

УЧЕНЫЕ ЗАПИСКИ

**КРЫМСКОГО ФЕДЕРАЛЬНОГО
УНИВЕРСИТЕТА имени В. И. ВЕРНАДСКОГО.
БИОЛОГИЯ. ХИМИЯ**

Научный журнал

Том 10 (76), № 4

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, 2024**

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 № 8 от 31 октября 2024 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. – биорганическая 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. Яковишин Леонид Александрович, д. х. н.

Адрес редакции: 295007, г. Симферополь, пр-т Академика Вернадского, 4, корп. Б, ауд. 328
Подписано в печать 11.12.2024. Формат 70x100/16. Заказ № НП/126. Тираж 50. Цена «Бесплатно».

Дата выхода в свет «__» _____ 2024 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>

БИОЛОГИЧЕСКИЕ НАУКИ

Ученые записки Крымского федерального университета имени В. И. Вернадского

Биология. Химия. Том 10 (76). 2024. № 4. С. 3–12.

УДК 619: 616-091.8

DOI 10.29039/2413-1725-2024-10-4-3-12

ВЛИЯНИЕ ФАКТОРОВ СРЕДЫ НА ОКСИДАТИВНЫЙ СТРЕСС У ЖИВОТНЫХ И МЕТОДЫ ЕГО КОРРЕКЦИИ

Адиева А. А.^{1,2}, Исраилова А. И.¹, Амирханова И. В.^{1,2}

*¹Прикаспийский институт биологических ресурсов Дагестанского Федерального
Исследовательского центра Российской Академии Наук, Махачкала, Республика Дагестан,
Россия*

*²ГАОУ ДО РД «Центр Развития Талантов «Альтаир», Махачкала, Республика Дагестан, Россия
E-mail: adieva-m@mail.ru*

Оксидативный стресс у животных возникает в результате дисбаланса между производством свободных радикалов и антиоксидантной защитой организма, что может привести к повреждению клеток и тканей. Влияние факторов окружающей среды, таких как загрязнение, изменения климата, питание, физический и эмоциональный стресс, играет значительную роль в развитии оксидативного стресса. Основное внимание уделяется диетическим антиоксидантам, фармакологическим агентам, улучшению условий содержания, физической активности и обогащению среды, а также применению пробиотиков и пребиотиков. Эти подходы способствуют снижению уровня оксидативного стресса и улучшению здоровья и продуктивности животных.

Ключевые слова: оксидативный стресс, факторы окружающей среды, загрязнение, питание, антиоксиданты, условия содержания, фармакологические агенты, физическая активность, пробиотики, здоровье животных.

ВВЕДЕНИЕ

Оксидативный стресс является важным биологическим процессом, возникающим в организме животных в ответ на дисбаланс между производством свободных радикалов и их нейтрализацией антиоксидантной системой. Этот дисбаланс может привести к повреждению клеток и тканей, что, в свою очередь, может повлиять на здоровье и продуктивность животных. Влияние факторов среды на развитие оксидативного стресса и методы его коррекции являются актуальными темами для исследований в области ветеринарии и биологии животных.

Оксидативный стресс – это состояние, характеризующееся нарушением баланса между образованием реактивных форм кислорода (РФО) и антиоксидантной защитой организма. Этот дисбаланс приводит к повреждению клеточных компонентов, таких как липиды, белки и ДНК, что может привести к различным заболеваниям и снижению продуктивности животных. Факторы окружающей

среды, такие как загрязнение, питание, физический и эмоциональный стресс, играют ключевую роль в возникновении и развитии оксидативного стресса. В этом исследовании рассматриваются основные экологические и физиологические факторы, способствующие оксидативному стрессу у животных, а также методы его коррекции [1].

"Влияние на среду обитания животных и методы его коррекции" вы найдете важный вклад в понимание биологических и экологических процессов. Он использовал несколько причин и отличался от других обзоров по данной тематике благодаря своей многогранно

Во-первых, данная обзорная статья предлагает комплексный анализ факторов окружающей среды, вызывающих оксидативный стресс у животных. Это включает в себя различные аспекты, такие как загрязнение воздуха, воды и почвы, климатические изменения, а также воздействие токсических веществ. Такой всесторонний подход помогает понять, как разнообразные экологические условия могут быть вредны для здоровья животных, что не всегда подробно закреплено в других исследованиях, которые могут фокусироваться на отдельных аспектах или видах загрязнителей.

Во-вторых, обзор подчеркивает важность взаимодействия между различными факторами стресса и их кумулятивного эффекта. Это позволяет более точно оценить реальные условия, с которыми сталкиваются животные в природе или в антропогенно измененных экосистемах. Другие обзоры могут упускать этот аспект, концентрируясь на изучении отдельных стрессоров без учета их комбинированного воздействия.

Третьей отличительной чертой является акцент на современных методах коррекции оксидативного стресса. Обзор включает в себя последние достижения в области биомедицины и биотехнологий, такие как применение антиоксидантов, генной терапии и адаптивных стратегий питания. Это делает обзор не только теоретически значимым, но и практически применимым для разработок в области ветеринарии, сельского хозяйства и природоохранных мероприятий.

Еще одной полезной особенностью данного обзора является рассмотрение специфических реакций различных видов животных на оксидативный стресс. Это помогает в разработке более эффективных и целенаправленных методов коррекции, учитывающих видовые особенности метаболизма и физиологии. В то время как многие обзоры могут ограничиваться общими рекомендациями, этот обзор предлагает более детализированные и адаптированные подходы.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Важным аспектом является междисциплинарный подход, используемый в данном обзоре. Он представляет собой стратегию знаний из экологии, биохимии, медицины и ветеринарии, предлагая целостную картину проблемы и способы ее решения. Такой интегративный метод отличается от узкоспециализированных исследований и обеспечивает более широкий круг общения для понимания и управления оксидативным стрессом у животных.

В данный обзор включено следующее: он предлагает комплексное и междисциплинарное понимание проблемы, акцентирует внимание на кумулятивном

эффекте различных факторов среды и описывает современные и видоспецифичные методы коррекции оксидативного стресса. Это делает его уникальным и ценным ресурсом для ученых, ветеринаров и экологов, работающих в данной области.

Целью данного обзора является комплексное исследование воздействия различных факторов окружающей среды на развитие оксидативного стресса у животных и анализ современных методов его коррекции. Обзор направлен на обобщение и систематизацию существующих данных, выявление основных механизмов воздействия экологических стрессоров, а также оценку эффективности различных подходов к снижению негативных последствий оксидативного стресса с учетом видоспецифичных особенностей и междисциплинарного подхода.

Влияние факторов окружающей среды на оксидативный стресс загрязнение окружающей среды

Загрязнение воздуха, воды и почвы токсичными веществами, такими как тяжелые металлы, пестициды и промышленные выбросы, может способствовать увеличению оксидативного стресса у животных. Эти загрязнители могут генерировать свободные радикалы, которые атакуют клеточные мембраны, белки и ДНК, вызывая их повреждение.

Изменения климата, такие как повышение температуры и ультрафиолетового излучения, также могут способствовать повышению уровня оксидативного стресса у животных. Высокие температуры могут увеличивать метаболическую активность и, соответственно, производство РФО. Ультрафиолетовое излучение может повреждать ДНК и клеточные мембраны, увеличивая потребность в антиоксидантной защите [2].

Питание играет важную роль в поддержании антиоксидантного статуса организма. Несбалансированный рацион, недостаток важных микроэлементов и витаминов, таких как витамин Е, витамин С и селен, может снижать антиоксидантную защиту и способствовать развитию оксидативного стресса. С другой стороны, избыток насыщенных жиров и углеводов может увеличивать производство свободных радикалов и усиливать оксидативный стресс [3, 4].

Условия содержания животных, такие как скученность, неподходящий микроклимат, недостаток движения и психологический стресс, могут значительно способствовать развитию оксидативного стресса. Стрессовые факторы стимулируют выработку кортикостероидов и других гормонов, которые увеличивают производство свободных радикалов. Кроме того, хронический стресс может подавлять иммунную систему и снижать способность организма к нейтрализации РФО.

Комплексное воздействие факторов. Оксидативный стресс у животных является следствием сложного взаимодействия различных факторов окружающей среды и внутренних процессов. Понимание этих взаимодействий требует комплексного взаимодействия, наблюдения множества элементов.

Одним из ключевых факторов, способствующих развитию оксидативного стресса, является загрязнение окружающей среды. Загрязнение воздуха, воды и окружающей среды вредными веществами, такими как тяжелые металлы,

пестициды и промышленные выбросы, имеют последствия для здоровья животных. Изменения климата также играют важную роль в развитии оксидативного стресса. Повышение температуры и увеличение уровня ультрафиолетового излучения могут усилить метаболическую активность животных, что приводит к повышению производства РФО [5]. Высокие температуры могут вызвать стресс, который ухудшает окислительные процессы в клетках. Ультрафиолетовое излучение, в свою очередь, может повреждать ДНК и клеточные мембраны, что требует усиленного антиоксиданта [2].

Питание по-прежнему является одним из факторов, влияющих на оксидативный стресс. Несбалансированный рацион, недостаток важных микроэлементов и витаминов, таких как витамин Е, витамин С и лен, может ослабить антиоксидантную защиту организма. Недостаток этих нутриентов снижает способность организма к нейтрализации последних радикалов, что увеличивает риск оксидативного повреждения клеток [6].

Физический и эмоциональный стресс, вызванный воздействием содержания животных, также является причиной возникновения оксидативного стресса. Скученность, неподходящий микроклимат, недостаточное движение и психологический стресс могут стимулировать выработку кортикостероидов и других стрессовых гормонов, которые усиливают выработку крайних радикалов. Хронический стресс может подавлять иммунную систему, снижая способность организма к эффективной антиоксидантной защите.

Интегративный подход к изучению оксидативного стресса также включает исследование взаимодействия различных факторов окружающей среды. Например, сочетание загрязнения и изменения климата может иметь синергетический эффект, усиливая оксидативные повреждения клеток. Понимание таких взаимодействий важно для разработки комплексных стратегий коррекции, направленных на снижение уровня оксидативного стресса и улучшение здоровья животных.

В рамках этой силы решающее место занимает разработка и внедрение эффективных методов коррекции оксидативного стресса. Это включает использование диетических антиоксидантов, фармакологических средств, пробиотиков и пребиотиков, а также улучшение условий содержания и физической активности животных. Комбинированные стратегии, сочетающие несколько методов, могут быть особенно эффективными для снижения уровня оксидативного стресса [7].

Комплексное воздействие факторов окружающей среды, вызывающих оксидативный стресс у животных, и разработка многофакторных стратегий коррекции являются ключевыми элементами для обеспечения здоровья и поддержания здоровья животных. Такой подход позволяет не только выявить и устранить основные причины оксидативного стресса, но и предложить действенные меры для его предотвращения и коррекции [8].

Методы коррекции оксидативного стресса диетические антиоксиданты

Одним из наиболее эффективных методов снижения оксидативного стресса является введение в рацион животных антиоксидантов. Витамин Е, витамин С,

селен, каротиноиды и полифенолы обладают мощными антиоксидантными свойствами и могут нейтрализовать свободные радикалы, защищая клетки от повреждений. Например, витамин Е, растворимый в жирах антиоксидант, защищает липидные мембраны клеток от окислительного повреждения. Витамин С, растворимый в воде, действует в водной среде клетки, нейтрализуя свободные радикалы в цитоплазме [3, 4].

Использование фармакологических препаратов, таких как мелатонин, N-ацетилцистеин и альфа-липовая кислота, может также помочь в коррекции оксидативного стресса. Эти вещества обладают антиоксидантными свойствами и могут защищать клетки от окислительного повреждения. Мелатонин, например, не только нейтрализует свободные радикалы, но и стимулирует активность ферментов антиоксидантной защиты, таких как супероксиддисмутаза и глутатионпероксидаза [9].

Создание оптимальных условий содержания животных, таких как обеспечение достаточного пространства, подходящего микроклимата и минимизация стрессовых факторов, может значительно снизить уровень оксидативного стресса. Регулярный мониторинг и управление стрессовыми ситуациями, такими как перемещение и транспортировка животных, также могут способствовать снижению уровня стресса [10].

Обеспечение животных возможностями для физической активности и обогащения среды (например, игры, тренировки, наличие различных объектов для исследования) может помочь снизить уровень стресса и улучшить общее состояние здоровья. Физическая активность стимулирует антиоксидантную защиту организма и снижает уровень оксидативного стресса [4].

Применение пробиотиков и пребиотиков может способствовать улучшению кишечной микрофлоры, что, в свою очередь, может снизить уровень оксидативного стресса. Здоровая микрофлора кишечника способствует улучшению иммунного ответа и уменьшению воспалительных процессов, что снижает потребность в антиоксидантной защите [2].

Индивидуальный и популяционный подход. Исследование оксидативного стресса у животных требует учета как индивидуальных, так и популяционных аспектов. Индивидуальный подход позволяет оценить своеобразное состояние организма на различные стрессоры, генетические, последствия и поведенческие особенности каждого животного. Это важно для точного понимания оксидативного стресса и разработки персонализированных стратегий коррекции. Например, у отдельных животных может быть различная степень устойчивости к оксидативному стрессу, что требует дифференцированного набора антиоксов [11].

С другой стороны, популяционный подход необходим для оценки общей устойчивости группы животных к экологическим стрессорам. Это позволяет выявить общие закономерности и закономерности, которые могут использоваться для разработки широкомасштабных программ профилактики и коррекции оксидативного стресса. Такой подход важен для сельскохозяйственных и диких популяций животных, где особенности контура могут быть менее значимыми, чем общие закономерности ответа на стрессовые факторы [4].

