more numerous. Mononuclear Cu(I) TADF complexes include predominantly cationic and neutral tetracoordinated compounds, mainly belonging to the $[\text{Cu}(\text{N}^{\wedge}\text{N})_2]$ and $[\text{Cu}(\text{N}^{\wedge}\text{N})(\text{P}^{\wedge}\text{P})]$ types. However, in 2011, Hitomi Ohara proposed rather simple mononuclear Cu(I)-halide complexes, $[\text{CuX}(\text{PPh}_3)_2(\text{L})]$ (X=halide ion, PPh_3 =triphenylphosphine, L=N-heteroaromatic ligand), demonstrating extremely intense luminescence realized by the TADF mechanism. Using this approach, in the present work, 3-pyridin-4-yl-5-(4-chlorophenyl)-1H-1,2,4-triazole was selected as an N-heterocyclic ligand for the creation of new representatives of mononuclear TADF-copper(I) phosphors.

The synthesized complexes have fundamentally different spatial structures, despite the difference only in the halogen ion during the synthesis of the compounds. Copper(I) bromide forms a mononuclear complex of monoclinic syngony in the space group $\text{P2}_1/\text{n}$,

while copper(I) iodide is a binuclear complex of triclinic syngony with a flat core of the rhombic form Cu_2I_2 in the space group $P\bar{1}$.

Keywords: mononuclear complexes, binuclear complexes, copper(I) coordination compounds, triazoles, X-ray structural analysis, crystal structure, TADF.

References

1. Ustimenko V. N., Ponomareva T. G. *Rational methods for a definition of Saccharums in vegetative production (theses of the report in the scientific conference)*. J. Theses and reports of participants in the Russian theoretical and scientifically-practical, anniversary conference «Agrobiological bases of the adaptable-and-landscape technology of the agricultural production» (devoted to the 100 anniversary from the building of the bioresources and wildlife management Academy) (on October, 12-16th, 2018, Simferopol), 19 (Simferopol: ABWM CFU named by V. I. Vernadsky, 2018).
2. Ashford M. R. F. *Titrimetric methods of the organic compounds analysis. Methods of a direct titration*. 555 p. (Izd-vo Chemistry, Moscow, 1968). (in Russ.).
3. Gumerov T. J., Markova K. J., Valoeva D. I., Reshetnik O. A. Application of the Lejnl-Ejnon method in the analysis of reducing sugars in an extract of a cape gooseberry. *J. Bulletin technological university*. **20(2)**, 144 (2017).
4. Romanova A. K., Ignatyev A. R., Mudrik V. A., Permjakov S. E., Ivanov B. N. Influence of the glucose excess on physiological and biochemical characteristics of the sugar beet leaves depending on the age of leave and of all plant. *J. Physiology of plants*, **55(2)**, 219 (2008).
5. Ustimenko V. N., Khodakov G. V. Thermodynamics and kinetic models of a connatural biosynthesis of monoterpenic components of essential oils in plants by the sorts Artemisia. *J. Scientific notes CFU by the name of V.I. Vernadsky: Biology. Chemistry*, **4(70), (3)**, 219 (2018).
6. Jatsimirsky K. B. *Kinetic analysis methods*, 200 p. (Chemistry, Moscow, 1967). (in Russ.)
7. Schmidt R., Sapunov V. N. *Unformed kinetics. In search of chemical reactions paths*: translated from English. 264 p. (World, Moscow, 1985) (in Russ.)
8. Larsen R. U. *Engineering calculations in Excel*. 544 p. (Williams, Moscow, 2001). (in Russ.)
9. Zakgajm A. J. *Introduction in modeling of chemical and technology processes*. 2 ed. 288 p. (Chemistry, Moscow, 1982). (in Russ.).

УДК 547.785.51

DOI 10.29039/2413-1725-2025-11-1-310-320

**СИНТЕЗ И ПРОГНОЗИРУЕМАЯ ПРОТИВОТУБЕРКУЛЁЗНАЯ
АКТИВНОСТЬ ПРОИЗВОДНЫХ (2-МЕТИЛ-1*H*-БЕНЗИМИДАЗОЛ-1-
ИЛ)ЭТАНОВОЙ И (5,6-ДИМЕТИЛ-1*H*-БЕНЗИМИДАЗОЛ-1-ИЛ)ЭТАНОВОЙ
КИСЛОТ**

Сарнит Е. А., Цикалов В. В., Поддубов А. И., Перишкова Д. А

*Институт биохимических технологий, экологии и фармации ФГАОУ ВО «КФУ
им. В.И. Вернадского», Симферополь, Республика Крым, Россия
E-mail: easarnit@mail.ru*

Приведены методики синтезов гидразидов, салицилиденгидразонов и 1,2,4-триазолов – производных (2-метил-1*H*-бензимидазол-1-ил)этановой и (5,6-диметил-1*H*-бензимидазол-1-ил)этановой кислот. Показано, что стандартные методики синтеза гидразидов, ацилгидразонов и 1,2,4-триазолов, используемые для синтеза аналогичных производных алифатических кислот, применимы и к соединениям, содержащим в своём составе фрагмент бензимидазола. Состав и структуры исходных и синтезированных соединений подтверждены данными элементного анализа, ПМР- и ИК-спектроскопии. Прогноз потенциальной биологической активности синтезированных соединений по структурной формуле был осуществлен с использованием веб-ресурса PASSOnline. Проведен сравнительный анализ прогнозируемой биологической активности. При сопоставлении полученных данных по гидразидам, салицилиденгидразонам и 1,2,4-триазолам, соответственно, показано, что при переходе от гидразида (2-метил-1*H*-бензимидазол-1-ил)этановой кислоты к гидrazиду (5,6-диметил-1*H*-бензимидазол-1-ил)этановой кислоты наблюдается незначительное увеличение прогнозируемой противотуберкулёзной активности, тогда как у соответствующих салицилиденгидразонов наблюдается обратная зависимость. 1,2,4-Триазолы практически не проявляют данный вид биологической активности.

Ключевые слова: бензимидазол, гидразид, ацилгидразон, салицилиденгидразон, 1,2,4-триазол, биологическая активность, противотуберкулёзная активность, PASSOnline.

ВВЕДЕНИЕ

Бензимидазол (1*H*-бензимидазол, 1,3-бензодиазол), структурно включающий в себя сопряжённую систему из бензольного и имидазольного колец, является важным гетероциклическим фармакофором. Установлено, что бензимидазол действует аналогично пуринам. Интерес к синтезу производных бензимидазола возрос, когда было обнаружено, что 5,6-диметилбензимидазол является продуктом разложения витамина В₁₂, и некоторые из производных бензимидазола также обладают активностью, аналогичной активности витамина В₁₂ [1, 2].

В настоящее время бензимидазол и его производные – перспективные объекты химии гетероциклов из-за широкого спектра их биологической активности. Эти соединения используются в многочисленных терапевтических препаратах,

обладающих широким спектром биологического действия: противомикробные средства («Беномил», «Мебендазол», «Вермокс», «Вормин», «Гельминдазол»), противоопухолевые («Бисбензимидазол»), противовоспалительные («Опрен», «Орафлекс»), ингибиторы «протонного насоса» и препараты для лечения кислотозависимых заболеваний желудочно-кишечного тракта («Дибазол», «Альбендазол», «Омепразол»), антигипертензивные средства («Гипосард», «Атаканд», «Телпрес», «Телсартан», «Микардис»), антикоагулянты («Прадакса»), антидиабетические средства («Флоризин») [3–7].

С химической точки зрения бензимидазол представляет собой достаточно реакционноспособное соединение, в котором есть несколько активных центров, что позволяет легко модифицировать структуру и синтезировать большое количество новых соединений [8, 9]. Сочетание бензимидазольного фрагмента и фрагмента, содержащего гидразидную группу, должно приводить к комбинированию различных видов биологической активности. Ацилгидразоны применяются в качестве лекарственных средств, например, противотуберкулезные производные изониозида: фтивазид (изоникотиноилгидразон ванилина) и салюзид (изоникотиноилгидразон 2-карбокси-3,4-диметоксибензойного альдегида); для бензоилгидразона салицилового альдегида отмечена мягкая бактериостатическая активность [10]. Получение органических веществ, молекулы которых будут содержать в своей структуре несколько фармакофоров, представляет собой активно развивающееся направление современного органического синтеза.

Цель данной работы – показать, что стандартные методы получения гидразидов, ацилгидразонов и 1,2,4-триазолов применимы и к ацилпроизводным бензимидазола, а также провести прогнозирование и сравнительный анализ биологической активности синтезированных соединений.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В работе использованы: 2-гидроксibenзальдегид (салициловый альдегид), 2-цианопиридин, метанол, этанол (96 %), этандиол-1,2, металлический натрий.

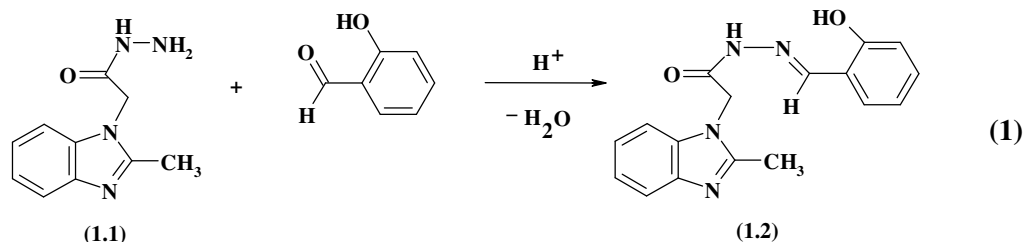
Элементный анализ синтезированных соединений выполнен на элементном CHN-анализаторе «Euro EA Elemental Analyser». Инфракрасные спектры поглощения зарегистрированы на ИК-Фурье спектрометре «Perkin Elmer». Спектры ¹H-ЯМР получены на приборе Varian VXR-400, внутренний стандарт – тетраметилсилан, химические сдвиги в δ-шкале (Институт живых систем Северо-Кавказского федерального университета, г. Ставрополь).

Прогноз потенциальной биологической активности синтезированных соединений осуществлен с использованием веб-ресурса PASSOnline [11, 12].

Сложные эфиры указанных кислот получены при алкилировании 2-метилбензимидазола и 5,6-диметилбензимидазола в слабощелочной среде *втор*-пропиловым эфиром хлоруксусной кислоты соответственно [8, 9]; гидразиды получены гидразином сложными эфирами [13].

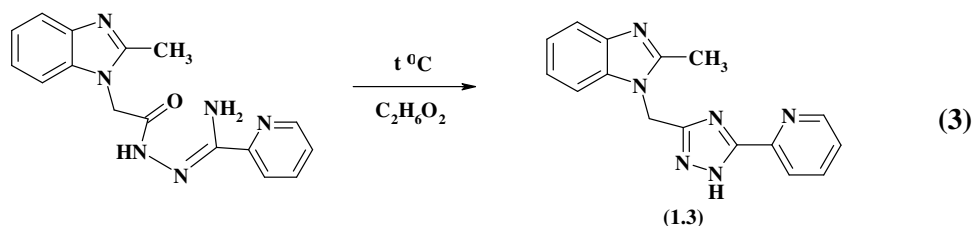
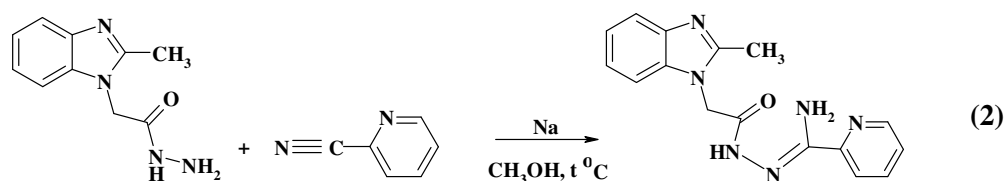
Синтез производных (2-метил-1*H*-бензимидазол-1-ил)этановой кислоты

Синтез салицилиденгидразона осуществлен взаимодействием гидразида с избытком салицилового альдегида в среде водного этанола, в качестве катализатора использована уксусная кислота (схема 1).