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Инновационные методы коррекции

Современные исследования оксидативного стресса у животных активно развивают и внедряют инновационные методы его коррекции. Одним из перспективных направлений является использование диетических антиоксидантов, таких как витамин Е, витамин С, селен и полифенолы. Эти вещества могут значительно снизить уровень радикалов в организме и повысить антиоксидантную защиту клеток. Важным аспектом является подбор оптимальных дозировок и сочетания антиоксидантов для достижения максимального эффекта [3, 4].

Фармакологические агенты, такие как синтетические антиоксиданты и ингибиторы ферментов, участвуют в окислительных процессах, а также являются причиной коррекции. Пробиотики и пребиотики, улучшающие микробиоту кишечника, могут оказать благоприятное влияние на метаболизм и иммунитет, что, в свою очередь, снижает уровень оксидативного стресса. Разработка комбинированных стратегий, включающих диетические, фармакологические и микробиотные подходы, позволяет повысить эффективность коррекции [12].

Многофакторный анализ и интегративный подход

Многофакторный анализ оксидативного стресса включает в себя наблюдение за взаимодействием различных экологических и сопутствующих факторов. Это позволяет использовать комплексные механизмы, воздействующие на основе оксидативного стресса, и создавать более точные и эффективные методы его коррекции. Интегративный подход сочетает данные из различных областей знаний, таких как биохимия, молекулярная биология, физиология и экология, что позволяет создать целостную картину процессов, происходящих в наблюдаемых животных [7].

Использование современных методов анализа, таких как геномные и протеомные исследования, позволяет детально изучить молекулярные механизмы оксидативного стресса и разработать целевые подходы к его коррекции. Это включает в себя идентификацию маркеров оксидативного стресса и оценку эффективности различных методов коррекции на молекулярном уровне [13].

Практическая направленность исследований оксидативного стресса у животных заложена в разработке специальных стратегий и стратегий по улучшению здоровья и продуктивности животных. Результаты исследований могут быть непосредственно применены в сельском хозяйстве, ветеринарии и охране дикой природы. Например, разработанные диетические добавки и фармакологические препараты могут быть включены в кормовые программы для повышения устойчивости животных к окружающей среде [14].

Экотоксикологические аспекты оксидативного стресса включают в себя оценку воздействия загрязнителей окружающей среды на здоровье животных. Загрязнение хрупкими металлами, пестицидами и другими вредными веществами может значительно повысить уровень оксидативного стресса. Данное изучение аспектов позволяет выявить наиболее опасные загрязнители и принять меры по их сокращению или ликвидации.

Экотоксикологические исследования также позволяют оценить кумулятивный эффект различных загрязнителей и их взаимодействие с другими экологическими факторами, такими как изменение климата и потеря строения места обитания. Это важно для разработки комплексных программ по защите окружающей среды и здоровья животных. Включение экотоксикологических данных в интегративный подход к исследованию оксидативного стресса. Позволяет создать более эффективные и устойчивые стратегии коррекции и профилактики [15].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Оксидативный стресс у животных является результатом множества факторов окружающей среды, включая загрязнение, питание и условия содержания. Понимание механизмов, лежащих в основе оксидативного стресса, и разработка эффективных методов его коррекции являются важными аспектами для поддержания здоровья и продуктивности животных. Введение диетических антиоксидантов, улучшение условий содержания, использование фармакологических агентов и обеспечение физической активности животных могут значительно снизить уровень оксидативного стресса и улучшить общее состояние здоровья животных.

Оксидативный стресс у животных является результатом сложного взаимодействия различных факторов окружающей среды и внутренних процессов. Загрязнение воздуха, воды и почвы, изменение климата, несбалансированное питание, а также физический и эмоциональный стресс вносят значительный вклад в развитие этого состояния. Эти факторы усиливают продукцию реактивных форм кислорода (РФО), что приводит к повреждению клеточных ст.

Комплексное воздействие на эти факторы требует применения современных методов анализа, таких как геномные и протеомные исследования, для более глубокого понимания оксидативного стресса и разработки стратегий его коррекции. Инновационные методы, включающие использование диетических антиоксидантов, фармакологических агентов и пробиотиков, позволяют добиться эффективности в снижении уровня оксидативного стресса и улучшении здоровья животных. Комбинированные подходы, сочетающие различные методы коррекции, позволяют добиться наилучших результатов, учитывая особенности каждого животного.

Практическая направленность исследований оксидативного стресса у животных позволяет непосредственно применять полученные знания в ветеринарии, сельском хозяйстве и охране дикой природы. Разработка рекомендаций по соблюдению условий содержания, оптимизации рациона и использованию антиоксидантов, рекомендаций по обеспечению устойчивости к экологическим стрессорам животных и поддержанию их общего состояния здоровья.

Экотоксикологические аспекты оксидативного стресса увеличивают степень воздействия загрязнителей окружающей среды на здоровье животных. Эти исследования определяют показатель наиболее опасных загрязнителей и разрабатывают меры по их сокращению или устранению, что является ключевым элементом комплексного подхода к защите окружающей среды и здоровья животных.

Таким образом, изучение оксидативного стресса у животных и разработка эффективных методов его снижения требует интегративного подключения, объединяющего данные из различных областей знаний. Это позволяет создать целостную картину процессов, происходящих в ситуации с животными, и разработать устойчивые стратегии для обеспечения их здоровья и поведения. Комплексные усилия в этой области будут обеспечивать условия жизни животных и улучшение их адаптационных возможностей в условиях меняющейся окружающей среды.

Список литературы

1. Васильев В. Г. Фармакологическая характеристика резвератрола / Васильев В. Г., Новиков О. О., Кочкарев В.И. // Курский научно-практический вестник [«Человек и его здоровье»]. – 2007. – № 3. – С. 98–103.
2. Гюнтер С. В. Влияние инфракрасного и ультрафиолетового излучения на клетки тканей, иммобилизованных в пористо-проницаемой структуре никелида титана / Гюнтер С. В., Кокорев О. В., Дамбаев Г. Ц., Вотяков В. Ф. // Бюллетень сибирской медицины – 2012. – № 11 (4). – С. 26–31.
3. Жамасранова С. Д. Влияние характера питания на антиоксидантный статус организма обучающейся молодежи / Жамасранова С. Д., Чукаев С. А., Дымшеева Л. Д., Лебедева С. Н. // Наука в образовании сегодня. – 2019. – № 9 (1). – С. 226–248.
4. Остапчук П. С. Роль антиоксидантов и использование их в животноводстве и птицеводстве (обзор) / Остапчук П. С., Зубоченко Д. В., Кувяда Т. А. // Аграрная наука Евро-Северо-Востока. – 2019. – № 20 (2). – С. 103–117.
5. Теплая Г. А. Тяжелые металлы как фактор загрязнения окружающей среды (обзор литературы) / Теплая Г. А. // Астраханский вестник экологического образования. – 2013. – № 1 (23). – С. 182–192.
6. Меньщикова Е. Б. Окислительный стресс. Прооксиданты и антиоксиданты / Меньщикова Е. Б., Ланкин В. З., Зенков Н. К., Бондарь И. И., Круговых Н. Ф., Труфакин В. А. – М.: Слово, 2006. – 556 с.
7. Прохоренко И. О. Стресс и состояние иммунной системы в норме и патологии. Краткий обзор литературы. / Прохоренко И. О., Германова В. Н., Сергеев О. С. // Вестник медицинского института «Реавиз»: реабилитация, врач и здоровье. – 2017. – № 1 (25). – С. 82–90.
8. Мухамедьярова Л. Г. Окислительный стресс и его коррекция у коров в условиях агроэкосистемы Южного Урала / Мухамедьярова Л. Г., Таирова А. Р. // Ученые записки Казанской государственной Академии ветеринарной медицины им. Н. Е. Баумана. – 2013. – № 6. – С. 302–308.
9. Шых Е. В. Возможности антиоксидантного потенциала альфа-липовоевой кислоты в фармакотерапии дистальной симметричной полинейропатии / Шых Е. В., Махова А. А. // Фармакология и Фармакотерапия. – 2023. – № 2. – С. 12–18.
10. Нельсон Д. Основы биохимии Ленинджера. Том 2 / Нельсон Д., Коке М. – М.: Лаборатория знаний. – 2011. – 691 с.
11. Солвей Дж. Г. Наглядная медицинская биохимия. / Солвей Дж. Г. – М.: ТАП-Медиа. – 2011. – 136 с.
12. Петрушина М. В. Профилактика окислительного стресса у высокопродуктивных коров голштинской породы с использованием в кормлении хотинекционных цеолитов и летцитина / Петрушина М. В., Ярован Н. И. // Орловский аграрный вестник. – 2015. – № 3. – С. 126–131.
13. Поносов С. В. Диагностика окислительного стресса у импортного крупного рогатого скота / Поносов С. В. // Пермский аграрный вестник. – 2016. – № 1. – С. 104–106.
14. Чмыхова А. Н. Экспериментальное обоснование применения дигидрохверцетина при распространенном перитоните / Чмыхова А. Н., Артющкова Е. Б. // Ветеринария. – 2017. – № 5. – С. 71–75.
15. Шапошников А. Б. Канцерогенез и окислительный стресс / Шапошников А. Б., Рядинская Л. А. // Кубанский научно-медицинский вестник. – 2010. – № 3. – С. 117–118.

INFLUENCE OF ENVIRONMENTAL FACTORS ON OXIDATIVE STRESS IN ANIMALS AND METHODS OF ITS CORRECTION

Adieva A. A.^{1,2}, Israpilova A. I.¹, Amirkhanova I. V.^{1,2}

¹*Caspian Institute of Biological Resources, Dagestan Federal Research Centre of the Russian Academy of Sciences, Makhachkala, Republic of Dagestan, Russia*

²*Talent Development Center "Altair", Makhachkala, Republic of Dagestan, Russia*

E-mail: adieva-m@mail.ru

Oxidative stress in animals results from an imbalance between free radical production and the body's antioxidant defences, which can lead to cell and tissue damage. Influence of environmental factors such as pollution, climate change, nutrition, physical and emotional stress plays a significant role in the development of oxidative stress. The present study reviews various environmental and physiological factors contributing to oxidative stress in animals and methods of its correction. The focus is on dietary antioxidants, pharmacological agents, improvement of housing conditions, physical activity and environmental enrichment, and use of probiotics and prebiotics. These approaches help to reduce oxidative stress and improve animal health and productivity.

Oxidative stress is a condition occurring in the animal body due to an imbalance between the production of reactive oxygen species (ROS) and antioxidant defences. Environmental factors play a key role in the induction of oxidative stress, which can lead to cell, tissue and organ damage and the development of various diseases. This paper reviews the main environmental stressors, their mechanisms of influence on animal organism and modern methods of oxidative stress correction.

The influence of environmental factors, such as air, water and soil pollution, as well as climate change and exposure to toxic substances, is considered in the context of their ability to cause oxidative stress. Environmental pollution by heavy metals, pesticides, and other toxicants can significantly increase AFC levels in animals. In addition, extreme climatic conditions such as heat or cold and changes in UV radiation levels also contribute to increase oxidative stress.

The focus is on the mechanism of action of AFCs, which damage lipids, proteins and DNA, leading to cellular dysfunction and death. An overview of studies showing how different animal species respond to oxidative stress, what biomarkers can be used to assess it, and how these responses may vary depending on the species and age of the animals, as well as their physiological state, is presented. Modern methods of oxidative stress correction include the use of antioxidants such as vitamins E and C, selenium and other biologically active substances that can neutralise AFCs and restore balance in the body. Prospects for the use of gene therapy and nanotechnology to better target the molecular mechanisms of oxidative stress are discussed. Particular attention is given to adaptive nutritional and stress management strategies that can increase the resilience of animals to unfavourable environmental conditions. Interdisciplinary approaches to the study of oxidative stress are reviewed, integrating knowledge from ecology, biochemistry, medicine and veterinary medicine. Successful practices and examples of implementation of oxidative stress correction methods in agriculture and conservation are analysed.

This review not only highlights current problems related to oxidative stress in animals, but also suggests ways to solve them, which is relevant and important for various spheres of science and practice.

Keywords: oxidative stress, environmental factors, pollution, nutrition, antioxidants, housing conditions, pharmacological agents, physical activity, probiotics, animal health.