Методика синтеза. В колбу на 100 мл поместить 1,95 г (10 ммоль) гидразида (2-метил-1*H*-бензимидазол-1-ил)этановой кислоты, 50 мл водного этанола и нагревать при перемешивании на магнитной мешалке до получения однородной суспензии, затем добавить 1,4 г (12 ммоль, 20 % избыток) салицилового альдегида и 0,5 мл уксусной кислоты и нагревать при перемешивании на магнитной мешалке ещё в течение 30 минут. Полученный раствор с осадком выдержать 1 сутки, выпавший осадок отфильтровать на воронке Бюхнера, промыть охлаждённым этанолом и высушить на воздухе. Полученный салицилиденгидразон представляет собой кристаллическое вещество светло-жёлтого цвета; масса продукта – 2,25 г (выход от теоретически возможного 81 %).

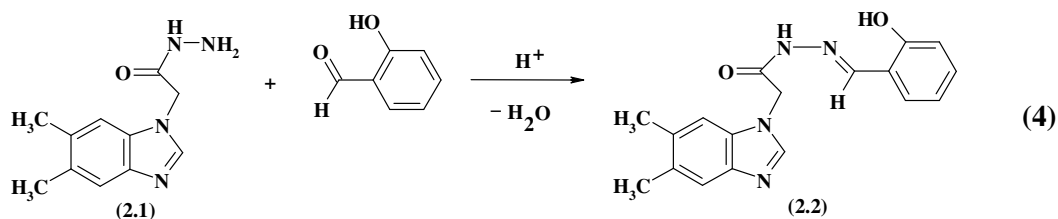
Синтез 1,2,4-триазола осуществлён в две стадии: 1) получение амидразона за счёт взаимодействия гидразида с 2-цианопиридином при нагревании в присутствии металлического натрия, синтез проводится в метаноле (схема 2); 2) дегидратация полученного амидразона в этиленгликоле (схема 3) [14].



Методика синтеза. В стакан поместить 0,835 г (8 ммоль) 2-цианопиридина и растворить в метаноле (50 мл), раствор охладить на ледяной бане. К полученному раствору добавить 140 мг (6,1 ммоль) металлического натрия и оставить на 30 мин. Полученный раствор перенести в коническую колбу и добавить 1,20 г (6 ммоль) гидразида. Смесь перемешивать при нагревании на магнитной мешалке 2 часа. Выпавший осадок отфильтровать, промыть холодным метанолом, высушить на воздухе. Полученный амидразон – белое кристаллическое вещество, масса продукта – 1,05 г (выход – 71 % в пересчете на исходный гидразид). В колбу поместить 1,00 г полученного на первом этапе амидразона и 10 мл этиленгликоля. Полученную смесь нагревать и перешивать на магнитной мешалке. Полученный раствор выдержать одни сутки, затем выпавшее кристаллическое вещество отфильтровать и высушить на воздухе. Продукт очистить перекристаллизацией из метанола. Полученный 1,2,4-триазол (2-метил-1*H*-бензимидазол-1-ил)этановой кислоты представляет собой мелкокристаллическое вещество белого цвета. Масса продукта – 0,85 г (выход – 52 % в пересчете на исходный гидразид).

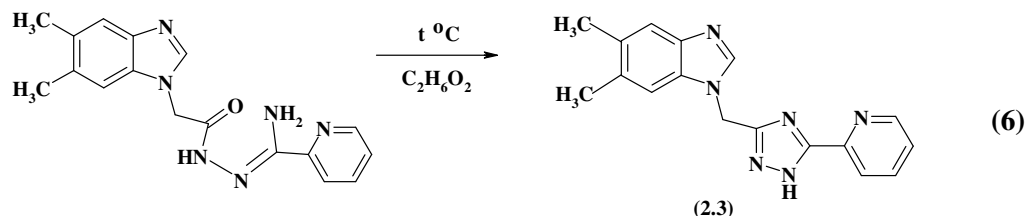
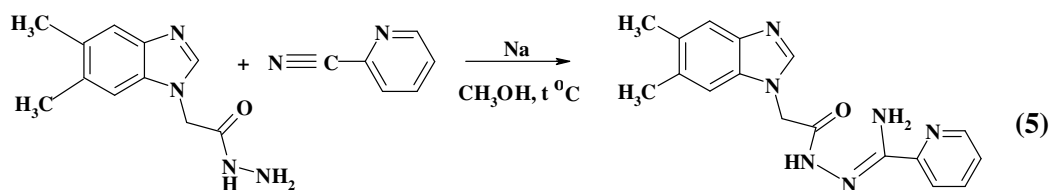
Синтез производных (5,6-диметил-1*H*-бензимидазол-1-ил)этановой кислоты

Синтез салицилиденгидразона осуществлен взаимодействием гидразида с избытком салицилового альдегида в водном этаноле, катализатор – уксусная кислота (схема 4).



Методика синтеза. В колбу на 100 мл поместить 2,1 г (10 ммоль) гидразида, 50 мл этанола и нагревать при перемешивании на магнитной мешалке до получения однородной суспензии, затем добавить 1,4 г (12 ммоль, 20 % избыток) салицилового альдегида и 0,5 мл уксусной кислоты и продолжать нагревание при перемешивании на магнитной мешалке в течение 30 минут. Полученный раствор с осадком выдержать 1 сутки, после чего отфильтровать образовавшийся осадок на воронке Бюхнера, промыть этанолом и высушить на воздухе. Полученный салицилиденгидразон представляет собой кристаллическое вещество светло-жёлтого цвета; масса продукта – 2,65 г (выход – 92 %).

Синтез 1,2,4-триазола проведён в две стадии: синтез амидразона (схема 5) и его дегидратация в 1,2,4-триазол (схема 6).



Методика синтеза. В стакан поместить 0,835 г (8 ммоль) 2-цианопиридина и растворить в метаноле (50 мл), раствор охладить на ледяной бане. К полученному раствору добавить 140 мг (6,1 ммоль) металлического натрия и оставить на 30 мин. Полученный раствор перенести в коническую колбу и добавить 1,35 г (6 ммоль) гидразида. Смесь нагревать при перемешивании на магнитной мешалке около 2-х часов. Раствор с осадком выдержать 1 сутки. Осадок отфильтровать, промыть охлажденным метанолом и высушить на воздухе. Масса продукта – 1,30 г (выход продукта от теоретически возможного – 67 % в расчёте на исходный гидразид). В колбу поместить 1,20 г полученного амидразона и 10 мл этиленгликоля. Полученную суспензию нагревать при перемешивании на магнитной мешалке 1 час. Раствор выдержать 1 сутки. Выпавший осадок отфильтровать, высушить на воздухе и очистить перекристаллизацией из метанола. Полученный 1,2,4-триазол представляет собой мелкокристаллическое вещество белого цвета. Масса продукта – 0,90 г (выход от теоретически возможного – 65 % в расчёте на исходный гидразид).

Перевод гидразидов указанных в работе кислот в производные – салицилиденгидразоны и 1,2,4-триазолы приводит к повышению устойчивости соединений, т.к. хранение гидразидов на воздухе приводит к их окислению.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

1. Идентификация синтезированных соединений

Брутто-формулы синтезированных соединений подтверждены данными элементного анализа. Для (2-метил-1*H*-бензимидазол-1-ил)ацетогидразида (**1.1**) – найдено, %: С – 58,04; Н – 5,78; N – 26,14; для C₁₀H₁₂N₄O вычислено, %: С – 58,82; Н – 5,88; N – 26,92.

Для салицилиденгидразона (2-метил-1*H*-бензимидазол-1-ил)этановой кислоты (**1.2**) – найдено, %: С – 65,96; Н – 5,02; N – 18,06; для C₁₇H₁₆N₄O₂ вычислено, %: С – 66,23; Н – 5,19; N – 18,18.

Для 1,2,4- триазола – (2-метил-1-[[3-(пиридин-2-ил)-1*H*-1,2,4-триазол-5-ил]метил]-1*H*-бензимидазола) (**1.3**) – найдено, %: С – 65,94; Н – 4,88; N – 28,36; для C₁₆H₁₄N₆ вычислено, %: С – 66,21; Н – 4,83; N – 28,97.

Для (5,6-диметил-1*H*-бензимидазол-1-ил)ацетогидразида (**2.1**) – найдено, %: С – 60,72; Н – 6,47; N – 25,14; для C₁₁H₁₄N₄O вычислено, %: С – 60,55; Н – 6,42; N – 25,88.

Для салицилиденгидразона (5,6-диметил-1*H*-бензимидазол-1-ил)этановой кислоты (**2.2**) – найдено, %: С – 66,94; Н – 5,72; N – 17,11; для C₁₈H₁₈N₄O₂ вычислено, %: С – 67,08; Н – 5,60; N – 17,40.

Для 1,2,4-триазола – (5,6-диметил-2-[[5-(пиридин-2-ил)-1*H*-1,2,4-триазол-3-ил]метил]-1*H*-бензимидазола) (**2.3**) – найдено, %: С – 66,70; Н – 5,22; N – 27,38; для C₁₇H₁₆N₆ вычислено, %: С – 67,11; Н – 5,26; N – 27,63.

Для салицилиденгидразона (2-метил-1*H*-бензимидазол-1-ил)этановой кислоты (**1.2**): ¹H-ЯМР (600 МГц, DMSO-d₆): 3,0 м.д. (3H, с, CH₃); 4,7 м.д. (2H, с, CH₂-CO); 7,5 м.д. (8H, м, Ar); 8,5 м.д. (1H, с, N=CH), 9,0 м.д. (1H, с, NH), 9,6 м.д. (1H, с, OH),

Для салицилиденгидразона (5,6-диметил-1*H*-бензимидазол-1-ил)этановой кислоты (**2.2**): ¹H-ЯМР (600 МГц, DMSO-D₆): 2,4 м.д. (6H, с, CH₃); 5,2 м.д. (2H, с, CH₂-CO); 5,8 м.д. (H, с, CH_{цикл} имидазол); 7,8 м.д. (6H, м, Ar); 8,4 м.д. (1H, с, N=CH); 8,8 м.д. (1H, с, NH), 9,3 м.д. (1H, с, OH),

С целью подтверждения структуры полученных продуктов синтеза проведён сравнительный анализ ИК-спектров поглощения исходных гидразидов и синтезированных салицилиденгидразонов и 1,2,4-триазолов (таблица 1) [15].

Таблица 1

**Основные полосы поглощения ($\bar{\nu}_{\max}$, см⁻¹) в инфракрасных спектрах
исходных и синтезированных соединений**

Соединение	(1.1)	(1.2)	(1.3)	(2.1)	(2.2)	(2.3)
$\nu(\text{OH})$	–	3250	–	3300	3280	–
$\nu_{\text{as}}(\text{NH}_2)$	3295	–	–	3240	–	–
$\nu_{\text{s}}(\text{NH}_2)$	3182	–	–	3087	–	–
$\nu(\text{NH})$	3050	3060	3056	3037	3048	3068
$\nu_{\text{as}}(\text{CH}_3)$	2964	2967	2965	2968	2963	2980
$\nu_{\text{s}}(\text{CH}_3)$	2952	2955	2945	2960	2950	2943
$\nu_{\text{as}}(\text{CH}_2)$	2940	2936	2938	2950	2932	2917
$\nu_{\text{s}}(\text{CH}_2)$	2885	2883	2880	2887	2885	2883
$\nu(\text{C}_{\text{ар.}}-\text{H})$	2930, 2850	2956, 2830	2960, 2850	2920, 2851	2920, 2846	2940, 2850
«Амид-I»	1660	1655	–	1675	1667	–
«Амид-II»	1624	1615	–	1628	1610	–
$\nu(\text{C}=\text{N})$	1550	1540	1545	1530	1530	1540
$\nu(\text{C}_{\text{ар.}}-\text{C}_{\text{ар.}})$	1525, 1490, 1452, 1380	1526, 1488, 1450	1520, 1490, 1444, 1366	1515, 1480, 1455, 1365	1520, 1492, 1448	1510, 1475, 1462, 1370

Продолжение таблицы 1

$\sigma_s(\text{CH}_2)$	1475	1470	1473	1468	1478	1474
$\tau(\text{CH}_2)$	1330	1336	1340	1333	1338	1340
$\sigma(\text{C}_{\text{ар.}}-\text{H})$	1141, 1099, 960	1135, 1100, 957	1138, 1082, 950	1140, 1100, 985	1130, 1089, 963	1138, 1090, 965
$\nu(\text{N}-\text{N})$	1074	1071	1070	1075	1068	1073
$\nu(\text{C}-\text{O}_{\text{фен.}})$	–	1295	–	–	1298	–
$\omega(\text{CH}_2)$	1233	1240	1238	1233	1240	1238
$\nu(\text{C}-\text{N})$	1220	1216, 1210	1215	1224	1218, 1212	1230, 1210
$\gamma(\text{C}_{\text{ар.}}-\text{H})$	860, 800, 698, 666, 608, 576	912, 865, 831, 788, 670, 656	865, 853, 842, 797, 686	896, 863, 710, 696, 684, 624	870, 833, 790, 675, 660, 630	852, 833, 785, 760, 663, 628
$\rho(\text{CH}_2)$	738	752	750	744	748	755

2. Потенциальная биологическая активность производных (2-метил-1H-бензимидазол-1-ил)этановой и (5,6-диметил-1H-бензимидазол-1-ил)этановой кислот

Прогноз потенциальной биологической активности синтезированных соединений был осуществлен с использованием веб-ресурса PASSOnline: биологическая активность описывается качественным образом («наличие»/«отсутствие»), выдаваемые результаты прогноза помимо названий активности включают в себя оценки вероятностей наличия (Pa) и отсутствия (Pi) каждой активности, имеющие значения от 0 до 1 (вероятности рассчитываются независимо) [11, 12].

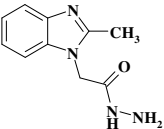
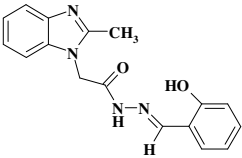
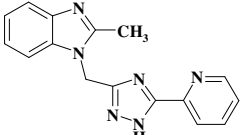
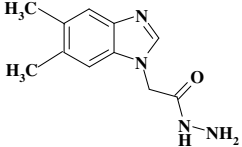
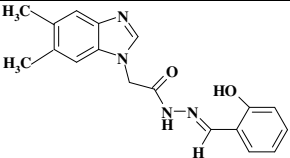
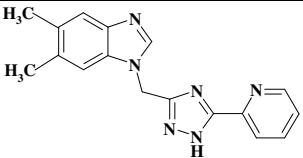
Сравнительный анализ прогнозируемой биологической активности показал, что при переходе от гидразида (2-метил-1H-бензимидазол-1-ил)этановой кислоты к гидразиду (5,6-диметил-1H-бензимидазол-1-ил)этановой кислоты наблюдается незначительное увеличение противотуберкулёзной активности – Pa составляет 0,625 и 0,641 соответственно.

Салицилиденгидразоны дают обратный ход значений противотуберкулёзной активности: 0,757 и 0,405 для салицилиденгидразона (2-метил-1H-бензимидазол-1-ил)этановой кислоты и салицилиденгидразона (5,6-диметил-1H-бензимидазол-1-ил)этановой кислоты соответственно. Для 1,2,4-триазолов указанных кислот отмечено значительное снижение противотуберкулёзной активности, что обусловлено блокировкой гидразидной группы: для 1,2,4-триазола на основе (2-метил-1H-бензимидазол-1-ил)этановой кислоты Pa составляет 0,258, у 1,2,4-триазола на основе (5,6-диметил-1H-бензимидазол-1-ил)этановой кислоты данный вид активности не прогнозируется.

Отмечено, что синтезированные соединения кроме противотуберкулёзной активности проявляют также антимикобактериальную (1.1; 1.2; 2.1; 2.2), антиастматическую (1.3; 2.3), противовирусную (1.1; 1.2; 1.3; 2.1; 2.2; 2.3), психотропную (1.1; 2.1), противосудорожную (1.1; 2.1) и противоопухолевую активности (1.2; 1.3; 2.2; 2.3). Полученные данные представлены в таблице 2.

Таблица 2

Оценка прогнозируемой биологической активности,
рассчитанная в программе PASSOnline

Соединение, структурная формула (№)	Pa	Pi	Активность
<i>Производные (2-метил-1H-бензимидазол-1-ил)этановой кислоты</i>			
 (1.1)	0,661	0,007	Antimycobacterial
	0,659	0,003	Interferon alpha agonist
	0,625	0,005	Antituberculosic
	0,594	0,079	Nootropic
	0,563	0,024	Anticonvulsant
 (1.2)	0,766	0,004	Antimycobacterial
	0,757	0,004	Antituberculosic
	0,547	0,006	Interferon alpha agonist
	0,326	0,020	Anti-Helicobacterpylori
	0,347	0,045	Antineoplastic (multiplemyeloma)
 (1.3)	0,409	0,025	Interferon alpha agonist
	0,330	0,149	Diabeticneuropathytreatment
	0,271	0,108	Antiasthmatic
	0,258	0,102	Antituberculosic
	0,231	0,022	Antineoplastic (bladdercancer)
<i>Производные (5,6-диметил-1H-бензимидазол-1-ил)этановой кислоты</i>			
 (2.1)	0,707	0,039	Nootropic
	0,664	0,007	Antimycobacterial
	0,641	0,005	Antituberculosic
	0,535	0,029	Anticonvulsant
	0,533	0,007	Interferon alpha agonist
 (2.2)	0,454	0,015	Interferon alpha agonist
	0,405	0,030	Antituberculosic
	0,356	0,053	Antimycobacterial
	0,319	0,198	Antineoplastic (non-Hodgkin'slymphoma)
	0,210	0,036	Antineoplastic (bladdercancer)
 (2.3)	0,372	0,024	Antineoplastic (pancreaticcancer)
	0,270	0,108	Antiasthmatic
	0,241	0,018	Antineoplastic (bladdercancer)
	0,232	0,114	Interferon alpha agonist
	0,221	0,009	Antianemic

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

- В результате работы исследованы гидразиды, салицилиденгидразоны и 1,2,4-триазолы (2-метил-1H-бензимидазол-1-ил)этановой и (5,6-диметил-1H-бензимидазол-1-ил)этановой кислот; показано, что стандартные методики

синтеза гидразидов, ацилгидразонов и 1,2,4-триазолов применимы и к производным бензимидазола.

2. Проведён прогноз потенциальной биологической активности синтезированных гидразидов, салицилиденгидразонов и 1,2,4-триазолов с использованием интернет-сервиса PASSOnline.
3. Показано, что при переходе от гидразида (2-метил-1*H*-бензимидазол-1-ил)этановой кислоты к гидразиду (5,6-диметил-1*H*-бензимидазол-1-ил)этановой кислоты прогнозируется незначительное увеличение противотуберкулёзной активности, тогда как у соответствующих салицилиденгидразонов наблюдается снижение данного вида активности.

Список литературы

1. Shah K. Benzimidazole: a promising pharmacophore / K. Shah, S. Chhabra, S. K. Shrivastava, P. Mishra // Med. Chem. Res. – 2013. – Vol. 22, № 11. – P. 5077–5104.
2. Ajani O. O. Functionalized Benzimidazole Scaffolds: Privileged Heterocycle for Drug Design in Therapeutic Medicine / O. O. Ajani, D. V. Aderohunmu, C. O. Ikpo, A. E. Adedapo, I. O. Olanrewaju // Arch. Pharm. Chem. Life Sci. – 2016. – Vol. 349. – P. 1–32.
3. Рубцов М. В. Синтетические химико-фармацевтические препараты / М. В. Рубцов, А. Г. Байчиков. – М.: Медицина, 1971. – 328 с.
4. Машковский Д. М. Лекарственные средства. Изд. 16. / Д. М. Машковский. – М.: Новая волна, 2020. – 1216 с.
5. Vekariya N. A. Synthesis of isoxazoles and quinoxalines as potential anticancer agents / N. A. Vekariya // Indian Journal of Chemistry. – 2003. – Vol. 42B. – P. 421–424.
6. Soni L. K. Anti-microbial benzimidazole derivatives: synthesis and in vitro biological evaluation / L. K. Soni, T. Narsinghani, A. Sethi // Med. Chem. Res. – 2012. – Vol. 21. – № 12. – P. 4330–4334.
7. Спасов А. А. Антисеротониновая активность производных трициклических бензимидазольных систем / А. А. Спасов, М. В. Черников, Д. С. Яковлев // Хим.-фармац. журнал. – 2006. – Т. 40, № 11. – С. 23–26.
8. Пожарский А. Ф. Синтез *N*-алкилбензимидазолов / А. Ф. Пожарский, А. М. Симонов // Журн. орг. хим. – 1963. – Т. 33. – С. 179–181.
9. Soundararajan R. Regioselective *N*-alkylation of benzimidazole via an organotin route / R. Soundararajan, T. Balasubramanian // Tetrahedron Lett. – 1984. – Vol. 25, № 48. – P. 5555–5558.
10. Щукина М. Н. Ароматические изоникотиноилгидразоны – новый класс химиотерапевтических противотуберкулёзных веществ / М. Н. Щукина, Г. Н. Першин, Е. Д. Сазонова, О. О. Макеева // Проблемы туберкулеза. – 1954. – № 2. – С. 44–50.
11. Поройков В. В. Компьютерный прогноз биологической активности химических соединений как основа для поиска и оптимизации базовых структур новых лекарств / В. В. Поройков, Д. А. Филимонов // Азотистые гетероциклы и алкалоиды. – М.: Иридиум-пресс, 2001. – Т. 1. – С. 123–129.
12. Pharma expert predictive services «PASSOnline» [Electronic resource]: FSBI «Research Institute of biomedical chemistry named after V. N. Orekhovich» The Russian Academy of medical Sciences. – Mode of access: URL: <http://pharmaexpert.ru/PASSOnline> (дата обращения: 23.05.2024).
13. Иоффе Б. В. Химия органических производных гидразина / Б. В. Иоффе, М. А. Кузнецов, А. А. Потехин. – Л.: Химия, 1979. – 224 с.
14. Potts K. T. The Chemistry of 1,2,4-Triazoles / K. T. Potts // Chem. Rev. 1961. – Vol. 61. – P. 87–127.
15. Сильверстейн Р. Спектрометрическая идентификация органических соединений: учеб. пособие / Р. Сильверстейн, Г. Басслер, Т. Морил. – М.: Мир, 1977. – С. 125–215.