References

1. Vasiliev V. G., Novikov O. O., Kochkarev V. I. Pharmacological characterization of resveratrol. *Kursk Scientific and Practical Bulletin [«Man and His Health»]*, **3**, 98 (2007).
2. Gunter S. V., Kokorev O. V., Dambaev G. Ts., Votyakov V. F. Influence of infrared and ultraviolet radiation on tissue cells immobilized in the porous-permeable structure of titanium nickelide. *Bulletin of Siberian medicine*, **11(4)**, 26 (2012).
3. Zhamasranova S. D., Chukaev S. A., Dymshcheva L. D., Lebedeva S. N. Influence of nutrition on the antioxidant status in educated youth. *Science in education today*, **9(1)**, 226 (2019).
4. Ostapchuk P. S., Zubochenko D. V., Kuevda T. A. Role of antioxidants and their use in livestock and poultry farming. *Agrarian science of the Euro-North-East*, **20(2)**, 103 (2019).
5. Teplaya G. A. Heavy metals as a factor of environmental pollution. *Astrakhan Bulletin of Environmental Education*, **1(23)**, 182 (2013).
6. Menshchikova E. B., Lankin V. Z., Zenkov N. K., Bondar I. I., Krugovykh N. F., Trufakin V. A. *Oxidative stress: pro-oxidants and antioxidants*, 556 (Moscow: Slovo, 2006).
7. Prokhorenko I. O., Germanova V. N., Sergeev O. S. Stress and the state of the immune system in norm and pathology. *Bulletin of the medical institute "Reaviz"*, **1(25)**, 82 (2017).
8. Mukhamediyarova L. G., Tairova A. R. Oxidative stress and its correction in cows under the conditions of the agro-ecosystem of the southern Urals. *Scientific notes of the Kazan state academy of veterinary medicine named after N. E. Bauman*, 302 (2013).
9. Shikh E. V., Makhova A. A. Opportunities of the antioxidant potential of α -lipoic acid in the pharmacotherapy of distal symmetrical polyneuropathy. *Pharmacology and pharmacotherapy*, **2**, 12 (2023).
10. Nelson D., Cox M. *Leninger. Principles of biochemistry* (Vol. 2). (Moscow: Laboratoriya znaniy, 2011).
11. Solvay J. G. *Illustrative medical biochemistry* (Moscow: TAP-media, 2011).
12. Petrushina M. V., Yarovan N. I. Prevention of oxidative stress in highly productive holstein cows using hotynets zeolites and lecithin in feed. *Oryol Agrarian Bulletin*, **3**, 126 (2015).
13. Ponomov S. V. Diagnostics of oxidative stress in imported livestock. *Perm Agrarian Journal*, **1**, 104 (2016).
14. Chmyhova A. N., Artjushkova E. B. Experimental justification for the use of dihydroquercetin with widespread peritonitis. *Veterinary*, **5**, 71 (2017).
15. Shaposhnikov A. B., Ryadinskaya L. A. Carcinogenesis and oxidative stress. *Kuban Scientific and Medical Journal*, **3**, 117 (2010).

УДК 612.1/.8

DOI 10.29039/2413-1725-2024-10-4-13-25

СЕНСОМОТОРНЫЙ КОНТРОЛЬ ПОДДЕРЖАНИЯ РАВНОВЕСИЯ У ЧЕЛОВЕКА ПРИ СТИМУЛЯЦИИ ШЕЙНОГО ОТДЕЛА СПИННОГО МОЗГА С ЧАСТОТОЙ 5 ГЦ

***Бикчентаева Л. М.¹, Желтухина А. Ф.¹, Шульман А. А.¹, Семенова Е. В.²,
Саченков О. А.², Балтина Т. В.¹***

*¹Казанский федеральный университет, Институт фундаментальной медицины и биологии,
Казань, Республика Татарстан, Российская Федерация*

*²Казанский федеральный университет, Институт математики и механики
им. Н. И. Лобачевского, Казань, Республика Татарстан, Российская Федерация
E-mail: leysanbm@mail.ru*

Изучен эффект чрескожной электрической стимуляции шейного отдела спинного мозга (ЧЭССМ) с частотой 5 Гц на механизмы постурального контроля у здоровых лиц. Оригинальный спектральный анализ использовался для выявления эффектов вклада сенсорных систем в поддержание постуральной устойчивости. Положительный эффект ЧЭССМ прослеживался по стабิโลграфическим параметрам, которые при были в пределах нормы, либо получено их снижение. Эффект подпороговой ЧЭССМ в пробах на мягкой поверхности при поддержании позы во фронтальной плоскости выражался в снижении вклада сенсорных систем более высокого порядка. Сверхпороговая ЧЭССМ способствовала увеличению вклада сенсорных систем более высокого порядка при поддержании равновесия, что приводило к улучшению устойчивости. Таким образом, ЧЭССМ обуславливала перераспределение сенсорной информации для поддержания устойчивости. В усложненных условиях, ЧЭССМ выступала как модулирующий фактор, тем самым увеличивая стабильность.

Ключевые слова: чрескожная электрическая стимуляция спинного мозга, постуральная устойчивость, стабิโลграфия, спектр стабิโลграфического сигнала.

ВВЕДЕНИЕ

Постуральная устойчивость – это способность поддерживать равновесие, удерживая центр тяжести тела над основанием опоры с небольшой амплитудой колебаний или максимальной устойчивостью [1, 2]. Низкочастотные колебания всего тела и высокочастотные ускорения, а также движения мышц и иные силы, участвующие в поддержании равновесия должны быть обработаны сенсорными системами, чтобы обеспечить активное управление, необходимое для того, чтобы стоять прямо [3, 4]. Исследования механизмов постурального контроля при наличии или отсутствии информации определенной модальности расширили наше базовое понимание роли сенсорной информации в стабилизации равновесия при стоянии. Так, зрение играет важную роль в поддержании равновесия, однако, мы также способны сохранять равновесие в условиях темноты или с закрытыми глазами, хотя раскачивание в таких условиях увеличивается [5]. Интересно, что легкое активное

прикосновение [6], которое само по себе не обеспечивает механическую стабилизацию, способно снизить уровень колебаний центра давления (ЦД) до значений, сопоставимых с теми, которые мы можем наблюдать при наличии зрения. Подобный эффект наблюдается и при пассивном касании [7]. Различные сенсорные системы предоставляют информацию о положении тела с разной точностью в различных ситуациях.

Для создания подходящих реакций постурального контроля важно надежное восприятие тела [8]. ЦНС способна быстро оценить изменение информации от различных сенсорных входов, чтобы адаптироваться к изменяющимся условиям среды [5]. Надежность различных источников может изменяться со временем и возрастом. Так, известно, что в более старшем возрасте мышечная проприоцепция становится относительно более важной с учетом снижения остроты зрения и вестибулярными нарушениями. Предполагается, что эти нарушения приводят к функциональным потерям, например, неспособность безопасно ходить, подниматься по лестнице и самостоятельно одеваться [4]. Медицинский интерес к процессам адаптации также высок, поскольку проблемы с поддержанием равновесия лишают многих пациентов возможности поддерживать равновесие при ходьбе и других видах деятельности [9, 10].

Был предложен метод чрескожной электрической стимуляции спинного мозга (ЧЭССМ), который показал свою эффективность для восстановления двигательной функции, улучшения постуральной устойчивости, и других важных функций организма [10–18]. Безболезненность и неинвазивность этого вида стимуляции позволяет использовать ее для изучения механизмов постурального контроля здоровых людей. Хотя ЧЭССМ зарекомендовала себя как эффективный метод для реабилитации и при применении в исследовательских целях, необходимо понимание физиологических механизмов постурального контроля при применении ЧЭССМ. В настоящем исследовании нами была проведена ЧЭССМ шейного отдела спинного мозга. Известно, что шейная стимуляция может активировать разные модулирующие механизмы, участвующие в поддержании постуральной устойчивости. Поддержание постуральной устойчивости может обеспечиваться через активацию шейно-тонических рефлексов и через нисходящую активацию постуральных мышц [19]. Показано, что эпидуральная стимуляция спинного мозга в поясничном отделе частотой 5–15 Гц вызывает устойчивые тонические реакции, приводит к облегчению тонической разгибательной активности, увеличивая постуральный контроль [20]. Мы предполагаем, что вовлечение сетей шейного отдела спинного мозга посредством tSCS 5Гц различной интенсивности может активировать шейно-поясничную связь и улучшить способность оптимизировать постуральную устойчивость у здоровых участников.

Одной из задач настоящего исследования являлось изучение спектра стабิโลграфического сигнала при ЧЭССМ для выявления возможных изменений вклада разных сенсорных систем при поддержании вертикальной стойки. При изучении постуральной системы здоровых людей применяют усложненные пробы с выключением/ограничением информации со стороны одной из сенсорных систем (депривация зрения, мягкая неустойчивая поверхность опоры), мы также

использовали такие методы для понимания механизмов контроля постуральной устойчивости. Хотя вопросы сенсомоторного взаимодействия в контроле вертикальной позы активно изучаются, все еще необходимы дополнительные исследования для лучшего понимания механизмов контроля позы человека.

Цель исследования: изучить эффект подпороговой и сверхпороговой чрескожной электрической стимуляции шейного отдела спинного мозга с частотой 5 Гц на механизмы постурального контроля у человека.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В исследовании приняли участие 12 здоровых участников женского и мужского пола с 18 до 25 лет без двигательных и неврологических нарушений. Все исследования были проведены с информированного добровольного согласия участников в соответствии с Хельсинской декларацией, разработанной Всемирной Медицинской Ассоциацией. Протокол исследования одобрен Локальным Этическим Комитетом ФГАОУ ВО КФУ (протокол № 34 от 27.01.2022).

Для изучения параметров поддержания постуральной устойчивости использовали силовую платформу (стабилоплатформа «Стабилан 01-02» с частотой дискретизации 50 Гц, (Таганрог, Россия)). Для ЧЭССМ использовали пятиканальный стимулятор BIOSTIM-5 (Cosyma Ltd., Москва, Россия). Стимулирующий накожный круглый электрод (катод) с адгезивным слоем диаметром 32 мм (PG479/32, Fiab, UK) располагали на коже между остистыми отростками С5 и С6 позвонков, прямоугольные электроды (анод) с адгезивным слоем размером 45×80 мм (PG472W, Fiab, UK) располагались симметрично на ключицах. Стимуляция осуществлялась прямоугольными биполярными импульсами длительностью 1 мс, заполненными несущей частотой 10 кГц [21]. Частота стимуляции составила 5Гц. Интенсивность тока подбирали для каждого участника путем постепенного увеличения силы тока до появления моторного ответа во всех исследуемых мышцах верхних конечностей: *m. Flexor carpi ulnaris*, *m. Extensor carpi radialis*, билатерально, при этом не допуская появления неприятных ощущений. Далее интенсивность тока уменьшали на ~10% (подпороговая стимуляция) и увеличивали на ~50 % (сверхпороговая стимуляция). Интенсивность тока составляла от 12 до 27 мА. Для записи ответов использовали электронейромиограф «Нейро-МВП-8» (Нейрософт, Иваново, Россия), который представляет собой 8-канальный усилитель с программным обеспечением Нейро-МВП. Поверхностные электроды (BE-1, NS990998.028, Нейрософт, Россия) для отведения моторных ответов располагали на брюшке исследуемых мышц, межэлектродное расстояние 20мм.

Стабилографический тест был проведен в условиях: (1) проба без стимуляции в течение 1 минуты; (2) в течение 3 минут со стимуляцией 5 Гц с подпороговой или сверхпороговой силой стимула, (3) в течение 1 минуты без стимуляции непосредственно после ЧЭССМ. Исследование проводили в 2 сеанса: 1 день – с подпороговой силой стимула, на 2 день – со сверхпороговой силой стимула. На каждом сеансе всего было проведено четыре пробы (рис. 1): стойка с открытыми глазами (А); стойка с закрытыми глазами (Б), стойка на мягкой поверхности

(поролоновая подушка 49 см Д × 49 см Ш × 18 см В на которую были нанесены разметки положения стоп) с открытыми (В) и с закрытыми глазами (Г). Каждый сеанс длился не более 90 минут, включая настройку, калибровку и тестирование.

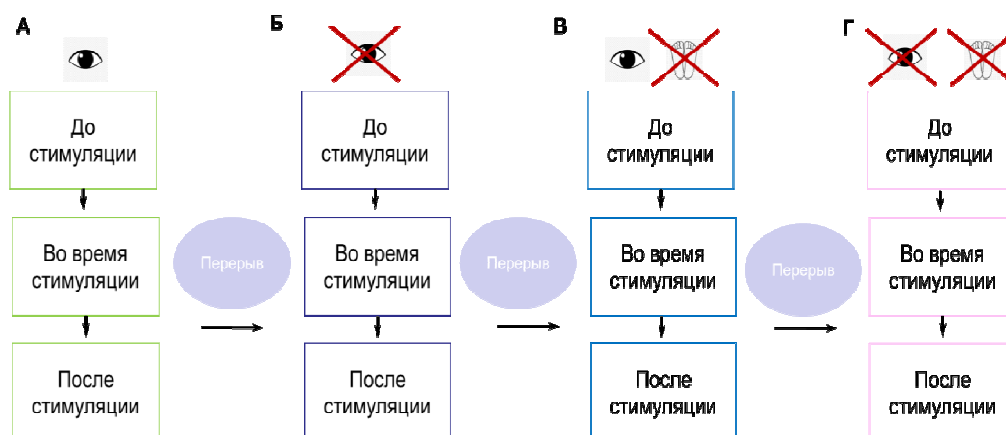


Рис. 1. Схема эксперимента в пробах с частотой стимуляции 5 Гц: (А) проба с открытыми глазами; (Б) проба с закрытыми глазами; (В) проба на мягкой поверхности с открытыми и (Г) закрытыми глазами.

Были проанализированы стабิโลграфические параметры: площадь эллипса, мм², разброс по сагиттальной оси, мм, разброс по фронтальной оси, мм, средняя линейная скорость, мм/с. Был проведен спектральный анализ стабิโลграфического сигнала по оригинальной методике (Свидетельство о государственной регистрации ПЭВМ № 2022661135) [22]. Спектр мощности был разделен на четыре частотных диапазона: зона сверх низких частот от 0 до 0.1 Гц, зона низких частот от 0.1 до 0.5 Гц, зона средних частот от 0.5 Гц до 2 Гц, зона высоких частот более 2 Гц. Сверх низкочастотный диапазон связывают с вкладом визуальной информации в раскачивание тела, низкочастотный диапазон с вестибулярной, средне-высокий диапазон с соматосенсорной и мозжечковой информацией, а высокочастотный – с проприоцептивной информацией [23]. Был рассчитан параметр 60 % мощности спектра (60 %Pw) в сагиттальной (S) и во фронтальной (F) плоскости.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Стабิโลграфические параметры

Результаты показали, что у участников при чрескожной электрической стимуляции спинного мозга (ЧЭССМ) с подпороговой силой стимуляции максимальное снижение исследуемых параметров отмечали в пробе с ЗГ по сравнению со значениями до стимуляции: EHS снижалась на 33 %, Qu снижался на 23 %, Qx снижался на 20 %, ЛСС снижалась на 2 % (табл. 1). Изменения были статистически не значимы. При ЧЭССМ со сверхпороговой силой стимуляции

наибольшее снижение значения показателей отмечено в пробе с ЗГ и ОГ МП по сравнению со значениями до стимуляции. EISS снижалась на 40 % в пробе с ЗГ и на 23 % в пробе с ОГ МП, Qu снижался на 29 % в пробе с ЗГ и на 22 % в пробе с ОГ МП, Qx и ЛСС снижались на 17 % в пробе с ЗГ, ЛСС в пробе с ОГ МП снижалась на 12 % (табл. 1). Изменения были статистически не значимы.