SYNTHESIS AND PREDICTED ANTI-TUBERCULOSIS ACTIVITY OF DERIVATIVES OF (2-METHYL-1H-BENZIMIDAZOLE-1-YL)ETHANOIC AND (5,6-DIMETHYL-1H-BENZIMIDAZOLE-1-YL)ETHANOIC ACIDS

Sarnit E. A., Tsikalov V. V., Poddubov A. I., Peroshkova D. A.

*Institute of Biochemical Technologies, Ecology and Pharmacy Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education «Crimean Federal University named after V. I. Vernadsky», Simferopol, Republic of Crimea, Russian Federation
E-mail: easarnit@mail.ru*

In this work, hydrazides, salicylidenehydrazones and 1,2,4-triazoles (2-methyl-1H-benzimidazol-1-yl)ethanoic and (5,6-dimethyl-1H-benzimidazol-1-yl)ethanoic acids were synthesized and studied. It was shown that standard methods for the synthesis of hydrazides, acylhydrazones and triazoles are also applicable to benzimidazole derivatives. The conversion of hydrazides to salicylidene hydrazones and 1,2,4-triazoles leads to an increase in the stability of the compounds, since. Storing hydrazides of these acids in air leads to their slow oxidation. A prediction was made of the potential biological activity of the synthesized hydrazides, salicylidenehydrazones and 1,2,4-triazoles using the PASSOnline Internet service. In the series of compounds hydrazide – salicylidehydrazone and 1,2,4-triazole for (2-methyl-1H-benzimidazol-1-yl)ethanoic acid the calculated Pa value was 0.625 – 0.757 – 0.258, respectively. For (5,6-dimethyl-1H-benzimidazol-1-yl)ethanoic acid the calculated Pa value was 0.641 – 0.405, respectively. 1,2,4-Triazole does not have this activity. Using the PASSOnline program, it was shown that when moving from (2-methyl-1H-benzimidazol-1-yl)ethanoic acid hydrazide to (5,6-dimethyl-1H-benzimidazol-1-yl)ethanoic acid hydrazide, a slight increase in anti-tuberculosis activity is observed (Pa = 0.625 and 0.641). For the corresponding salicylidene hydrazones, an inverse dependence of this type of activity was observed. 1,2,4-Triazoles practically do not exhibit this type of biological activity, which is due to the blocking of the active hydrazide group. The composition and structures of the starting and synthesized compounds were confirmed by elemental analysis, PMR and IR spectroscopy.

Keywords: benzimidazole, hydrazide, acylhydrazone, salicylidenehydrazone, 1,2,4-triazole, biological activity, anti-tuberculosis activity, PASSOnline.

References

1. Shah K., Chhabra S., Shrivastava K., Mishra P. Benzimidazole: a promising pharmacophore, *Med. Chem. Res.*, **22** (11), 5077 (2013).
2. Ajani O. O., Aderohunmu D. V., Ikpo C. O., Adedapo A. E., Olanrewaju I. O. Functionalized Benzimidazole Scaffolds: Privileged Heterocycle for Drug Design in Therapeutic Medicine, *Arch. Pharm. Chem. Life Sci.*, **349**, 1 (2016).
3. Rubtsov M. V., Baichikov A. G. Synthetic chemical-pharmaceutical preparations (Moscow: Medicine. 1971) (*in Russ.*)
4. Mashkovsky D. M. Lekarstvennye Sredstva (Drugs) 16-th ed. (Moscow: Novaya Volna (New Wave). 2020). (*in Russ.*)
5. Vekariya N. A. Synthesis of isoxazoles and quinoxalines as potential anticancer agents, *Indian Journal of Chemistry*, **42B**, 421 (2003).

6. Soni L. K., Narsinghani T., Sethi A. Anti-microbial benzimidazole derivatives: synthesis and in vitro biological evaluation, *Med. Chem. Res.*, **21** (12), 4330 (2012).
7. Spasov A. A., Chernikov M. V., Yakovlev D. S., Spasov A. A. Antiserotonin activity of derivatives of tricyclic benzimidazole systems, *Journal Chem.-Pharm.*, **40** (11), 23 (2006). (in Russ.)
8. Pozharsky A. F., Simonov A. M. Synthesis of N-alkylbenzimidazoles, *Journal of Organic Chemistry*, **33**, 179 (1963). (in Russ.)
9. Soundararajan R., Balasubramanian T. R. Regioselective N-alkylation of benzimidazole via an organotin route, *Tetrahedron Lett.*, **25** (48), 5555 (1984).
10. Shchukina M. N., Pershin G. N., Sazonova E. D., Makeeva O. O. Aromatic isonicotinoylhydrazones – a new class of chemotherapeutic anti-tuberculosis agents, *Problemy tuberculosa*, **2**, 44 (1954). (in Russ.)
11. Poroikov V. V., Filimonov D. A. Computer forecast of biological activity of chemical compounds as a basis for searching and optimizing basic structures of new drugs, *Nitrogen heterocycles and alkaloids*, **1**, 123 (2001). (in Russ.)
12. Pharma expert predictive services «PASSOnline» [Electronic resource]: FSBI «Research Institute of biomedical chemistry named after V. N. Orekhovich» The Russian Academy of medical Sciences. – Mode of access: URL: <http://pharmaexpert.ru/PASSOnline> (date of access: 23.05.2024).
13. Ioffe B. V., Kuznetsov M. A., Potekhin A. A. Chemistry of organic derivatives of hydrazine. (Leningrad: Chemistry, 1979) (in Russ.)
14. Potts K. T. The Chemistry of 1,2,4-Triazoles, *Chem. Rev.*, **61**, 87 (1961).
15. Silverstein R., Bassler G., Moril T. Spectrometric Identification of Organic Compounds: teaching aid. (Moscow: Mir., 1977) (in Russ.)

УДК 547.917:66.081:543.42

DOI 10.29039/2413-1725-2025-11-1-321-328

КОМПОЗИТ ХИТОЗАН–ДОДЕЦИЛСУЛЬФАТ НАТРИЯ И ЕГО КОМПЛЕКС С ИОНАМИ СВИНЦА

Яковишин Л. А.¹, Ткаченко Э. В.¹, Гришковец В. И.²

¹*ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет», Севастополь, Россия*

²*Институт биохимических технологий, экологии и фармации (структурное подразделение)*

ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет им. В. И. Вернадского», Симферополь, Россия

E-mail: chemsevntu@rambler.ru

Проведен детальный ИК-спектроскопический анализ композита хитозана (Chit) с додецилсульфатом натрия (Ls) и его комплекса с катионами свинца(II). Данные ИК-спектроскопии указывают на ионные взаимодействия между Chit и Ls при образовании их композита. В процессе комплексообразования композита Chit–Ls с ионами Pb²⁺ участвуют связи SO молекулы Ls. Показано, что при этом изменилась морфология поверхности микрочастиц.

Ключевые слова: хитозан, додецилсульфат натрия, свинец, комплекс, ИК-Фурье-спектроскопия, сканирующая электронная микроскопия.

ВВЕДЕНИЕ

Приоритетным направлением при создании новых материалов с функциональными свойствами является использование для их получения возобновляемых природных ресурсов. К таким исходным веществам относят полисахарид хитозан (Chit; рис. 1). Он проявляет иммуномодулирующую, противоопухолевую, антиоксидантную, бактериостатическую и фунгистатическую активность, имеет высокую биосовместимость к тканям человека и обладает высокими сорбционными свойствами [1]. Chit нашел применение в артропластике и стоматологии, для создания носителей лекарственных веществ, а также для модификации синтетических протезов кровеносных сосудов и т.д. [2–6].

Полиэлектролитные комплексы на основе Chit – это соединения, полученные путем его взаимодействия с другими полиэлектролитами [7]. Эти комплексы обладают уникальными свойствами благодаря комбинации положительно заряженных групп Chit с отрицательно заряженными группами другого полиэлектролита. Chit и его композиты имеют большой потенциал для создания инновационных продуктов с улучшенными контролируемыми характеристиками и широким спектром применения, в том числе в качестве перспективных адсорбентов [8].

Ранее были получены комплексы Chit (молекулярная масса $1,8 \cdot 10^5$ и $3,3 \cdot 10^5$; степень деацетилирования СДА 90 %) и додецилсульфата (лаурилсульфата) натрия (Ls; рис. 1), но детальный ИК-спектроскопический анализ данных

полиэлектролитных комплексов не был проведен [9]. Недавно разработаны композитные материалы на основе Ls и Chit, имеющего меньшую СДА, которые обладают хорошими адсорбционными свойствами по отношению к ионам свинца Pb^{2+} [10]. В связи с этим, целью данной работы явилось изучение композита на основе Chit и Ls и комплекса Chit–Ls–Pb(II) методами ИК-Фурье-спектроскопии и сканирующей электронной микроскопии (СЭМ).

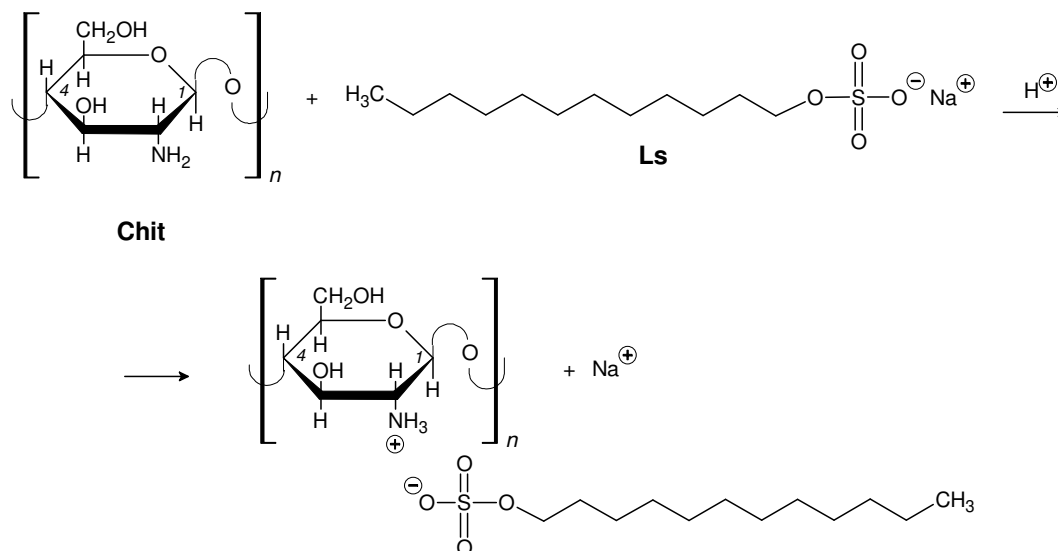


Рис. 1. Образование композита Chit–Ls.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Вещества. Использовали образцы Chit (200 кДа, СДА 83 %, ООО Биопрогресс, Россия) и Ls (Tainolin AS-95N, Taiwan NJC Corp., Тайвань). Для получения композитного сорбента раствор Ls (16 г Ls в 500 мл дистиллированной воды) при перемешивании медленно добавляли к раствору Chit (4 г Chit в 1000 мл 3 % водного раствора уксусной кислоты) в объемном соотношении 2:1. Выпавший осадок многократно промывали дистиллированной водой, затем центрифугировали, фильтровали и оставляли для высушивания при 60 °С на сутки. Полученный комплекс Chit–Ls представляет собой твердые желтоватые зёрна различного размера. Для использования в качестве сорбента вещество измельчали до частиц диаметром до 1 мм.