Таблица 1.
Стабилографические параметры при подпороговой и сверхпороговой ЧЭССМ с частотой 5 Гц

Показатели	Проба с ОГ +стимуляция	Проба с ЗГ +стимуляция	Проба с ОГ МП +стимуляция	Проба с ЗГ МП +стимуляция
Подпороговая сила стимуляции				
Площадь эллипса, мм ²	92,34±93,66	66,55±47,86	95,59±55,78	96,22±54,05
Разброс по сагиттальной оси, мм	89,63±40,09	76,59±32,69	89,71±29,61	100,25±35,8
Разброс по фронтальной оси, мм	101,69±70,02	80,54±37,12	107,59±37,69	96,89±28,59
Средняя линейная скорость, мм/с	99,59±51,29	98,23±55,49	89,52±17,91	85,81±23,85*
Сверхпороговая сила стимуляции				
Площадь эллипса, мм ²	87,94±85,99	60,19±40,43	76,88±40,89	109,12±71,83
Разброс по сагиттальной оси, мм	80,25±37,39	71,55±36,66	78,41±28,55	112,29±51,92
Разброс по фронтальной оси, мм	109,76±73,62	82,93±23,72	101,25±28,14	98,63±26,69
Средняя линейная скорость, мм/с	90,17±31,96	82,93±28,34	88,14±16,47	98,21±17,55

Примечание: * $p < 0,05$ – относительно значений показателей до воздействия стимуляции (значения до воздействия стимуляции были взяты за 100 %).

Анализ спектра частот

В сагиттальной плоскости диапазон 60 %Pw(S) увеличивался в сторону высоких частот при подпороговой ЧЭССМ в трех пробах (рис. 2А). Такое смещение произошло в пробе с ОГ за счет увеличения доли Pw3(S); в пробе с ЗГ увеличивалась доля Pw3(S) и Pw4(S) ($p < 0,05$), в пробе с МП за счет увеличения доли Pw4(S) ($p < 0,05$) (рис. 2Б). В пробе с ЗГ МП преобладала доля высоких частот.

Во фронтальной плоскости при подпороговой ЧЭССМ в пробе с ОГ, ОГ МП и ЗГ МП диапазон $60\%Pw(F)$ снижался (рис. 2В), полученное смещение произошло за счет увеличения доли $Pw1(F)$ в пробе с ОГ, за счет снижения $Pw3(F)$ в пробах с ОГ МП и ЗГ МП ($p < 0,05$) (рис. 2Г).

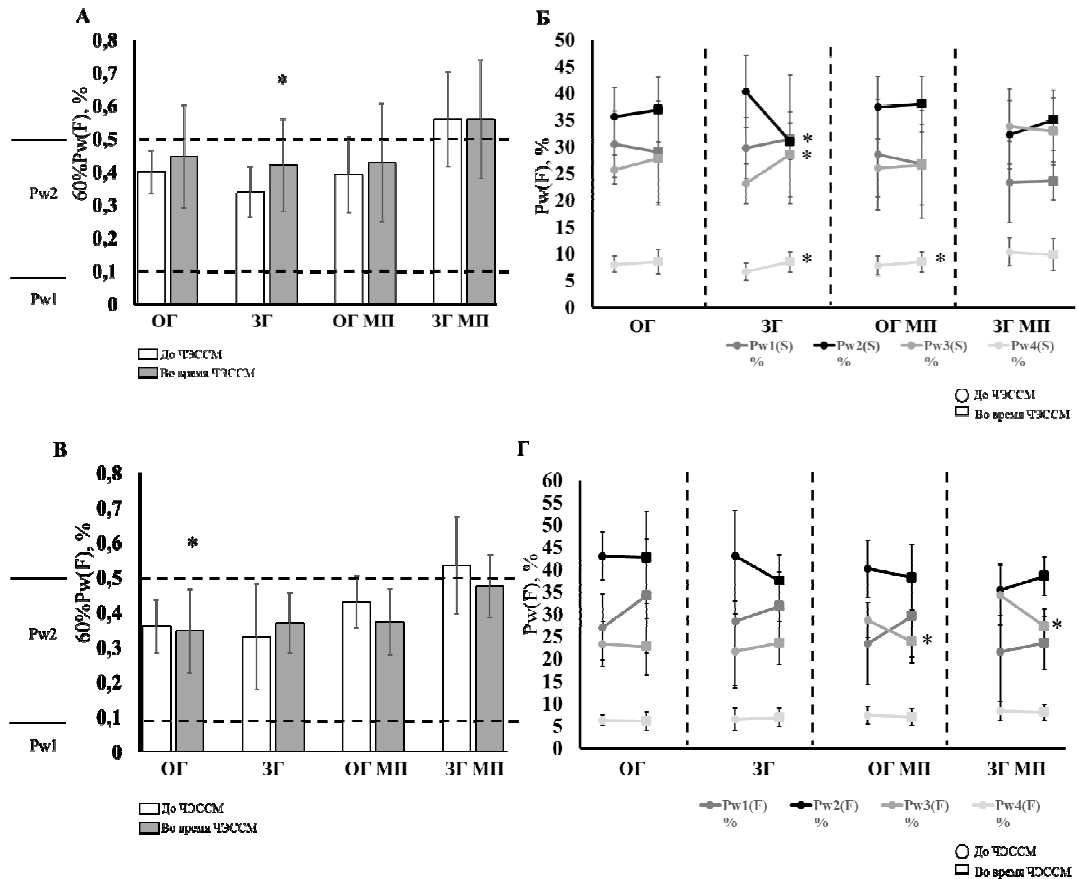


Рис. 2. А, В – Показатель 60% мощности спектра в сагиттальной и фронтальной плоскости; Б, Г – Мощность зон спектра (Pw) в сагиттальной (S) и фронтальной (F) плоскости до и во время стимуляции с частотой 5 Гц с подпороговой интенсивностью, где ОГ – проба с открытыми глазами, ЗГ – с закрытыми глазами, ОГ МП – на мягкой поверхности с открытыми глазами, ЗГ МП – на мягкой поверхности с закрытыми глазами.

Примечание: $p < 0,05$ – относительно значений показателей до воздействия стимуляции.

В сагиттальной плоскости при сверхпороговой ЧЭССМ диапазон $60\%Pw(S)$ снижался в пробе с ОГ и увеличивался в пробе с ЗГ МП (рис. 3А). Такое смещение произошло в пробе с ОГ за счет увеличения доли $Pw1(S)$, в пробе с ЗГ МП за счет увеличения доли $Pw3(S)$ и $Pw4(S)$ (рис. 3Б). Во фронтальной плоскости при

сверхпороговой ЧЭССМ отмечали тенденцию к снижению $60\%Pw(F)$ во всех пробах. Такое смещение произошло в пробе с ОГ и с ЗГ за счет увеличения доли $Pw2(S)$; в пробе с ОГ МП и ЗГ МП за счет снижения доли $Pw2(S)$ (рис. 3В, Г).

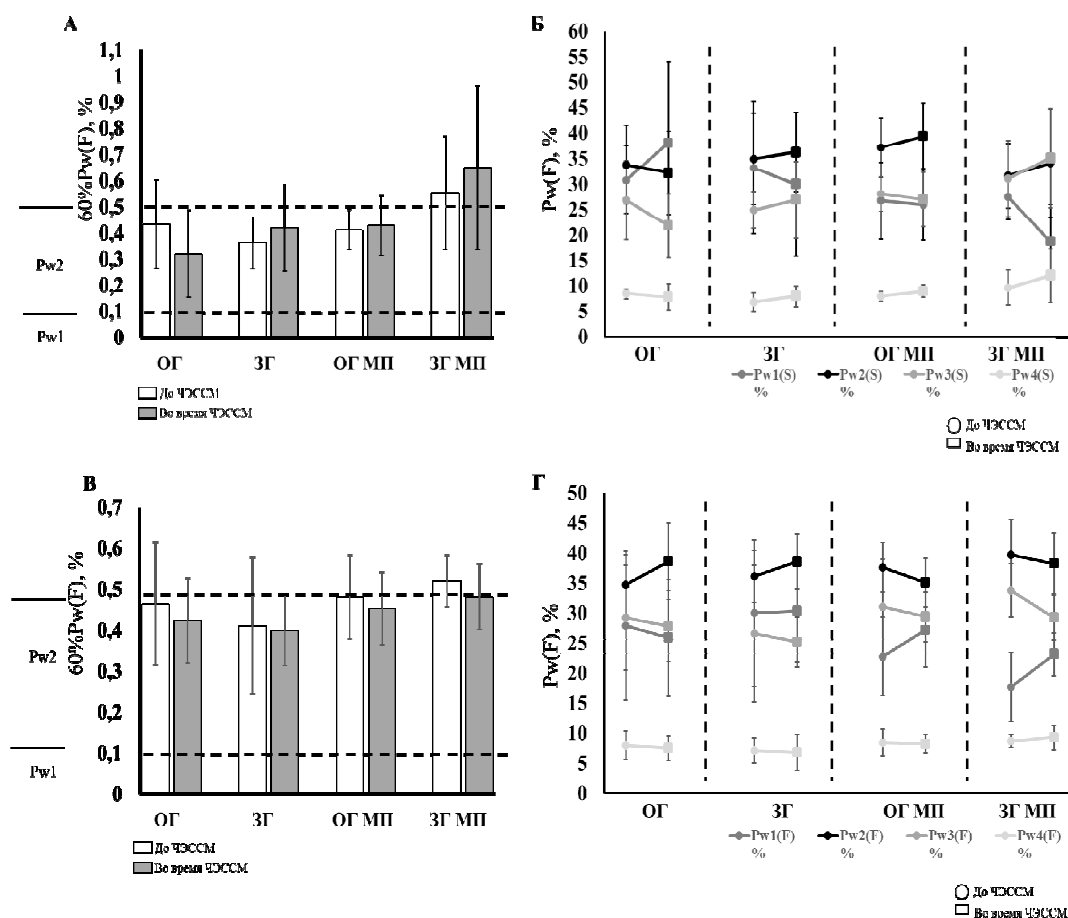


Рис.3. А, В – Показатель 60% мощности спектра в сагиттальной и фронтальной плоскости; Б, Г – Мощность зон спектра (Pw) в сагиттальной (S) и фронтальной (F) плоскости до и во время стимуляции с частотой 5 Гц со сверхпороговой интенсивностью, где ОГ – проба с открытыми глазами, ЗГ – с закрытыми глазами, ОГ МП – на мягкой поверхности с открытыми глазами, ЗГ МП – на мягкой поверхности с закрытыми глазами.

Примечание: $p < 0,05$ – относительно значений показателей до воздействия стимуляции.

Для изучения постуральной устойчивости здоровых людей используют усложненные пробы, увеличивая постуральную неустойчивость. Депривация зрения, мягкая поверхность и их комбинация, как и было ожидаемо, приводили к увеличению постуральных колебаний ЦД, следовательно, увеличивалась

постуральная неустойчивость. При ЧЭССМ с частотой 5 Гц увеличения постуральных колебаний ЦД здоровых участников в усложненных условиях не наблюдали. Стабилографические параметры были в нормативных пределах. Однако, ЧЭССМ приводила к изменению спектральных параметров. При подпороговой ЧЭССМ в пробе с депривацией зрения в сагиттальной плоскости увеличивался контроль со стороны сенсорных систем более высокого порядка, что приводило к увеличению постуральной стабильности. Это хорошо прослеживается и по снижению рабочей площади опоры человека во время стимуляции, следовательно, к более устойчивому положению тела. При усложнении пробы с закрытыми глазами, когда участники вставали на мягкую поверхность, ЧЭССМ с подпороговой силой не приводила к указанным изменениям, в поддержании постуральной устойчивости ведущая роль сохранялась за вестибулярной системой и мозжечком. ЧЭССМ обуславливала уменьшение колебаний ЦД во фронтальной плоскости, которые были увеличены при депривации зрения и стойке на мягкой поверхности. Известно, что в случае неустойчивого положения тела для поддержания равновесия во фронтальной плоскости в механику движения включается тазобедренный сустав [24]. Возможно, это демонстрирует положительное влияние ЧЭССМ на нервно-мышечную регуляцию поддержания постуральной устойчивости. Подпороговую стимуляцию с частотой 5 Гц также можно сравнить с эффектом легкого прикосновения (light touch, [25]). Считается, что сенсорные сигналы от легкого прикосновения трансформируются в постоянную проприоцептивную обратную связь для поддержания равновесия в положении стоя, которое снижает колебания всего тела в медиолатеральной плоскости (фронтальной плоскости) [25].

В условиях неустойчивой мягкой поверхности происходит изменение работы системы поддержания позы с усилением супраспинальных влияний [26]. Видимо, в условиях неоднозначной интерпретации информации от проприоцептивной системы, ЧЭССМ способствовала увеличению вклада других сенсорных систем, дающих надежную информацию о положении тела и снижала степень супраспинальных влияний в поддержании постуральной устойчивости. С другой стороны, улучшение постуральной устойчивости при ЧЭССМ могло произойти через активацию шейно-тонических рефлексов, способствующих регуляции мышечного напряжения и управлению равновесием.

Сверхпороговая ЧЭССМ обуславливала снижение стабилографических показателей в пробе с закрытыми глазами и открытыми глазами на мягкой поверхности, что говорит об улучшении постуральной устойчивости. ЧЭССМ способствовала увеличению вклада сенсорных систем более высокого порядка при поддержании равновесия, что приводило к улучшению устойчивости. При сверхпороговой ЧЭССМ в пробе с закрытыми глазами на мягкой поверхности в поддержании постуральной устойчивости в сагиттальной и фронтальной плоскости ведущая роль принадлежала вестибулярной системе и мозжечку. Возможным механизмом эффектов сверхпороговой ЧЭССМ является активация нисходящих влияний на постуральные мышцы, приводящее к снижению постуральных колебаний ЦД и увеличению постуральной устойчивости [15].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, показано, что ЧЭССМ шейного отдела позвоночника с частотой 5 Гц подпороговой и сверхпороговой силы стимула может улучшать поструральную устойчивость здоровых людей. Данные свидетельствуют о том, что спектральный анализ частоты колебаний тела, дает информацию о режиме управления позой, осуществляемую различными сенсорными входами. Показано, что ЧЭССМ обуславливает перераспределение информации от различных сенсорных входов для поддержания равновесия у здоровых участников. При усложненных условиях, ЧЭССМ выступает как модулирующий фактор при поддержании поструральной устойчивости, тем самым увеличивая поструральную стабильность участников исследования.

Работа выполнена в рамках программы «Стратегическое академическое лидерство Казанского федерального университета» (ПРИОРИТЕТ-2030).

Список литературы

1. Abdel Ghafar M. A. Quantitative assessment of sensory integration and balance in children with autism spectrum disorders: Cross-sectional study / M. A. Abdel Ghafar, O. R. Abdelraouf, A. A. Abdelgalil [et al.] // *Children (Basel)*. – 2022. – Vol. 9, No 3. – P. 353.
2. Molloy C. A. Postural stability in children with autism spectrum disorder. / C. A. Molloy, K. N. Dietrich, A. Bhattacharya // *J Autism Dev Disord*. – 2003. – Vol. 33, No 6. – P. 643–652.
3. Balasubramaniam R. The dynamics of standing balance / R. Balasubramaniam, A. M. Wing // *Trends in cognitive sciences*. – 2002. – Vol. 6, No 12. – P. 531–536.
4. Forbes P. A. Sensorimotor control of standing balance / P. A. Forbes, A. Chen, J. S. Blouin // *Handbook of clinical neurology*. – 2018. – Vol. 159. – P. 61–83.
5. Peterka R. J. Sensory integration for human balance control / R. J. Peterka // *Handbook of clinical neurology*. – 2018. – Vol. 159. – P. 27–42.
6. Assländer L. Sensory integration of a light touch reference in human standing balance / L. Assländer, C. P. Smith, R. F. Reynolds // *PloS one*. – 2018. – Vol. 13, No 6. – P. e0197316.
7. Rogers M. W. Passive tactile sensory input improves stability during standing / M. W. Rogers, D. L. Wardman, S. R. Lord [et al.] // *Experimental brain research*. – 2001. – Vol. 136, No 4. – P. 514–522.
8. Jahn K. Postural control mechanisms in mammals, including humans / K. Jahn, M. Wühr // *The senses: Comprehensive Reference*, 2nd ed. – 2020. – Vol. 6. – P. 344–370.
9. Comber L. Postural control deficits in people with Multiple Sclerosis: A systematic review and meta-analysis / L. Comber, J. J. Sosnoff, R. Galvin [et al.] // *Gait & posture*. – 2018. – Vol. 61. – P. 445–452.
10. Sayenko D. G. Self-assisted standing enabled by non-invasive spinal stimulation after spinal cord injury / D. G. Sayenko, M. Rath, A. R. Ferguson [et al.] // *J Neurotrauma*. – 2019. – Vol. 36, No 9. – P. 1435–1450.
11. Городничев Р. М. Чрезкожная электрическая стимуляция спинного мозга: неинвазивный способ активации генераторов шагательных движений у человека / Р. М. Городничев, Е. А. Пивоварова, А. Пухов [и др.] // *Физиология человека*. – 2012. – Т. 38, вып. 2. – P. 46–46.
12. Gerasimenko Y. P. Noninvasive reactivation of motor descending control after paralysis / Y. P. Gerasimenko, D. C. Lu, M. Modaber [et al.] // *J Neurotrauma*. – 2015. – Vol. 32, No 24. – P. 1968–1980.
13. Hofstoetter U. S. Transcutaneous Spinal Cord Stimulation: Advances in an Emerging Non-Invasive Strategy for Neuromodulation / U. S. Hofstoetter, K. Minassian // *J Clin Med*. – 2022. – Vol. 11, No 13. – P. 3836.
14. Huang R. Minimal handgrip force is needed for transcutaneous electrical stimulation to improve hand functions of patients with severe spinal cord injury / R. Huang, A. A. Nikooyan, L. D. Moore [et al.] // *Sci Rep*. – 2022. – Vol. 12, No 1. – P. 7733.

15. Islam M. A. Modulation of soleus H-reflex excitability following cervical transspinal conditioning stimulation in humans / M. A. Islam, M. Zaaya, E. Comiskey [et al.] // *Neurosci Lett.* – 2020. – Vol. 732. – P. 135052.
16. Militskova A. Supraspinal and afferent signaling facilitate spinal sensorimotor network excitability after discomplete spinal cord injury: A case report / A. Militskova, E. Mukhametova, E. Fatykhova [et al.] // *Front Neurosci.* – 2020. – Vol. 14. – P. 552.
17. Minassian K. Spinal rhythm generation by step-induced feedback and transcutaneous posterior root stimulation in complete spinal cord-injured individuals / K. Minassian, U. S. Hofstoetter, S. M. Danner [et al.] // *Neurorehabil Neural Repair.* – 2016. – Vol. 30, No 3. – P. 233–243.
18. Moshonkina T. R. Novel non-invasive strategy for spinal neuromodulation to control human locomotion / T. R. Moshonkina, A. A. Grishin, I. Bogacheva [et al.] // *Front Hum Neurosci.* – 2021. – Vol. 14. – P. 622533.
19. Parhizi B. Simultaneous cervical and lumbar spinal cord stimulation induces facilitation of both spinal and corticospinal circuitry in humans / B. Parhizi, T. S. Barss, V. K. Mushahwar // *Front Neurosci.* – 2021. – Vol. 15. – P. 615103.
20. Rejc E. Effects of Lumbosacral Spinal Cord Epidural Stimulation for Standing after Chronic Complete Paralysis in Humans / E. Rejc, C. Angeli, S. Harkema // *PloS one.* – 2015. – Vol. 10, No 7. – P. e0133998.
21. Grishin A. A. A five-channel noninvasive electrical stimulator of the spinal cord for rehabilitation of patients with severe motor disorders / A. A. Grishin, T. R. Moshonkina, I. A. Solopova [et al.] // *Biomedical Engineering.* – 2017. – Vol. 50. – P. 300–304.
22. Dakinova M. V. Spectral analysis of stabilographic signals by Fourier and Hilbert – Huang methods / M. V. Dakinova, L. M. Bikchentaeva, I. S. Tagirova [et al.] // *IEEE.* – 2022. – P. 1–4.
23. Lin I. S. Reweighting of the sensory inputs for postural control in patients with cervical spondylotic myelopathy after surgery / I. S. Lin, D. M. Lai, J. J. Ding [et al.] // *J Neuroeng Rehabil.* – 2019. – Vol. 16, No 1. – P. 96.
24. Mergner T. A neurological view on reactive human stance control / T. Mergner // *Annual Reviews in Control.* – 2010. – Vol. 34, No 2. – P. 177–198.
25. Rasman B. G. Sensorimotor manipulations of the balance control loop-beyond imposed external perturbations / B. G. Rasman, P. A. Forbes, R. Tisserand // *Front Neurol.* – 2018. – Vol. 9. – P. 899.
26. Казенников О. В. Влияние дополнительной двигательной задачи для рук на поддержание равновесия во фронтальной и сагиттальной плоскостях у стоящего человека / О. В. Казенников, Т. Б. Киреева // *Физиология человека.* – 2011. – Т. 37, вып. 2. – P. 48–51.

SENSORIMOTOR CONTROL OF BALANCE MAINTENANCE IN HUMANS DURING CERVICAL SPINAL CORD STIMULATION AT 5 HZ

***Bikchentaeva L. M.¹, Zheltukhina A. F.¹, Shulman A. A.¹, Semenova E. V.²,
Sachenkov O. A.², Baltina T. V.¹***

¹*Institute of Fundamental Medicine and Biology, Kazan Federal University, Kazan, Russia*

²*Lobachevskii Institute of Mathematics and Mechanics, Kazan Federal University, Kazan, Russia*

E-mail: leysanbm@mail.ru

The aim of the study was to investigate the effect of subthreshold and suprathreshold transcutaneous electrical stimulation of the cervical spinal cord with a frequency of 5 Hz on the mechanisms of postural control in healthy participants.

Methods: The study involved 12 healthy female and male participants aged 18 to 25 years without motor or neurological disorders.

To study the parameters of maintaining postural stability, a force platform (stabiloplatfrom "Stabilan 01-02" with a sampling frequency of 50 Hz, (Taganrog, Russia)) was used. For transcutaneous electrical stimulation of the cervical spinal cord (tSCS), a five-channel BIOSTIM-5 stimulator (Cosyma Ltd., Moscow, Russia) was used. The stimulating cutaneous round electrode (cathode) was placed on the skin between of the C5 and C6 vertebrae, rectangular electrodes (anode) were located symmetrically on the clavicles. Stimulation was performed with rectangular bipolar pulses of 1 ms duration, filled with a carrier frequency of 10 kHz. The stimulation frequency was 5 Hz. The stimulus intensity was selected for each participant individually. Then the stimulus intensity was decreased by ~10 % (subthreshold stimulation) and increased by ~50 % (suprathreshold stimulation).

The stabilography test was conducted under the following conditions: (1) 1 minute test without stimulation; (2) 3 minutes with 5 Hz stimulation with a subthreshold or suprathreshold stimulus intensity, (3) 1 minute without stimulation after tSCS. The study was conducted in 2 sessions: on day 1 – with a subthreshold stimulus intensity, on day 2 – with a suprathreshold stimulus intensity. These tests were conducted in each session: standing with open eyes; standing with closed eyes, standing on a soft surface with open and closed eyes.

Results. With subthreshold tSCS in the test with closed eyes in the sagittal plane, control by higher-order sensory systems increased, which led to an increase in postural stability. This is clearly seen in the decrease in the area of the subject's support during stimulation, and therefore, to a more stable body position. With a more complex test with closed eyes, when the participants stood on a soft surface, tSCS with a subthreshold intensity did not lead to the above changes, the leading role in maintaining postural stability was retained by the vestibular system and cerebellum. tSCS caused a decrease of the center of pressure oscillations in the frontal plane, which were increased during test with closed eyes and standing on a soft surface. Suprathreshold tSCS caused a decrease in stabilographic indicators in the test with closed eyes and open eyes on a soft surface, which indicates an improvement in postural stability. tSCS increased the contribution of higher-order sensory systems in maintaining balance, which improved stability. In suprathreshold tSCS in a test with closed eyes on a soft surface, the vestibular system and cerebellum played a leading role in maintaining postural stability in the sagittal and frontal planes.

Conclusion. Thus, it is shown that 5 Hz tSCS of the cervical spine with subthreshold and suprathreshold stimulus intensity can improve postural stability in healthy individuals. The data indicate that the spectral analysis of the body oscillation frequency provides information on the posture control mode carried out by various sensory inputs. It is shown that tSCS causes the redistribution of information from various sensory inputs to maintain balance in healthy participants. Under complicated conditions, tSCS acts as a modulating factor in maintaining postural stability, thereby increasing the postural stability of participants.

Keywords: transcutaneous electrical stimulation of the spinal cord, postural stability, stabilography, spectrum of stabilographic signal.