Стандартный образец нитрата свинца ($c(Pb^{2+}) = 10$ мг/л) разбавляли до 50 мкг/л. В раствор объемом 100 мл вносили 100 мг сорбента и оставляли на 6 ч при активном перемешивании. Затем осадок отфильтровывали и сушили при 60 °С в течение суток.

ИК-Фурье-спектроскопия. ИК-спектры получены на ИК-Фурье-спектрометре ФТ-801 (СИМЕКС, Россия) с универсальной оптической приставкой НПВО-А (нарушенного полного внутреннего отражения) с алмазным элементом и

встроенным мини-монитором. Спектры получены в области 4000–550 см^{-1} (спектральное разрешение 4 см^{-1} ; 25 сканов). Для работы с ИК-спектрометром ФТ-801 использовали программу ZaiR 3.5 (СИМЕКС, Россия).

ИК-спектр Chit (ν , см^{-1}): 3227 (ОН, NH), 2865 (CH), 1632 ($\text{C}=\text{O}_{\text{Amid I}}$), 1590 (NH_2), 1550 ($\text{N}-\text{H}+\text{C}-\text{N}_{\text{Amid II}}$), 1537 ($\text{N}-\text{H}+\text{C}-\text{N}_{\text{Amid II}}$), 1511 ($\text{N}-\text{H}+\text{C}-\text{N}_{\text{Amid II}}$), 1481 (CH), 1454 (CH), 1414 (CH), 1374 (CH), 1335 (CH), 1312 ($\text{N}-\text{H}+\text{C}-\text{N}_{\text{Amid III}}$, CH), 1149 (C–O–C, C–OH), 1055 (C–O–C, C–OH), 1020 (C–O–C, C–OH), 985 (C–O–C, C–OH, C–C), 892 (CH), 685 (NH_2), 657 (OH), 617 ($\text{O}=\text{C}-\text{N}_{\text{Amid IV}}$), 579 (CH), 566 (NH, CO).

ИК-спектр Ls (ν , см^{-1}): 3469 (OH), 2956 (CH), 2916 (CH), 2849 (CH), 1656 (H_2O), 1467 (CH), 1402 (CH), 1378 (CH), 1246 (SO), 1216 (SO), 1079 (SO), 1044 (SO), 1014 (C–O), 991 (SO), 971 (SO), 918 (CH), 825 (S–O–C), 762 (SO), 721 (CH), 631 (SO), 588 (SO).

ИК-спектр композита Chit–Ls (ν , см^{-1}): 3421 (OH, NH), 2956 (CH), 2918 (CH), 2871 (CH), 2851 (CH), 1625 ($\text{C}=\text{O}_{\text{Amid I}}$, H_2O), 1524 (NH_2 , $\text{N}-\text{H}+\text{C}-\text{N}_{\text{Amid II}}$), 1467 (CH), 1378 (CH), 1337 (CH), 1215 (SO), 1082 (SO), 1057 (C–O–C, C–OH, SO), 992 (SO, C–O–C, C–OH), 973 (SO), 816 (CH), 766 (SO), 721 (CH, $\text{NH}_{\text{Amid V}}$), 655 (OH), 625 (SO), 581 (SO).

ИК-спектр комплекса Pb^{2+} с композитом Chit–Ls (ν , см^{-1}): 3412 (OH, NH), 2955 (CH), 2918 (CH), 2850 (CH), 1629 ($\text{C}=\text{O}_{\text{Amid I}}$, H_2O), 1528 ($\text{N}-\text{H}+\text{C}-\text{N}_{\text{Amid II}}$), 1467 (CH), 1378 (CH), 1333 (CH), 1176 (SO), 1083 (SO), 1054 (C–O–C, C–OH, SO), 993 (SO, C–O, C–C, C–O–C, C–OH), 973 (SO), 886 (CH), 814 (CH), 763 (SO), 720 (CH, $\text{NH}_{\text{Amid V}}$), 663 (OH), 615 (SO), 573 (SO).

СЭМ. СЭМ проведена на микроскопе PHENOMproX (Phenom-World B.V., Нидерланды). Максимальное увеличение – $\times 150000$, разрешение – 8 нм, ускоряющее напряжение – 5, 10 и 15 кВ. В качестве подложки использовали двустороннюю липкую углеродную пластину (диаметр 10 мм).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

ИК-спектроскопический анализ. В ИК-спектре Chit наблюдается широкая полоса при 3227 см^{-1} , связанная с поглощением валентных колебаний связей О–Н и N–Н (рис. 2). В спектре также присутствуют полосы поглощения валентных колебаний связей С–О в группах С–О–С и С–ОН (1149, 1055, 1020 и 985 см^{-1}).

Молекула Chit содержит остаточные N-ацетильные группы. Поэтому в спектре присутствуют дополнительные полосы поглощения, характерные для вторичного амида: Амид I (валентные колебания $\text{C}=\text{O}$) при 1632 см^{-1} , Амид II (деформационные колебания N–H и валентные C–N) при 1550, 1537 и 1511 см^{-1} , а также Амид III (деформационные колебания N–H и валентные C–N) при 1312 см^{-1} и Амид IV (деформационные $\text{O}=\text{C}-\text{N}$) при 617 см^{-1} . Поглощение при 1590 см^{-1} обусловлено антисимметричными плоскими деформационными колебаниями свободной группы NH_2 .

Самой интенсивной полосой в ИК-спектре свободного Ls является полоса поглощения антисимметричных валентных колебаний связей SO. Она расщепляется на два пика с большей (при 1216 см^{-1}) и меньшей (при 1246 см^{-1}) интенсивностью.

Частоты поглощения симметричных валентных колебаний связей SO равны 1079 и 1044 см^{-1} .

При взаимодействии Ls с Chit сдвигается полоса поглощения симметричных валентных колебаний связи SO с 1079 до 1057 см^{-1} . Полоса поглощения антисимметричных валентных колебаний связей SO при 1216 см^{-1} Ls не смещается. Кроме того, при сопоставлении спектров отмечены низкочастотные сдвиги следующих полос поглощения связей SO: 631 $\rightarrow$ 625 см^{-1} и 588 $\rightarrow$ 581 см^{-1} .

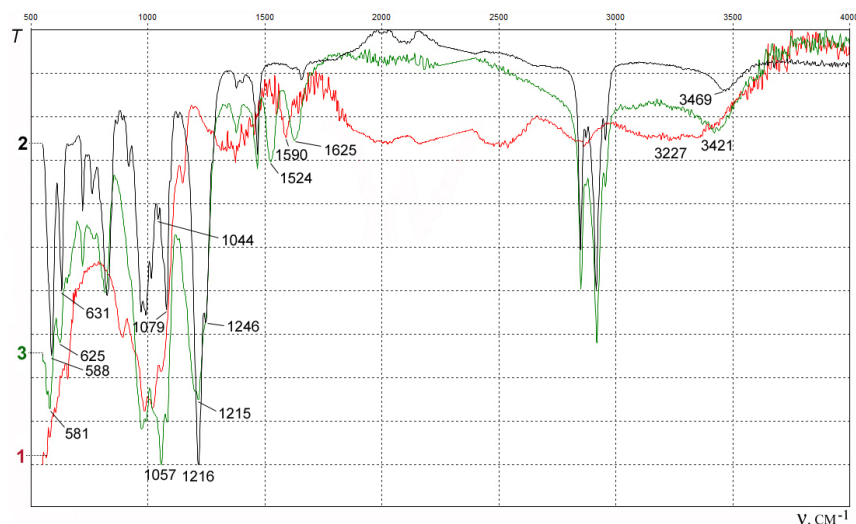


Рис. 2. ИК-спектры Chit (спектр 1), Ls (спектр 2) и их композита Chit-Ls (спектр 3).

Для получения композита Chit-Ls использован раствор Chit, содержащий уксусную кислоту, поэтому аминогруппа Chit будет протонирована (NH_3^+). На ионизированное состояние аминогруппы Chit в композите Chit-Ls указывает низкочастотное смещение полос поглощения деформационных колебаний связей NH. При этом наиболее интенсивная среди них полоса поглощения индивидуального Chit при 1590 см^{-1} и менее интенсивная полоса Амид II сдвигаются в спектре композита к 1524 см^{-1} . Таким образом, данные ИК-спектроскопии указывают на ионные взаимодействия между Chit и Ls при образовании их композита.

Образование комплекса катионов Pb^{2+} с композитом Chit-Ls приводит к множественным низкочастотным смещениям полос поглощения связей SO (рис. 3). Так, наиболее существенный сдвиг был отмечен для полосы поглощения антисимметричных валентных колебаний связей SO. Она сдвигается с 1215 см^{-1} к 1176 см^{-1} . Также наблюдается смещение полосы поглощения деформационных колебаний связей S=O при 625 см^{-1} на -10 см^{-1} . Полоса при 581 см^{-1} сдвигается к 573 см^{-1} . Эти факты указывают на участие связей SO композита Chit-Ls во взаимодействии с катионами свинца.

Комплексообразование с ионами Pb^{2+} практически не вызывает сдвига полос поглощения валентных колебаний связей C–O в группах C–O–C и C–OH у Chit, входящего в состав композита с Ls. Очевидно, что группы OH у Chit не вовлечены в формирование комплекса.

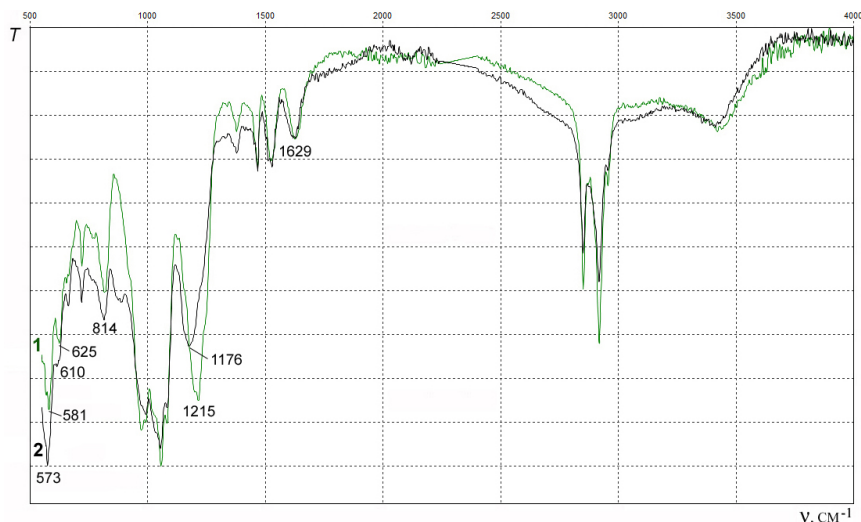


Рис. 3. ИК-спектры композита Chit–Ls (спектр 1) и комплекса Chit–Ls–Pb(II) (спектр 2).

СЭМ-анализ. Частицы Chit имели округлую форму и гладкую поверхность (рис. 4, А). У композита Chit–Ls пластинчатые частицы с неровными краями и небольшой шероховатой поверхностью, что, возможно, вызвано высвобождением воды в процессе его высушивания (рис. 4, Б). У комплекса композита Chit–Ls–Pb(II) изменилась морфология поверхности микрочастиц. Они утолщились, имеют разнообразную топологическую форму, пористую поверхность и разный размер (рис. 4, В).