References

1. Abdel Ghafar M. A., Abdelraouf O. R., Abdelgalil A. A., Seyam M. K., Radwan R. E. and El-Bagalaty A.E. Quantitative assessment of sensory integration and balance in children with autism spectrum disorders: Cross-sectional study, *Children (Basel)*, **9(3)**, 353 (2022).
2. Molloy C. A., Dietrich K. N. and Bhattacharya A. Postural stability in children with autism spectrum disorder. *J Autism Dev Disord.*, **33(6)**, 643 (2003).
3. Balasubramaniam R. and Wing A. M. The dynamics of standing balance. *Trends in cognitive sciences*, **6(12)**, 531 (2002).
4. Forbes P. A., Chen A. and Blouin J. S. Sensorimotor control of standing balance. *Handbook of clinical neurology*, **159**, 61 (2018).
5. Peterka R. J. Sensory integration for human balance control. *Handbook of clinical neurology*, **159**, 27 (2018).
6. Assländer L., Smith C. P. and Reynolds R. F. Sensory integration of a light touch reference in human standing balance. *PloS one*, **13(6)**, e0197316 (2018).
7. Rogers M. W., Wardman D. L., Lord S. R. and Fitzpatrick R. C. Passive tactile sensory input improves stability during standing. *Experimental brain research*, **136(4)**, 514 (2001).
8. Jahn K and Wühr M. Postural control mechanisms in mammals, including humans. *The senses: Comprehensive Reference, 2nd ed.*, **6**, 344 (2020).
9. Comber L., Sosnoff J. J., Galvin R. and Coote S. Postural control deficits in people with Multiple Sclerosis: A systematic review and meta-analysis. *Gait & posture*, **61**, 445 (2018).
10. Sayenko D. G., Rath M., Ferguson A. R., Burdick J. W., Havton L. A., Edgerton V. R. and Gerasimenko Y. P. Self-assisted standing enabled by non-invasive spinal stimulation after spinal cord injury. *J Neurotrauma*, **36(9)**, 1435 (2019).
11. Gorodnichev R. M., Pivovarova E. A., Pukhov A., Moiseev S. A., Savokhin A. A., Moshonkina T. R. and Gerasimenko YU. P. Chrezkhozhnaya ehlektricheskaya stimulyaciya spinnogo mozga: neinvazivnyj sposob aktivacii generatorovshagatel'nykh dvizhenij u cheloveka. *Fiziologiya cheloveka*, **38(2)**, 46 (2012) (In Russian).
12. Gerasimenko Y. P., Lu D. C., Modaber M., Zdunowski S., Gad P., Sayenko D. G., Morikawa E., Haakana P., Ferguson A. R., Roy R. R. and Edgerton V. R. Noninvasive reactivation of motor descending control after paralysis. *J Neurotrauma*, **32(24)**, 1968 (2015).
13. Hofstoetter U. S. and Minassian K. Transcutaneous Spinal Cord Stimulation: Advances in an Emerging Non-Invasive Strategy for Neuromodulation. *J Clin Med.*, **11(13)**, 3836 (2022).
14. Huang R., Nikooyan A. A., Moore L. D., Zdunowski S., Morikawa E., Sierro T., Sayenko D., Gad P., Homsey T., Le T., Madhavan M. A., Abdelshahid M., Abdelshahid M., Zhou Y., Nuwer M. R., Sarrafzadeh M., Edgerton V. R., Leiter J. C. and Lu D. C. Minimal handgrip force is needed for transcutaneous electrical stimulation to improve hand functions of patients with severe spinal cord injury. *Sci Rep.*, **12(1)**, 7733 (2022).
15. Islam M. A., Zaaya M., Comiskey E., Demetrio J., O'Keefe A., Palazzo N., Pulverenti T. S. and Knikou M. Modulation of soleus H-reflex excitability following cervical transspinal conditioning stimulation in humans. *Neurosci Lett.*, **732**, 135052 (2020).
16. Militzkova A., Mukhametova E., Fatykhova E., Sharifullin S., Cuellar C. A., Calvert J. S., Grah P. J., Baltina T. V. and Lavrov I. Supraspinal and afferent signaling facilitate spinal sensorimotor network excitability after discomplete spinal cord injury: A case report. *Front Neurosci.*, **14**, 552 (2020).
17. Minassian K., Hofstoetter U. S., Danner S. M., Mayr W., Bruce J. A., McKay W. B. and Tansey K. E. Spinal rhythm generation by step-induced feedback and transcutaneous posterior root stimulation in complete spinal cord-injured individuals. *Neurorehabil Neural Repair.*, **30(3)**, 233 (2016).
18. Moshonkina T. R., Grishin A. A., Bogacheva I., Gorodnichev R. M., Ovechkin A., Siu R., Edgerton V. R. and Gerasimenko Y. P. Novel non-invasive strategy for spinal neuromodulation to control human locomotion. *Front Hum Neurosci.*, **14**, 622533 (2021).
19. Parhizi B., Barss T. S. and Mushahwar V. K. Simultaneous cervical and lumbar spinal cord stimulation induces facilitation of both spinal and corticospinal circuitry in humans. *Front Neurosci.*, **15**, 615103 (2021).

20. Rejc E., Angeli C. and Harkema S. Effects of LumboSacral Spinal Cord Epidural Stimulation for Standing after Chronic Complete Paralysis in Humans. *PloS one*, **10(7)**, e0133998 (2015).
21. Grishin A. A., Moshonkina T. R., Solopova I. A., Gorodnichev R. M. and Gerasimenko Y. P. A five-channel noninvasive electrical stimulator of the spinal cord for rehabilitation of patients with severe motor disorders. *Biomedical Engineering*, **50**, 300 (2017).
22. Dakinova M. V., Bikchentaeva L. M., Tagirova I. S., Baltina T. V., Yafarova G. G. and Sachenkov O. A. Spectral analysis of stabilographic signals by Fourier and Hilbert – Huang methods. *IEEE*, 1 (2022).
23. Lin I. S., Lai D. M., Ding J. J., Chien A., Cheng C. H., Wang S. F., Wang J. L., Kuo C. L. and Hsu W. L. Reweighting of the sensory inputs for postural control in patients with cervical spondylotic myelopathy after surgery. *J Neuroeng Rehabil.*, **16(1)**, 96 (2019).
24. Mergner T. A neurological view on reactive human stance control. *Annual Reviews in Control*, **34(2)**, 177 (2010).
25. Rasman B. G., Forbes P. A., Tisserand R. and Blouin J. S. Sensorimotor manipulations of the balance control loop-beyond imposed external perturbations. *Front Neurol.*, **9**, 899 (2018).
26. Kazennikov O. V. and Kireeva T. B. Vliyanie dopolnitelnoi dvigatelnoi zadachi dlya ruk na podderzhanie ravnovesiya vo frontalnoi i sagittalnoi ploskostyakh u stoyashchego cheloveka. *Fiziologiya cheloveka*, **37(2)**, 48 (2011) (In Russian).

УДК 57.063

DOI 10.29039/2413-1725-2024-10-4-26-39

**НЕКОТОРЫЕ МОРФОМЕТРИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ РАБОЧИХ ПЧЕЛ
APIS MELLIFERA LINNAEUS ИЗ ЧАСТНЫХ ПАСЕК КРЫМСКИХ
ПЧЕЛОВОДОВ**

Быкова Т. О., Лисовая Д. С., Ивашов А. В.

*Институт биохимических технологий, экологии и фармации (структурное подразделение)
ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет имени В. И. Вернадского», Симферополь,
Республика Крым, Россия
E-mail: t.o.bykova@mail.ru*

Представлены результаты исследований 901 экземпляра рабочих медоносных пчел от 25 семей из четырех крымских пасек. Из каждой семьи отбирали по 20–30 особей и проводили измерения морфометрических параметров. Полученные данные обрабатывались с помощью программы Excel 2010. Сравнение полученных данных с результатами исследований прошлого века по породам, широко используемых в РФ, показало, что изученные пчелы не являются чистопородными. Также все семьи не соответствуют референсным значениям таврической породы, описанной профессором МГУ Алпатовым В. В. еще в первой половине прошлого века. Современные крымские пчелы имеют более широкие интервалы варьирования и интервалы 95 %-ной доверительной вероятности длины хоботка, кубитального и тарзального индексов, а также не характерные для известных пород частоты встречаемости вариантов дискоидального смещения.

Ключевые слова: медоносная пчела, порода, морфометрические показатели, Крым.

ВВЕДЕНИЕ

Медоносная пчела, научное название *Apis mellifera* Linnaeus, 1758, является частью семейства Apoidea, которое, в свою очередь, объединяет большое количество видов в прогрессирующем отряде перепончатокрылых насекомых Hymenoptera [1].

Пчелы играют важную роль в экосистемах и хозяйственной деятельности человека. Являясь основным опылителем цветковых растений, они выполняют важную функцию в большинстве наземных экосистем. Кроме того, пчелы способствуют плодородию энтомофильных культур. Разводимая человеком медоносная пчела обеспечивает производство продуктов питания и фармацевтических препаратов. Интерес к ним также обусловлен их морфологией и этологией [2].

На территории Крыма еще в советское время были районированы пчелы карпатской (*Apis mellifera carpathica* Foti) и украинской степной (*Apis mellifera sossimai* Engel или *Apis mellifera acervorum* Scor) пород. Сегодня здесь распространены также пчелы кавказской (*Apis mellifera caucasica* Pollmann),

краинской (*Apis mellifera carnica* Pollmann), итальянской (*Apis mellifera ligustica* Spinola) пород [3].

Ранее в Крыму был распространён подвид крымской пчелы, описанный В. В. Алпатовым как *A. mellifera taurica* (Alpatov, 1948) [4]. Однако из-за неконтролируемого межпородного скрещивания и бессистемного ввоза других рас, подвид был утерян. Есть надежда, что некоторые семьи сохранились в предгорьях или горных лесах Крыма [5].

Основным способом классификации признаков пород медоносных пчел считается метод морфометрического анализа. Теоретические основы данного подхода были разработаны А. Г. Кожевниковым (1900, 1906), А. С. Михайловым (1924) и В. В. Алпатовым (1925). Как правило, для характеристики пчел вида *A. mellifera* применяются такие параметры как: длина хоботка, габариты тела, длина и ширина крыла, кубитальный индекс, дискоидальное смещение, тарзальный индекс и прочие [6].

При морфологических исследованиях пчел наиболее стабильны такие внешние признаки как кубитальный индекс и дискоидальное смещение. Они могут быть применены для определения расовой принадлежности [7, 8]. Проведение таких исследований весьма актуально, так как необходимо получить четкое понимание фенотипического облика крымской популяции *A. mellifera*, что обеспечит дальнейшую практическую работу по восстановлению ее генофонда и получению высокопроизводительных линий крымской пчелы.

Исторически разные исследования представляют интерес в плане наличия трендов в популяционных дифференциациях. Так Ф. Руттнер более 35 лет назад (1988) идентифицировал 5 популяций *Apis mellifera jemenitica* из азиатского и африканского регионов (Сомали, Йемен, Судан, Чад, Оман и Саудовская Аравия) и выявил морфометрические различия между популяциями *A. m. jemenitica* Западной и Восточной Африки. Недавно (2021 г.) в коллективной работе саудовских и египетских исследователей с использованием как морфометрии, так и молекулярно-генетических методов было показано, что популяции медоносных пчел в юго-западном регионе Саудовской Аравии являются уже смешанными. И это явление они увязывают как с завозом линейных пчел *A. m. jemenitica*, так и с генетической интрогрессией с интродуцированными подвидами медоносных пород [9].

Хорошо известно, что виды могут менять свой географический ареал, внося пластические или адаптивные изменения в ответ на новые условия среды. Фенотипические изменения пчел вида *A. mellifera* в зависимости от факторов окружающей среды изучались в основном вдоль широтных градиентов, но долгое время оставались относительно мало изученными, несмотря на их важность для экологических взаимодействий [10].

На крымском полуострове, куда на протяжении многих десятков лет массово завозились плодные матки разных пород (подвиды) европейских пчел, аборигенная, хорошо адаптированная к местным условиям окружающей среды таврическая порода, считается ныне утерянной. Еще пару десятилетий в природных условиях [3] встречались пчелы с очень близким фенотипом и есть надежда на то, что ее потомки могут выявиться в процессе массового скрининга семей крымских пчел.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Материалом для исследований послужили особи медоносной пчелы *A. mellifera* от семей четырех крымских пасек. Первые две группы пчел были собраны на территории двух частных пасек летом в июле 2022 г. в г. Севастополь (Нахимовский район, г. Севастополь, пчеловоды Лисовой С. А. (Рис. 1) и Сагайдачный П. П. (Рис. 2)).



Рис. 1. Ульи с пчелами на первой пасеке в г. Севастополь (фото Лисовой Д. С.)



Рис. 2. Внешний вид второй частной пасеки г. Севастополь (фото Лисовой Д. С.)

Первая пасека действует с 2003 г. на основе плодных маток предположительно карпатской породы, отобранных из второй пасеки, которая существует на протяжении 25 лет, но породность ее пчел до настоящего времени не определялась. Эти пасеки интересны тем, что они располагаются стационарно в городских

условиях и воспроизводятся от отводков собственных семей на протяжении более двадцати лет.

Третья группа пчел также неизвестной породности была собрана на цветках нектароносов во время летних сборов в июле 2022 г на лесной поляне, расположенной на юго-восточной окраине поселка Научный (Бахчисарайский район, Республика Крым) (рис. 3).



Рис. 3. Место сбора пчел близ поселка Научный (фото Лисовой Д. С.)

Четвертая группа пчел также неизвестной породности была собрана в июле 2023 г. на территории частной пасеки, расположенной на окраине с. Соколиное (Бахчисарайский р-н, Республика Крым, пчеловод-матковод Спиридонов С. Н.) (рис. 4).



Рис. 4. Общий вид пасеки в с. Соколиное, Бахчисарайский р-н (фото Лисовой Д.С.)

Село расположено в южной части Бахчисарайского района, на окраине леса. Данная пасека существует уже более 15 лет и также не специализировалась на определенной породе. Разведение начиналось с карпатской, краинской и итальянской пород. Самовоспроизводство также происходило за счет собственных отводков; если после зимовки некоторые семьи были слабыми, то в них пчеловод добавлял отводки из других ульев.

Морфометрические показатели остаются по-прежнему востребованными для описания внутривидовой изменчивости. Их комплексы являются основным критерием классификации, описанные Руттнером (1988) [11]. В настоящем исследовании осуществляли измерения таких показателей как: длина хоботка, кубитальный индекс, тарзальный индекс, дискоидальное смещение. Эти признаки считаются главными, т.к. по ним определяется породная принадлежность пчел на пасеках как в нашей стране, так и за рубежом. Как показал имеющийся опыт многих десятилетий, остальные признаки используются реже, т.к. не дают достаточно высокой разрешающей способности. Например, в недавних исследованиях, проведенных американскими учеными, были продемонстрированы низкие уровни дифференциации между экотипами пчел с использованием традиционной морфометрии их длины [12].