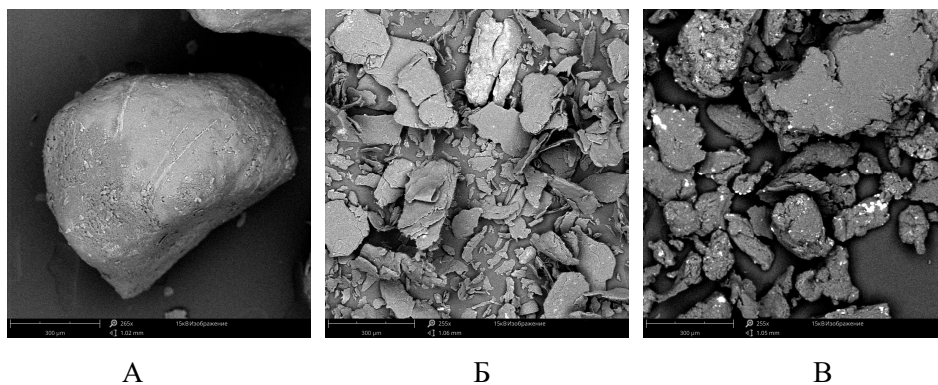


Рис. 4. СЭМ-микрофотографии Chit (А), композита Chit–Ls (Б) и комплекса Chit–Ls–Pb(II) (В).

Работа выполнена на оборудовании Севастопольского государственного университета.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Проведен детальный ИК-Фурье-спектроскопический анализ композита Chit–Ls и комплекса Chit–Ls–Pb(II).
2. Композит Chit и Ls формируется за счет ионных взаимодействий между компонентами. В комплексообразовании композита Chit–Ls с катионами свинца принимают участие связи SO молекулы Ls.
3. Взаимодействие композита Chit–Ls с ионами Pb(II) сопровождается изменением морфологии поверхности микрочастиц.

Список литературы

1. Zargar V. A review on chitin and chitosan polymers: structure, chemistry, solubility, derivatives, and applications / V. Zargar, M. Asghari, A. Dashti // ChemBioEng Reviews. – 2015. – Vol. 2, № 3. – P. 204–226.
2. Kusmono. Water sorption, antimicrobial activity, and thermal and mechanical properties of chitosan/clay/glycerol nanocomposite films / Kusmono, I. Abdurrahim // Heliyon. – 2019. – Vol. 5, № 8. – e02342.
3. Бузинова Д. А. Сорбционные и бактерицидные свойства пленок хитозана / Д. А. Бузинова, А. Б. Шиповская // Известия Саратовского университета. Сер. Химия. Биология. Экология. – 2008. – Т. 8, № 2. – С. 42–46.
4. Shi L. E. Chitosan nanoparticles as drug delivery carriers for biomedical engineering / L. E. Shi, X. J. Fang, L. Y. Xing [et al.] // J. Chem. Soc. Pakistan. – 2011. – Vol. 33, № 6. – 929–934.
5. Yakovishin L. Development and IR spectroscopic analysis of composite materials based on poly(methyl methacrylate) and chitosan / L. Yakovishin, E. Tkachenko, Y. Tolstenko [et al.] // Materials Science Forum. – 2022. – Vol. 1065. – P. 145–154.
6. Yakovishin L. A. Composite materials based on dental acrylic plastic and chitosan / L. A. Yakovishin, E. V. Tkachenko // Chimica Techno Acta. – 2021. – Vol. 8, № 4. – 20218413.
7. Ринодо М. ПАВ-полиэлектролитные комплексы на основе производных хитина / М. Ринодо, Н. Р. Кильдеева, В. Г. Бабак // Российский химический журнал. – 2008. – Т. 52, № 1. – С. 84–91.
8. da Silva Alves D. C. Recent developments in chitosan-based adsorbents for the removal of pollutants from aqueous environments / D. C. da Silva Alves, B. Healy, L. A. d. A. Pinto [et al.] // Molecules. – 2021. – Vol. 26, № 3. – 594.
9. Вихорева Г. А. Комплексообразование в системе додецилсульфат натрия хитозан / Г. А. Вихорева, В. Г. Бабак, Е. Ф. Галич [и др.] // Высокомолекулярные соединения. – 1997. – Т. 39, № 6. – С. 947–952.
10. Ткаченко Э. В. Изучение сорбционной способности комплекса хитозан-додецилсульфат натрия на примере сорбции ионов свинца / Э. В. Ткаченко, С. В. Русяев // Ученые записки Крымского федерального университета имени В. И. Вернадского. Биология. Химия. – 2023. – Т. 9 (75), № 2. – С. 268–275.

CHITOSAN–SODIUM DODECYL SULFATE COMPOSITE AND ITS COMPLEX WITH LEAD IONS

Yakovishin L. A.¹, Tkachenko E. V.¹, Grishkovets V. I.²¹Sevastopol State University, Sevastopol, Russia²V.I. Vernadsky Crimean Federal University, Simferopol, Russia

E-mail: chemseventu@rambler.ru

Recently, composite materials based on chitosan (Chit) and sodium dodecyl sulfate or lauryl sulfate (Ls) have been developed, which have good adsorption properties with respect to lead ions Pb^{2+} . However, their detailed IR spectroscopic analysis has not been carried out. To obtain the Chit–Ls composite, a Chit solution (200 kDa, deacetylation degree 83 %) containing acetic acid was used, so the amino group of Chit will be protonated (NH_3^+). The ionized state of the Chit amino group in the Chit–Ls composite is indicated by the low-frequency shift of the absorption bands of the bending vibrations of NH bonds. In this case, the most intense absorption band of individual Chit at 1590 cm^{-1} and the less intense Amide II bands are shifted in the spectrum of the composite to 1524 cm^{-1} . Thus, the IR spectroscopy data indicate ionic interactions between Chit and Ls during the formation of their composite.

The formation of Pb^{2+} complex with the Chit–Ls composite results in multiple low-frequency shifts of the absorption bands of SO bonds. The most significant shift was observed for the absorption band of asymmetric stretching vibrations of SO bonds. It shifts from 1215 cm^{-1} to 1176 cm^{-1} . A shift of the absorption band of bending vibrations of S=O bonds at 625 cm^{-1} by -10 cm^{-1} is also observed. The band at 581 cm^{-1} shifts to 573 cm^{-1} . These facts indicate the participation of SO bonds in the Chit–Ls composite in the interaction with lead cations.

Complexation with Pb^{2+} ions causes virtually no shift in the absorption bands of stretching vibrations of C–O bonds in the C–O–C and C–OH groups of Chit, which is part of the composite with Ls. It is obvious that the OH groups of Chit are not involved in the formation of the complex.

SEM showed that the Chit–Ls composite has plate-like particles with uneven edges and a small rough surface. The surface morphology of the microparticles of the Chit–Ls–Pb(II) composite complex has changed. They have become thicker, have a diverse topological shape, a porous surface, and different sizes.

Keywords: chitosan, sodium dodecyl sulfate, lead, complex, IR-Fourier spectroscopy, scanning electron microscopy.

References

1. Zargar V., Asghari M., Dashti A. A review on chitin and chitosan polymers: structure, chemistry, solubility, derivatives, and applications, *ChemBioEng Reviews*, **2** (3), 204 (2015).
2. Kusmono, Abdurrahim I. Water sorption, antimicrobial activity, and thermal and mechanical properties of chitosan/clay/glycerol nanocomposite films, *Heliyon*, **5** (8), e02342 (2019).
3. Buzinova D. A., Shipovskaya A. B. Sorption and bactericide properties of chitosan films, *Izvestiya of Saratov University. Chemistry. Biology. Ecology*, **8** (2), 42 (2008). (in Russ.).

4. Shi L. E., Fang X. J., Xing L. Y., Chen M., Zhu D. S., Guo X. F., Zhao L. M., Tang Z. X. Chitosan nanoparticles as drug delivery carriers for biomedical engineering, *J. Chem. Soc. Pakistan*, **33** (6), 929 (2011).
5. Yakovishin L., Tkachenko E., Tolstenko Y., Korzh E. Development and IR spectroscopic analysis of composite materials based on poly(methyl methacrylate) and chitosan, *Materials Science Forum*, **1065**, 145 (2022).
6. Yakovishin L. A., Tkachenko E. V. Composite materials based on dental acrylic plastic and chitosan, *Chimica Techno Acta*, **8** (4), 20218413 (2021).
7. Rinaudo M., Kildeeva N. R., Babak V. G. Surfactants-polyelectrolyte complexes based on chitin derivatives, *Russian Chemical Journal*, **52** (1), 84 (2008). (*in Russ.*).
8. da Silva Alves D. C., Healy B., Pinto L. A. d. A., Cadaval T. R. S. Jr., Breslin C. B. Recent developments in chitosan-based adsorbents for the removal of pollutants from aqueous environments, *Molecules*, **26** (3), 594 (2021).
9. Vikhoreva G. A., Babak V. G., Galich E. F., Gal'braikh L. S. Complex formation in the sodium dodecyl sulfate–chitosan system, *Polymer Science. Series A*, **39** (6), 947 (1997). (*in Russ.*).
10. Tkachenko E. V., Rusyaev S. V. Study of the sorption capacity of the chitosan-sodium dodecyl sulfate complex on the example of lead ion sorption, *Scientific Notes of V. I. Vernadsky Crimean Federal University. Biology. Chemistry*, **9** (2), 268 (2023). (*in Russ.*).

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Аединова Диана Закировна	Институт биохимических технологий, экологии и фармации (структурное подразделение) ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет имени В. И. Вернадского», обучающаяся направления подготовки 06.03.01 Биология
Александрова Асель Биляловна	Институт проблем экологии и недропользования АН РТ, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник лаборатории биогеохимии, e-mail: adabl@mail.ru
Алексашкин Игорь Владимирович	Институт биохимических технологий, экологии и фармации (структурное подразделение) ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет им. В.И. Вернадского», кандидат химических наук, доцент, заместитель директора по молодежной политике и воспитательной работе; Карадагская научная станция имени Т. И. Вяземского – природный заповедник РАН, старший научный сотрудник
Белоусов Виктор Викторович	Институт биохимических технологий, экологии и фармации (структурное подразделение) ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет им. В. И. Вернадского», аспирант 1 года обучения кафедры ботаники и физиологии растений и биотехнологий
Беляева Ольга Владимировна	Самарский национальный исследовательский университет имени академика С. П. Королева, кандидат медицинских наук, доцент, доцент кафедры физиологии человека и животных
Брага Елена Владимировна	Институт биохимических технологий, экологии и фармации (структурное подразделение) ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет им. В. И. Вернадского», кандидат химических наук, доцент кафедры общей химии
Бушов Юрий Валентинович	Институт биологии, экологии, почвоведения, сельского и лесного хозяйства Национального исследовательского Томского государственного университета, профессор, доктор биологических наук, профессор кафедры физиологии человека и животных, e-mail: bushov@bio.tsu.ru
Ведясова Ольга Александровна	Самарский национальный исследовательский университет имени академика С. П. Королева, доктор биологических наук, профессор, профессор кафедры физиологии человека и животных
Вяткина Оксана Валерьевна	Институт биохимических технологий, экологии и фармации, ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет им. В. И. Вернадского», кандидат химических наук, доцент кафедры общей химии, e-mail: oksana_vyatkina@list.ru