Ниже приводим схему правого переднего крыла медоносной пчелы для более четкого понимания, о каких признаках идет речь (рис. 5). Определение соотношения между длиной межкубитальных жилок “а” и “б” третьей кубитальной ячейки переднего крыла, выраженное в процентном отношении является кубитальным индексом.

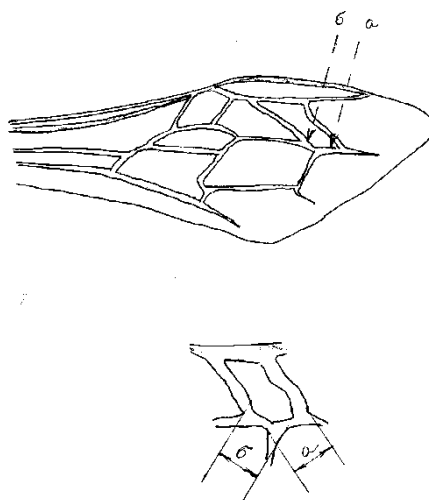


Рис. 5. Правое переднее крыло пчелы медоносной [4, 7]
а – длина межкубитальной жилки третьей кубитальной ячейки,
б – длина межкубитальной жилки.

Следует отметить, что длину хоботка как функционально более важную характеристику приспособленности к сбору нектара у нектароносов с различной глубиной залегания нектара можно применять для дифференциации пчел [13].

Вместе с измерениями длины хоботка по-прежнему в качестве наиболее объективных признаков используют кубитальный и тарзальный индексы [14]. Привлечённые нами показатели входят в пул более широкого перечня, но по-прежнему являются одними из наиболее информативных, что, например, недавно было показано корейскими учеными при определении комплекса морфометрических признаков у местных адаптированных линий *Apis cerana koreana*, *A. mellifera ligustica*, *A. mellifera carpathica*) [15].

После сопоставления границ вариации референсных значений морфометрических показателей у пчел различных пород, распространенных на территории Российской Федерации, с полученными в прошлом веке по таврической пчеле *A. mellifera taurica* (Alpatov, 1948) [4], проводили сопоставления наших результатов с данными по крымским пчелам, исследованными в нынешнее время [16, 17].

Результаты измерений осуществляли с использованием окуляр-микрометра и бинокля МБС-9. Данные обрабатывались с привлечением статистических возможностей программы Excel. При оценке достоверности различий конечные показатели подавались в виде интервалов доверительной вероятности, вычисленных на 5 %-ном уровне значимости. Для этого стандартные ошибки средней арифметической умножали на табличный $t_{0,05}$ - критерий Стьюдента, найденный для числа степеней свободы $f = n-1$ и уровня доверительной вероятности 95 %.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Для сравнения результатов изучения крымских пчел с опубликованными данными по другим породам, в том числе полученными в тридцатые–семидесятые годы прошлого столетия, когда статистическая обработка материалов проводилась далеко не всегда, применяли оценку показателей в виде границ вариации. Таким образом, получили возможность использовать референсные данные, опубликованные в известных классических исследованиях, которые были выполнены в прошлом веке, и сопоставлять их с современными.

По данным таблицы 1, можно увидеть достаточно четкие различия границ вариации референсных значений морфометрических показателей карпатской, среднерусской, серой горной кавказской, краинской и таврической пород. К сожалению, данных по границам вариации кубитального и тарзального индексов у таврической пчелы в публикациях В. В. Алпатова мы не нашли и поэтому вставили интервал доверительной вероятности.

По длине хоботка таврическая пчела не выделяется среди других пород. Породный стандарт только серой горной кавказской породы медоносной пчелы отличается от других самым широким и большим интервалом варьирования длины этого показателя. Обращает на себя внимание наименьшее значение длины хоботка у среднерусской породы, что не противоречит правилу Аллена [11], согласно которому в более прохладном климате длина хоботка уменьшается. Скорее всего, это является результатом естественного отбора, обусловленного глубиной залегания

нектара в цветках липы сердцевидной, как одного из основных кормовых растений медоносной пчелы на обширных территориях Евразии [22–25].

Таблица 1

Границы вариации референсных значений морфометрических показателей у различных пород медоносных пчёл, наиболее часто используемые на территории Российской Федерации

Породы пчел	Границы вариации морфометрических показателей					
	Длина хоботка, мм	Кубитальный индекс, %	Тарзальный индекс, %	Дискоидальное смещение, %		
				«+»	«0»	«-»
Среднерусская (по Николаенко В. П., 2005) [18]	6,0–6,4	60–65	55–60	0	5–10	90–95
Серая горная кавказская (по Н. И. Кривцову, 2009)[19]	6,7–7,2	50–55	50–60	0	0–29	71–96
Карпатская (по В. А. Гайдару, 2004) [20]	6,6–6,7	33–43	57–60	85–100	0–15	0–5
Краинская (по В. В. Алпатову, 1938) [21]	6,4–6,8	46–47	58–61	80–100	0–20	0–5
Таврическая (по В. В. Алпатову, 1948) [4]	6,4–7,2	57,98±2,24	57,73±0,38	94–100	0–6	0

По кубитальному индексу таврическая пчела отличается значительно большими значениями минимальных и максимальных величин среди четырех южных пород, но, в то же время, заметно уступает по величине кубитального индекса среднерусской.

Интервалы значений тарзального индекса очень близки к референсным значениям пчел всех пяти пород. Характерно, что максимальные величины (верхние границы) у всех пород практически совпадают, но нижние границы – нет. В этом случае можно отметить наименьшее значение у серой горной кавказской породы. Таким образом, тарзальный индекс менее информативен при различении подвидов, чем кубитальный. И это важно учитывать при поиске и восстановлении таврической пчелы.

По доминированию отрицательного дискоидального смещения среднерусская и серая горная кавказская породы пчел кардинально отличаются от остальных пород. Однако, для всех породных групп свойственно наличие небольшой доли пчел с нейтральным дискоидальным смещением. При этом таврическая пчела в прошлом веке отличалась от всех остальных наибольшей «чистотой» по этому признаку, своим

почти 100 %-ным доминированием положительного дискоидального смещения. Это также важно учитывать при поиске семей этой пчелы с такими характеристиками.

В таблице 2 представлены современные границы вариации морфометрических показателей у пчел из четырех крымских пасек в сопоставлении с ранее распространенной здесь таврической пчелой.

Таблица 2

Средние значения, интервалы их доверительной вероятности и границы варибельности морфометрических показателей у современных крымских пчел и пчел таврической породы *A. mellifera taurica* (Alpatov, 1948) [4]

Группа пчел	Интервалы доверительной вероятности 95 % и границы вариации морфометрических показателей					
	Длина хоботка, мм $\bar{x} \pm \Delta$ <i>Lim</i>	Куб. индекс, % $\bar{x} \pm \Delta$ <i>Lim</i>	Гарзальный индекс, % $\bar{x} \pm \Delta$ <i>Lim</i>	Дискоидальное смещение, <i>Lim</i> %		
				«+»	«0»	«-»
Пчелы первой частной пасеки г. Севастополя от 3 семей (n=113)	6,23±0,18 5,4–7,2	41,43±2,24 26,8–58,3	58,11±0,41 47,6–64,1	32–100	0–44	0–42
Пчелы второй частной пасеки из г. Севастополя от 5 семей (n=142)	6,4±0,15 5,3–7,7	40,87±2,13 27,3–58,8	58,97±0,65 53,5–62,8	24–77	13–48	4–28
Пчелы частной пасеки из п. Научный собраны на цветках (n=25)	6,00±0,23 5,2–6,9	41,45±2,22 32,6–56,4	56,66±0,97 52,4–61,0	56*	36*	8*
Пчелы частной пасеки из с. Соколиное от 20 семей (n=621)	6,56±0,08 4,7–7,0	41,57±1,94 24,0–64,0	57,82±0,65 52,3–65,9	0–100	0–52	0–42
Таврическая пчела от 3 семей (n=621) (по В. В. Алпатову, 1948) [4]	6,44±0,06	57,98±2,24	57,73±0,38	94–100	0–6	0

Примечание: *В пос. Научный исследовалась выборка из пчел, кормившихся на лесной поляне, поэтому интервалы варьирования значений дискоидального смещения не представлены.

Как видно из представленных данных, интервалы доверительной вероятности и границы интервалов варьирования у всех исследуемых пчел из крымских пасек по

всем проанализированным показателям, за исключением кубитального индекса, шире, чем у таврической породы.

Таким образом, на сегодняшний день у 75 % исследованных крымских пчел интервалы варьирования всех количественных признаков, также, как и у качественного признака (дискоидальное смещение), гораздо шире. При этом, как видно из табличных данных, появилась большая доля особей во всех четырех изученных группах пчел с нейтральным вариантом дискоидального смещения, чего не наблюдалось в Крыму в прошлом столетии. Конечно, в условиях несоблюдения поддержания чистоты пород, районированных на полуострове еще в советское время, отсутствие современной стратегии развития пчеловодства на данной территории, массовая интродукция других пород из европейских стран, этого и следовало ожидать. Как известно, аналогичные проблемы существуют с поддержанием чистоты коренных популяций среднерусской пчелы, о чем имеется достаточно актуальных свидетельств [26–28].

Попарное сравнение интервалов доверительной вероятности количественных данных, полученных для крымских пчел из 4-х пасек с ранее существовавшей здесь таврической породы, показало, что все эти пчелы по тарзальному индексу близки и даже с привлечением статистической обработки, не имеют достоверных различий с таврической пчелой. Все нынешние крымские пчелы имеют значения кубитального индекса ниже, чем у таврической.

По длине хоботка все анализируемые группы пчел отличаются от таковых у *A. mellifera taurica* более низкими значениями данного параметра. Этот показатель достаточно часто используется для дифференциации пчелиных семей на пасеках. Так, например, недавно (август, 2024г.) морфометрические характеристики *A. mellifera* в Суданской и Судано-Сахельской климатических зонах Африки (800 рабочих пчел из 80 семей 16 пасек Суданской и Судано-Сахельской климатических зон Буркина Фасо) показали также достаточно широкий интервал доверительной вероятности длины хоботка ($4,31 \pm 0,57$ мм). Это доказывает, что интродуцированная западная медоносная пчела на другом континенте стала иметь значительное меньшее значение длины хоботка и большую вариабельность этого показателя [29].

Как свидетельствуют данные таблицы 1, в прошлом у таврической породы, как и у карпатской и краинской, преобладало положительное дискоидальное смещение, но если у таврической не встречались особи с отрицательным, и очень редко с нейтральным смещением, то у двух других – эти качественные признаки достигали заметных значений. На сегодня у крымских пчел выявлены особи с нейтральным и отрицательным дискоидальным смещением в значительном количестве, что не было отмечено в прошлом.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. По морфометрическим показателям все исследуемые группы медоносных пчел из крымских пасек не соответствует ни одной, из наиболее часто используемых на территории Российской Федерации породе пчел, и представляют собой помесные формы, что обусловлено несоблюдением породного районирования в Крыму карпатской и украинской степной пород.

2. Рабочие пчелы от семей из всех четырех пасек по своим морфометрическим показателям не соответствуют референсным значениям ранее широко разводимой в Крыму таврической породе, описанной профессором МГУ Алпатовым В. В. еще в первой половине прошлого века.
3. Исследованные крымские пчелы отличаются в первую очередь очень низкими значениями кубитального индекса, что свойственно для других пород, а также возросшими значениями частот встречаемости особей с отрицательным и нейтральным дискоидальным смещением.
4. Современные пчелы имеют более широкие интервалы варьирования признаков, также как и интервалы 95 %-ной доверительной вероятности средней арифметической, что вызвано смешением пород из-за отсутствия контроля ввоза плодных маток от европейских производителей.

Список литературы

1. Морева Л. Я. Экологические особенности пчелы медоносной (*Apis mellifera* L.) на юге России: автореферат диссертации на соискание ученой степени доктора биологических наук. / Морева Л. Я. – М.: 2007. – 48 с.
2. Пчеловодство: учебник для вузов по агрономическим специальностям / Ю. А. Черевко [и др.]. – М.: Колос, 2008. – 296 с.
3. Ивашов А. В. Состояние и сохранность *Apis mellifera taurica* на территории Крыма / А. В. Ивашов, Т. О. Быкова, В. Н. Саттаров, А. Г. Маннапов // Журнал «Пчеловодство», М. – 2016. – Вып. № 9 – С. 20–23.
4. Алпатов В. В. Породы медоносной пчелы. / Алпатов В. В. – М.: Издательство Московского общества испытателей природы, 1948 – 183 с.
5. Руттнер Ф. Р. Породы пчел Африки / Ф. Р. Руттнер // XXV Международный конгресс по пчеловодству. – Бухарест: Апимондия, 1976. – С. 330–349.
6. Березин А. С. Методы морфометрии в определении породной принадлежности медоносных пчел / Березин А. С. // Биомика. – 2019. – Т.11(2). – С. 167–189.
7. Лаврехин Ф. А. Биология медоносной пчелы / Ф. А. Лаврехин, С. В. Панкова. – М.: Колос, 1983. – 303 с.
8. Mărghitaş A. L. Morphometric differences between honey bees (*Apis mellifera carpatica*) populations from Transylvanian area, / Mărghitaş A. L., Paniti-Teleky O., Dezmirean D. S., Mărgăoan R., Bojan C., Coroian C. L., Moise L. A. // Journal Scientific Papers Animal Science and Biotechnologies. – 41. – 300 (2008).
9. Enas A. A. Alabdali. Asiri of the native honey bee (*Apis mellifera jemenitica*) in the south western region of Saudi Arabia using morphometric and genetic (mtDNA COI) characteristics. / Enas A. A. Alabdali, Hamed A. Ghramh, Essam H. Ibrahim, Zubair Ahmad, and Asma N. // Saudi J Biol Sci. – 2021. – 28(4). – P. 2278–2284.
10. Gérard M. Shift in size of bumblebee queens over the last century. / Gérard M., Martinet B., Maebe K., Smaghe G., Vereecken N. J., Rasmont P. et al. // Glob. Change Biol. – 2020. – 26. – P. 1185–1195 <https://doi.org/10.1111/gcb.1489>
11. Ruttner F. Biogeography and taxonomy of honey bees / F. Ruttner. – Berlin, Germany: Springer-Verlag, 1988. – 284 p.
12. Calfee E. Selection and hybridization shaped the rapid spread of African honey bee ancestry in the Americas, / Calfee E., Agra M. N., Palacio M. A., Ramírez S. R., Coop G. // PLoS Genet– 2020. – 16(10). – e1009038. <https://doi.org/10.1371/journal.pgen.1009038>
13. Bianchi E. Defensive Behavior and Morphometric Variation in *Apis mellifera* Colonies From Two Different Agro-Ecological Zones of North-Western Argentina. / Bianchi E., Agra M. N., García C., Gennari G., Maldonado L., Rodríguez G. A., Palacio M. A., Scannapieco A. C. and Lanzavecchia S. B. // Frontiers in Ecology and Evolution – 2021. – Vol. 9. – e-print arXiv: 590225.