Головин Михаил Сергеевич	Новосибирский государственный педагогический университет, кандидат биологических наук, доцент кафедры анатомии, физиологии и безопасности жизнедеятельности
Гордеева Карина Андреевна	Институт проблем экологии и недропользования АН РТ, научный сотрудник лаборатории экологии почв, e-mail: Karina_869@mail.ru
Гришковец Владимир Иванович	Институт биохимических технологий, экологии и фармации (структурное подразделение) ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет им. В. И. Вернадского», доктор химических наук, профессор кафедры «Общая химия»
Губарев Федор Александрович	Севастопольский государственный университет, доктор технических наук, доцент, профессор кафедры «Энергетические системы и комплексы традиционных и возобновляемых источников»
Гусев Алексей Николаевич	Институт биохимических технологий, экологии и фармации (структурное подразделение) ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет им. В. И. Вернадского», доктор химических наук, заведующий кафедрой общей химии
Дворецкая Надежда Игоревна	Институт биохимических технологий, экологии и фармации (структурное подразделение) ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет имени В. И. Вернадского», обучающаяся направления подготовки 06.04.01 Биология
Делагарди Эстер Ренардовна	Новосибирский государственный педагогический университет, аспирант кафедры анатомии, физиологии и безопасности жизнедеятельности
Джелдубаева Эльвица Рашидовна	Институт биохимических технологий, экологии и фармации (структурное подразделение) ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет им. В. И. Вернадского», кандидат биологических наук, доцент кафедры физиологии человека и животных и биофизики
Дубас Виктория Викторовна	Институт биологии южных морей имени А. О. Ковалевского РАН, аспирант, младший научный сотрудник; Карадагская научная станция имени Т. И. Вяземского – природный заповедник РАН; Институт биохимических технологий, экологии и фармации (структурное подразделение) ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет им. В. И. Вернадского»
Захаров Константин Сергеевич	Институт биохимических технологий, экологии и фармации (структурное подразделение) ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет им. В. И. Вернадского», студент 1 курса магистратуры, старший лаборант кафедры органической химии, e-mail: kostya.zakharov002@mail.ru

Кислякова Светлана Сергеевна	Уральский государственный университет физической культуры, кандидат биологических наук, доцент кафедры безопасности жизнедеятельности, e-mail: horovets@mail.ru
Козлова Анна Павловна	Новосибирский государственный педагогический университет, кандидат биологических наук, доцент кафедры анатомии, физиологии и безопасности жизнедеятельности
Копылец Татьяна Алексеевна	ФГАОУ ВО «Казанский (Приволжский) федеральный университет», Химический институт им. А. М. Бутлерова, магистр 1 курса
Корощенко Галина Анатольевна	Новосибирский государственный педагогический университет, кандидат биологических наук, и.о. заведующего кафедры анатомии, физиологии и безопасности жизнедеятельности
Кротова Ирина Геннадьевна	Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева, доктор медицинских наук, профессор, профессор кафедры физиологии человека и животных
Кулагина Валентина Ивановна	Институт проблем экологии и недропользования АН РТ, кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник лаборатории экологии почв, e-mail: viksoil@mail.ru
Ливенцов Станислав Юрьевич	Институт биохимических технологий, экологии и фармации (структурное подразделение) ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет им. В.И. Вернадского», аспирант кафедры физиологии человека и животных и биофизики
Лобастова Кристина Юрьевна	Южно-Уральский Государственный университет, аспирант кафедры теории и методики физической культуры и спорта, институт спорта, туризма и сервиса, e-mail: kristina.lobastova94@mail.ru
Макаров Михаил Валериевич	ФГБУН ФИЦ «Институт биологии южных морей им. А. О. Ковалевского РАН», кандидат биологических наук, старший научный сотрудник, e-mail: makarov@ibss-ras.ru
Мамонтов Кирилл Михайлович	Институт биохимических технологий, экологии и фармации (структурное подразделение) ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет им. В. И. Вернадского», аспирант кафедры общей химии
Медянкина Мария Владимировна	Московский государственный университет технологий и управления МГУТУ им. К. Г. Разумовского (Первый казачий университет), кандидат биологических наук, доцент, доцент кафедры экологии и природопользования факультета биотехнологий и рыбного хозяйства, e-mail: mediankina@mail.ru

Мельник Владимир Михайлович	Институт биохимических технологий, экологии и фармации (структурное подразделение) ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет им. В. И. Вернадского», бакалавр 4 курса кафедры «Общая химия»
Милюкова Ольга Александровна	Институт биохимических технологий, экологии и фармации, ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет им. В. И. Вернадского», магистр 1 курса
Мусса Авалдугубах	Томский политехнический университет, аспирант
Назырова Лина Эльдаровна	Институт биохимических технологий, экологии и фармации (структурное подразделение) ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет имени В. И. Вернадского», обучающаяся направления подготовки 06.03.01 Биология
Новак Родион Евменович	Гуманитарно-педагогическая академия (филиал) ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет имени В. И. Вернадского», магистр
Павленко Снежанна Ивановна	Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева, кандидат биологических наук, доцент, доцент кафедры физиологии человека и животных
Перошкова Дарья Анатольевна	Институт биохимических технологий, экологии и фармации (структурное подразделение) ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет имени В. И. Вернадского», обучающаяся 1-го курса направления подготовки 04.04.01 Химия (магистратура)
Пласкальная Елизавета Ивановна	Институт биохимических технологий, экологии и фармации (структурное подразделение) ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет им. В. И. Вернадского», обучающийся направления подготовки 06.03.01
Погодина Светлана Владирировна	ФГАОУ ВО Крымский федеральный университет имени В. И. Вернадского, доктор биологических наук, доцент, профессор кафедры спорта и физического воспитания
Поддубов Александр Игоревич	Институт биохимических технологий, экологии и фармации (структурное подразделение) ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет им. В. И. Вернадского», заведующий лабораторией кафедры органической химии
Попова Наталья Николаевна	Воронежская государственная академия спорта, доктор биологических наук, профессор кафедры медико-биологических, естественно-научных и математических дисциплин, e-mail: leskea@vmail.ru

Присянникова Ирина Борисовна	Институт биохимических технологий, экологии и фармации ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет им. В. И. Вернадского», кандидат биологических наук, доцент кафедры ботаники и физиологии растений и биотехнологий.
Прыгунова Ирина Леонидовна	Филиала Московского государственного университета в г. Севастополе, доцент кафедры геоэкологии
Пышкин Владимир Борисович	Институт биохимических технологий, экологии и фармации ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет им. В. И. Вернадского», доцент кафедры общей биологии и генетики
Рахимов Ильгизар Ильясович	ФГАОУ ВО «Казанский (Приволжский) федеральный университет» Институт фундаментальной медицины и биологии, доктор биологических наук, профессор кафедры биоэкологии, гигиены и общественного здоровья, e-mail: rakhim56@mail
Ржевская Виктория Степановна	Институт биохимических технологий, экологии и фармации (структурное подразделение) ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет им. В. И. Вернадского», аспирант кафедры ботаники и физиологии растений и биотехнологий
Руднева Ирина Ивановна	ФИЦ Морской гидрофизический институт РАН, лаборатория Инновационного морского приборостроения, доктор биологических наук, профессор, ведущий научный сотрудник, e-mail: svg-41@mail.ru
Рупова Эльмира Ханисовна	Институт проблем экологии и недропользования АН РТ, кандидат сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник лаборатории экологии почв, e-mail: elmira.rupova@mail.ru
Рязанов Станислав Сергеевич	Институт проблем экологии и недропользования АН РТ, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник лаборатории экологии почв, e-mail: RStanislav.soil@yandex.ru
Саломатина Алиса Игоревна	Академия биологии и биотехнологии им. Д. И. Ивановского Южного федерального университета, студент
Сарнит Елена Александровна	Институт биохимических технологий, экологии и фармации ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет им. В. И. Вернадского», кандидат химических наук, доцент кафедры общей химии

Сидякин Андрей Иванович	Институт биохимических технологий, экологии и фармации ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет им. В. И. Вернадского», кандидат биологических наук, доцент кафедры ботаники и физиологии растений и биотехнологий, ООО «НПО "Биотехсоюз"», заведующий лабораторией биотехнологий, e-mail: acid2302@mail.ru
Синявская Валентина Сергеевна	Академия биологии и биотехнологии им. Д. И. Ивановского Южного федерального университета, аспирант, ассистент кафедры зоологии
Скрябина Анастасия Александровна	Институт биологии, экологии, почвоведения, сельского и лесного хозяйства Национального исследовательского Томского государственного университета, ассистент, учебный мастер кафедры физиологии человека и животных, e-mail: skryabina.anastasiya1994@yandex.ru
Соболев Валерий Иванович	ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет им. В. И. Вернадского», доктор биологических наук, профессор, профессор кафедры здоровья и реабилитации, e-mail: v.sobolev@mail.ru
Суботялов Михаил Альбертович	Новосибирский государственный педагогический университет, доктор медицинских наук, профессор кафедры анатомии, физиологии и безопасности жизнедеятельности; Новосибирский государственный университет, доцент кафедры фундаментальной медицины
Сунгатуллина Люция Мансуровна	Институт проблем экологии и недропользования АН РТ, старший научный сотрудник лаборатории экологии почв, e-mail: Sunlyc@yandex.ru
Сытников Денис Михайлович	Севастопольский государственный университет, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник, доцент кафедры «Радиоэкология и экологическая безопасность»
Тимофеев Владлен Дмитриевич	Ордена Трудового Красного Знамени Медицинский институт им. С. И. Георгиевского ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет имени В. И. Вернадского», обучающийся 1 курса Л1-с-о-243(2), направление подготовки Лечебное дело
Тимофеева Светлана Николаевна	ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет имени В. И. Вернадского», доцент кафедры спорта и физического воспитания
Тимофеев Юлия Валерьевна	Академия биологии и биотехнологии им. Д. И. Ивановского Южного федерального университета, кандидат биологических наук, старший преподаватель кафедры зоологии

Ткаченко Элла Владимировна	ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет», кандидат технических наук, доцент кафедры «Химия и химические технологии»
Туманянц Каринэ Николаевна	Институт биохимических технологий, экологии и фармации (структурное подразделение) ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет имени В. И. Вернадского», кандидат биологических наук, директор Центра коллективного пользования научным оборудованием «Экспериментальная физиология и биофизика», e-mail: timur328@gmail.com
Цикалов Виктор Валентинович	Институт биохимических технологий, экологии и фармации ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет им. В. И. Вернадского», кандидат химических наук, доцент кафедры общей химии
Чмелёва Светлана Ивановна	Институт биохимических технологий, экологии и фармации ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет им. В. И. Вернадского», кандидат биологических наук, доцент кафедры ботаники и физиологии растений и биотехнологий, e-mail: chmeleva-s@mail.ru
Чуян Елена Николаевна	Институт биохимических технологий, экологии и фармации (структурное подразделение) ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет им. В. И. Вернадского», доктор биологических наук, заведующий кафедры физиологии человека и животных и биофизики
Шагидуллин Рифгат Роальдович	Институт проблем экологии и недропользования АН РТ, член-корреспондент АН РТ, доктор химических наук, директор, e-mail: shagidullin@mail.ru
Шайда Валентин Григорьевич	ООО «ЭкоСервис-А», инженер-исследователь, e-mail: svg1841@mail.ru
Шмакова Елизавета Андреевна	Институт биохимических технологий, экологии и фармации ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет им. В. И. Вернадского», бакалавр 4 курса очной формы обучения направления подготовки 06.03.01 Биология
Яковенко Ярослав Павлович	Институт биохимических технологий, экологии и фармации (структурное подразделение) ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет им. В. И. Вернадского», обучающийся направления подготовки 06.03.01
Яковишин Леонид Александрович	ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет», доктор химических наук, профессор кафедры «Химия и химические технологии», e-mail: chemsevntu@rambler.ru

**Ярмиев
Ильназ Захитович**

ФГАОУ ВО «Казанский (Приволжский) федеральный университет» Институт фундаментальной медицины и биологии, аспирант кафедры биоэкологии, гигиены и общественного здоровья, e-mail: yarmiev82@gmail.com

**Ярмолук
Наталья Сергеевна**

Институт биохимических технологий, экологии и фармации (структурное подразделение) ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет им. В. И. Вернадского», кандидат биологических наук, доцент кафедры физиологии человека и животных и биофизики

СОДЕРЖАНИЕ

БИОЛОГИЧЕСКИЕ НАУКИ

- Алексахин И. В., Дубас В. В., Пласкальная Е. И., Яковенко Я. П.**
ПРОБЛЕМАТИКА ИСПОЛЬЗОВАНИЯ КЛАССИФИКАЦИЙ ПОЧВ РОССИИ ДЛЯ
ОПРЕДЕЛЕНИЯ И ДИАГНОСТИРОВАНИЯ ПОЧВ КРЫМА 3
- Делагарди Э. Р., Головин М. С., Корощенко Г. А., Козлова А. П., Суботялов М. А.**
МОРФОФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ ОСОБЕННОСТИ ДЕВУШЕК ПЕДАГОГИЧЕСКОГО
ВУЗА В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ТИПОВ ВЫСШЕЙ НЕРВНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ.....18
- Джелдубаева Э. Р., Ярмолюк Н. С., Ржевская В. С., Туманянц К. Н., Назырова Л. Э.**
БИОХИМИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ КРОВИ КРЫС ПОСЛЕ ПРИЕМА КУРСА
ПРОБИОТИЧЕСКОГО МИКРОБНОГО КОНСОРЦИУМА НА ФОНЕ АЛЛОКСАН-
ИНДУЦИРОВАННОГО ДИАБЕТА 29
- Кретьова И. Г., Ведясова О. А., Беляева О. В., Павленко С. И.**
АНАЛИЗ ФУНКЦИОНАЛЬНОГО СОСТОЯНИЯ СЕРДЕЧНО-СОСУДИСТОЙ
СИСТЕМЫ СОВРЕМЕННЫХ СТУДЕНТОВ.....41
- Кулагина В. И., Александрова А. Б., Рязанов С. С., Шагидуллин Р. Р.,
Гордеева К. А., Сунгатуллина Л. М., Рупова Э. Х.**
ЗАПАСЫ УГЛЕРОДА В ПОЧВАХ И БИОМАССЕ ДРЕВОСТОЯ МОЛОДЫХ И
СРЕДНЕВОЗРАСТНЫХ ЛЕСОВ ТАТАРСТАНА.....53
- Лобастова К. Ю., Кислякова С. С.**
АДАПТАЦИОННЫЕ МЕХАНИЗМЫ КАРДИОРЕСПИРАТОРНОЙ СИСТЕМЫ
СТУДЕНТОК 18-20 ЛЕТ ПРИ ФУНКЦИОНАЛЬНОМ ТРЕНИНГЕ С ПОДВЕСНЫМИ
ПЕТЛЯМИ.....67
- Макаров М. В.**
СЕЗОННАЯ ДИНАМИКА КАЧЕСТВЕННОГО СОСТАВА И КОЛИЧЕСТВЕННЫХ
ПОКАЗАТЕЛЕЙ ТАКСОЦЕНА MOLLUSCA В Р. БИЮК-КАРАСУ (КРЫМ) 79
- Попова Н. Н.**
БРИОФЛОРА ДЕЙСТВУЮЩИХ И ПЕРСПЕКТИВНЫХ ОХРАНЯЕМЫХ
ТЕРРИТОРИЙ КАЛАЧСКОГО ОБРАЖНО-БАЛОЧНОГО ЮЖНОЛЕСОСТЕПНОГО
ЛАНДШАФТНОГО РАЙОНА, ВОРОНЕЖСКАЯ ОБЛАСТЬ (ЧАСТЬ 1) 91
- Просяникова И. Б., Шмакова Е. А.**
ЛОКАЛИЗАЦИЯ ДВУХ ВИДОВ ГРИБОВ *GOLOVINOMYCES CICHORACEARUM*
(DC.) HELUTA И *PUCCINIA LACTUCARUM* P. SYD. И ИХ ВЛИЯНИЕ НА
АНАТОМИЧЕСКОЕ СТРОЕНИЕ ПИТАЮЩЕГО РАСТЕНИЯ *LACTUCA QUERCINA*
L. (ASTERACEAE) В ГОРНОМ КРЫМУ 111
- Пышкин В. Б., Прыгунова И. Л.**
ИЕРАРХИЧЕСКОЕ РАЗНООБРАЗИЕ И ТАКСОНОМИЧЕСКАЯ СЛОЖНОСТЬ
ЭТОМОЛОГИЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ ЦЕРАМБИЦИД (*INSECTA*:
CERAMBYCIDAЕ) В ЭКОСИСТЕМАХ КРЫМСКОГО ПОЛУОСТРОВА.....126
- Руднева И. И., Шайда В. Г., Медянкина М. В.**
ВЛИЯНИЕ ДИСПЕРГЕНТА НА ЭМБРИОНАЛЬНОЕ И ПОСТЭМБРИОНАЛЬНОЕ
РАЗВИТИЕ СЕВРЮГИ *ACIPENCER STELLATUS* 140

Сидякин А. И., Чмелёва С. И., Белоусов В. В., Джелдубаева Э. Р., Туманянц К. Н. АКТИВНОСТЬ КАТАЛАЗЫ И ПЕРОКСИДАЗЫ ПШЕНИЦЫ И ТОМАТОВ ПРИ ИНОКУЛЯЦИИ <i>TRIHODERMA</i> SP. НА РАННИХ ЭТАПАХ ОНТОГЕНЕЗА.....	151
Скрябина А. А., Бушов Ю. В. СИСТЕМА ЗЕРКАЛЬНЫХ НЕЙРОНОВ – ВРОЖДЕННЫЙ МЕХАНИЗМ ИЛИ РЕЗУЛЬТАТ ОБУЧЕНИЯ?.....	162
Соболев В. И., Новак Р. Е. НЕЗАВИСИМОСТЬ ЛАТЕНТНОГО ПЕРИОДА ПРОСТОЙ ТАКТИЛЬНО- МОТОРНОЙ РЕАКЦИИ ОТ ПРЕДСОЗНАТЕЛЬНОЙ КОМПОНЕНТЫ ОЩУЩЕНИЯ В УСЛОВИЯХ ОБРАТНОЙ МАСКИРОВКИ.....	170
Сытников Д. М., Мусса А., Губарев Ф. А. РЕАКЦИЯ ОВСА ПОСЕВНОГО НА ПРИСУТСТВИЕ НАНОЧАСТИЦ АЛЮМИНИЯ В ПИТАТЕЛЬНОМ СУБСТРАТЕ	179
Тимофеева С. Н., Погодина С. В., Тимофеев В. Д. ОСОБЕННОСТИ ФИЗИОЛОГИЧЕСКОЙ РЕАКТИВНОСТИ ДЫХАТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ У ВЫСОКОКВАЛИФИЦИРОВАННЫХ СПОРТСМЕНОВ МУЖСКОГО ПОЛА В ВОЗРАСТНОМ ДИАПАЗОНЕ 17-46 ЛЕТ	189
Тимофеева С. Н., Тимофеев В. Д., Погодина С. В. ТЕХНОЛОГИИ ЭКСПРЕСС ДИАГНОСТИКИ В УПРАВЛЕНИИ ТРЕНИРОВОЧНОЙ НАГРУЗКОЙ И ФУНКЦИОНАЛЬНЫМ СОСТОЯНИЕМ ЮНЫХ КАРАТИСТОВ НА ПРЕДСОРЕВНОВАТЕЛЬНОМ ЭТАПЕ	201
Тимофеев Ю. В., Саломатина А. И., Синяевская В. С. КАТАЛОГ КОЛЛЕКЦИИ «ЗООЛОГИЧЕСКОГО МУЗЕЯ ЮФУ». СООБЩЕНИЕ 14. ОТРЯД ВОРОБЬИНООБРАЗНЫЕ – PASSERIFORMES, СЕМЕЙСТВО ДРОЗДОВЫЕ – TURDIDAE	208
Чуян Е. Н., Ливенцов С. Ю., Дворецкая Н. И. ОСОБЕННОСТИ ИЗМЕНЕНИЯ БИОХИМИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ КРОВИ КРЫС В УСЛОВИЯХ РАЗНЫХ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ МОДЕЛЕЙ АЛЛОКСАН- ИНДУЦИРОВАННОГО ДИАБЕТА.....	226
Ярмиев И. З., Рахимов И. И. ИЗМЕНЕНИЯ ЧИСЛЕННОСТИ ОХОТНИЧЬИХ ВИДОВ ЖИВОТНЫХ В ТАТАРСТАНЕ ЗА ПОСЛЕДНИЕ 13 ЛЕТ	250
Ярмолук Н. С., Джелдубаева Э. Р., Ржевская В. С., Туманянц К. Н., Аединова Д. З. ВЛИЯНИЕ ПРОБИОТИЧЕСКОГО МИКРОБНОГО КОНСОРЦИУМА НА ПОВЕДЕНЧЕСКИЕ РЕАКЦИИ КРЫС С АЛЛОКСАН-ИНДУЦИРОВАННЫМ САХАРНЫМ ДИАБЕТОМ	260

ХИМИЧЕСКИЕ НАУКИ

Брага Е. В., Мамонтов К. М., Сидякин А. И., Гусев А. Н. МОНОЯДЕРНЫЙ КОМПЛЕКС ЦИНКА С ТЕТРАДЕНТАТНЫМ N ₂ O ₂ -ДОНОРНЫМ ЛИГАНДОМ КАК ПЕРСПЕКТИВНЫЙ МАТЕРИАЛ ДЛЯ БИОВИЗУАЛИЗАЦИИ	273

Вяткина О. В., Копылец Т. А., Милюкова О. А. КАТАЛИТИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА КОМПОЗИТНЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ ОКСИДА ЦИНКА	283
Гришковец В. И., Яковишин Л. А., Ткаченко Э. В., Мельник В. М. СКРИНИНГ ВОДОРАСТВОРИМЫХ ПРИРОДНЫХ И СИНТЕТИЧЕСКИХ ПОЛИМЕРНЫХ МАТЕРИАЛОВ, ВЛИЯЮЩИХ НА ПРОЦЕСС ОТВЕРЖДЕНИЯ ГИПСА	294
Захаров К. С., Гусев А. Н., Брага Е. В. КООРДИНАЦИОННЫЕ СОЕДИНЕНИЯ БРОМИДА И ИОДИДА МЕДИ(II) С 3- ПИРИДИН-4-ИЛ-5-(4-ХЛОРФЕНИЛ)-1H-1,2,4-ТРИАЗОЛОМ	301
Сарнит Е. А., Цикалов В. В., Поддубов А. И., Перошкова Д. А. СИНТЕЗ И ПРОГНОЗИРУЕМАЯ ПРОТИВОТУБЕРКУЛЁЗНАЯ АКТИВНОСТЬ ПРОИЗВОДНЫХ (2-МЕТИЛ-1H-БЕНЗИМИДАЗОЛ-1-ИЛ)ЭТАНОВОЙ И (5,6-ДИМЕТИЛ-1H-БЕНЗИМИДАЗОЛ-1-ИЛ)ЭТАНОВОЙ КИСЛОТЫ	310
Яковишин Л. А., Ткаченко Э. В., Гришковец В. И. КОМПОЗИТ ХИТОЗАН–ДОДЕЦИЛСУЛЬФАТ НАТРИЯ И ЕГО КОМПЛЕКС С ИОНАМИ СВИНЦА	321
СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ	329
СОДЕРЖАНИЕ	337