14. Kakhramanov B. Morphological features of the Carniolan (*Apis mellifera carnica* Pollm) and Carpathian (*Apis mellifera carpatica*) breeds of honey bees / Kakhramanov B., Isamukhamedov S., Safarova F., Donaev K., Mamadov F. // E3S Web of Conferences. – 2021. – 284. – 30184 <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202128403018> e-print arXiv: 03018E3.
15. Frunze O. Morphometric Characterization of Honey Bee, *Apis mellifera* Linnaeus, Inbred Lines in Korea. / Frunze O., Choi Y. S., Kim D. W., Park B. S., Park H. G., Kang E. J. // Korean Journal of Applied Entomology. – 2020. – 59 (4). – P. 371.
16. Быкова Т. О. Morphometric variability of wild honey bees of the mountain forest zone of Crimea as a material for breeding / Т. О. Быкова, А. С. Krivozubov, А. В. Ivashov, V. N. Sattarov, А. F. Safonkin, Т. А. Triseleva, А. М. Soloviev, I. S. Emirsinov // E3S Web of Conferences, TPACEE-2020. – 224. – P. 04014.
17. Саттаров В. Н. Апидологические коллекции / В. Н. Саттаров, А. И. Скворцов, А. В. Ивашов, Т. О. Быкова, С. П. Иванов, И. С. Эмирсинов, Р. М. Мишук, М. Р. Сабирджонова, Р. Р. Кистанова, Д. З. Шарафутдинов // Журнал «Пчеловодство», Москва. – 2020. – Вып. № 7. – С. 10–12.
18. Николаенко В. П. Племенная работа с пчелами. / Николаенко В. П. – Ростов н/Д: БАРО-ПРЕСС, 2005 – 144 с.
19. Кривцов Н. И. Серые горные кавказские пчелы / Н. И. Кривцов, С. С. Сокольский, Е. М. Любимов. Научное издание. – Сочи, 2009. – 192 с.
20. Гайдар В. А. Сравнительная оценка карпатских и краинских пчел / Гайдар В. А. // Пчеловодство. – 2004 – № 8 – С. 18–20.
21. Алпатов В. В. Пчелы Крайны и Крыма и их место среди других форм. / Алпатов В. В. // Зоол. журн. – 1938. – Т. XVI, Вып. 3. – С. 472–481.
22. Быкова Т. О. Оценка пчелиных семей степной зоны Крыма / Т. О. Быкова, А. В. Ивашов, В. Н. Саттаров, В. О. Амелина, А. В. Сатарова // Журнал «Пчеловодство», Москва. – 2021. – Вып. № 10. – С. 23–25.
23. Ruttner F. Biometrical-statistical analysis of the geographic variability of *Apis mellifera* L. / F. Ruttner, L. Tassencourt, J. Louveaus // Apidologie. – 1978. – Vol. 9, Is. 4. – P. 363–381.
24. Ruttner F. Naturgeschichte der Honigbienen / F. Ruttner. – Munich: Ehrenwirth, 1992. – 455 p.
25. Кривцов Н. И. Идентификация внутривидовых таксонов пчелы медоносной / Н. И. Кривцов // Пчеловодство. – 2003. – № 8. – С. 23–25.
26. Сагитов С. Т. Исследование популяции *Apis mellifera* на территории geopарка «Торатау» как поиски дополнительного резервата чистопородных пчел / Сагитов С. Т., Саттаров В. Н., Абдрахимова Ю. Р., Зайнуллина Г. Р., Султанова Р. Р., Ханнанова Л. Ф. // Вестник Башкирского государственного педагогического университета им. М. Акмуллы. – 2023. – №S1 (66). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/issledovanie-populyatsii-apis-mellifera-na-territorii-geoparka-toratau-kak-poiski-dopolnitelnogo-rezervata-chistoporodnyh-pchel> (дата обращения: 26.09.2024).
27. Sagitov S. Phenetic diversity of the honey bee population (*Apis mellifera*) in the Toratau geopark of the Republic of Bashkortostan, / Sagitov S., Ilyasov R., Sattarov V., Abdrakhimova Y., Danilenko V., Gazizova N., Sattarova A., Boguslavsky D. // U. Bee J. – 2023. – 23(1). – P. 115–127. DOI: 10.31467/uluaricilik.1271880
28. Sabirdzhonova M. R. The phenotypic variability of *Apis mellifera* drones in apiaries of the northern part of Bashkortostan / Sabirdzhonova M. R., Sattarov V. // Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Povolzhskiy region. Estestvennye nauki = University proceedings. Volga region. Natural sciences. – 2021. – 2. – P. 74–83. (In Russ.) doi:10.21685/2307-9150-2021-2-7
29. Souhaïbou S. Morphometric characteristics of the honeybees (*Apis mellifera* Linnaeus, 1758) and their variability in the Sudano-Sahelian and Sudanian climatic zones of Burkina Faso / Souhaïbou S., Hugues R. B., Oswald G. D. // *Authorea*. – 2024. DOI: 10.22541/au.172507427.70994147/v1

**SOME MORPHOMETRIC INDICATORS OF WORKING BEES APIS
MELLIFERA LINNAEUS FROM PRIVATE APIERS OF CRIMEA
BEEKEEPERS**

Bykova T. O., Lisovaya D. S., Ivashov A. V.

*Institute of Biochemical Technologies, Ecology and Pharmacy (structural unit) of the Crimean Federal University named after V. I. Vernadsky, Simferopol, Republic of Crimea, Russia
E-mail: t.o.bykova@mail.ru*

Previously, a subspecies of the Crimean bee, described by V. V. Alpatov as *A. mellifera taurica* (Alpatov, 1948) [4], was widespread in Crimea. However, due to uncontrolled interbreeding and haphazard importation of other races, the subspecies was lost. It is hoped that some families have survived in the foothills or mountain forests of Crimea [5].

In the Crimean peninsula, where for many decades mass imported fetal uteruses of different breeds (subspecies) of European bees, the aboriginal, well adapted to local conditions Taurian breed is now considered lost. A couple of decades ago in natural conditions (mountainous Crimea) [3] bees with a very close phenotype were encountered and there is hope that its descendants can be identified in the process of mass screening of Crimean bee families. In this regard, the main purpose of the study was to compare samples of Crimean bees from four locations in modern times in relation to those bees described as a breed by Prof. V. V. Alpatov in the first half of the last century (1938, 1948). Two apiaries were located in the city of Sevastopol, where reproduction of bee families took place without importation of third-party fertile mothers for more than 20 years; one apiary was located at the edge of the forest on the outskirts of the village of Sokolinoye, where the bee families were reproduced without importation of third-party fertile mothers. One apiary was located at the edge of the forest on the outskirts of Sokolinoye village, where bee generations were reproduced haphazardly by importing fetal mothers from Carpathian, Krainian and other breeds, as well as swarming bees from the adjacent forest.

The last location was a forest glade near Nauchny village, located within a large forest area covering the northern macro-slope of the Crimean Mountains.

We studied 901 specimens of summer collections (June, 2024) of worker honey bees from 25 families from three Crimean apiaries in a forest glade in the mountain-forest zone of Crimea near Nauchny village. In each sample, 20–30 individuals were selected from families and collections in the forest glade and measurements of such most informative morphometric parameters as: proboscis length, cubital index, tarsal index, discoidal displacement were made. The obtained data were processed using Excel 2010 program. The limits of variation and intervals of 95 confidence intervals of arithmetic mean of three quantitative traits and intervals of post-family variation of sample mean proportions of discoidal displacement variants (positive, zero and negative) were determined.

The data of the following authors were used as reference values of the selected indicators: Central Russian (according to V. P. Nikolayenko, 2005) [18], gray mountain Caucasian (according to N. I. Krivtsov, 2009) [19], Carpathian (according to V. A. Gaidar, 2004) [20], Krainian (according to V. V. Alpatov, 1938) [21], Taurian (according to V. V. Alpatov, 1948) [4].

Comparison of these breeds showed that the Taurian bee differs most from the other three southern breeds in cubital index, but at the same time it is noticeably inferior in cubital index value to the Central Russian bee. In discoidal displacement it differs from all breeds by almost complete dominance (94–100 %) of the positive variant.

According to morphometric indices all investigated groups of honey bees from Crimean apiaries do not correspond to any of the most frequently used bee breeds in the territory of the Russian Federation and represent mixed forms, which is caused by non-compliance with breed zoning in Crimea of Carpathian and Ukrainian steppe breeds and the influx of fetal mothers of European subspecies. Worker bees from the families of all four apiaries do not correspond in their morphometric parameters to the reference values of the earlier widely used in Crimea Tauric breed described by Professor V. V. Alpatov of the Moscow State University back in the first half of the last century.

The current Crimean bees studied differ from those in the first half of the last century in the first place by very low values of the cubital index, which is also characteristic of other breeds, as well as by increased frequencies of individuals with negative and neutral discoidal displacement.

In general, modern bees have wider intervals of trait variation, as well as intervals of 95 % confidence intervals of the arithmetic mean, which is caused by the mixing of breeds due to the lack of control over the importation of fetal mothers from European producers.

Thus, this apiary was interesting as a result of the work of an experienced beekeeper for many decades, whose main task was to obtain fertile mothers from the most viable and productive families. So to say mass selection, as it was done by our ancestors for centuries, but with one significant addition: the inclusion in the process of different subspecies originating from European bees as an additional powerful source of replenishment of the gene pool and variability. In fact, even today on the territory of the Crimean peninsula many beekeepers are engaged in this process. The families of this apiary were of interest also for the simple reason that in spring sampling in one family out of 20 analyzed there was one family with identical morphometric parameters of the Tauris breed described long ago. In our summer collection of worker bees from this family there were no more bees with such parameters (polyandry!). Nevertheless, this apiary seemed promising for evaluating the variability of selected traits in the “cauldron” of uncontrolled self-reproduction of bees, in which the gene pool of this apiary was “cooked”, fueled by additives of fetal bee mothers of Carpathian and Krainian breeds popular in the Crimea and, possibly, genes of migratory chicks and swarming families from the adjacent forest (Tauris breed).

Keywords: honey bee, breed, morphometric characteristics, Crimea.

References

1. L. Ya. Moreva Ecological features of the honey bee (*Apis mellifera* L.) in the south of Russia, *Abstract of a dissertation for the degree of Doctor of Biological Sciences*, 48 p. (Moscow, 2007).
2. Cherevko Yu. A., Cherevko L. D., Boytsenyuk L. I., Kochetov A. S. A. *Beekeeping: a textbook for universities on agronomic specialties*, 296 p. (Moscow, Kolos, 2008).
3. Ivashov A. V., Bykova T. O., Sattarov V. N., Mannapov A. G. Condition and preservation of *Apis mellifera taurica* in the Crimea, *Journal “Beekeeping”*, **9**, 20 (2016).
4. Alpatov V. V. *Honey bee breeds*, 183 p. (Publishing House of the Moscow Society of Nature Testers, (1948).

5. Ruttner F. P. Breeds of bees in Africa, *XXV International Congress on Beekeeping*, 330 (1976).
6. Berezin A. S. Methods of morphometry in determining the breed of honey bees, *Biomics*, **11(2)**, 167 (2019).
7. Lavrekhin F. A., Pankova S. V. *Biology of the honey bee*, 303 p. (Kolos, Moscow, 1983).
8. Mărghitaş A. L., Paniti-Teley O., Dezmiorean D. S., Mărgăoan R., Bojan C., Coroian C. L., Moise L. A., Morphometric differences between honey bees (*Apis mellifera carpatica*) populations from Transylvanian area, *Journal Scientific Papers Animal Science and Biotechnologies*, **41**, 300 (2008).
9. Enas A. A., Alabdali H., Ghramh, A., Essam H., Ibrahim B., Zubair A., Asma N. Asiri of the native honey bee (*Apis mellifera jemenitica*) in the south western region of Saudi Arabia using morphometric and genetic (mtDNA COI) characteristics. *Saudi J Biol Sci.*, **28(4)**, 2278 (2021).
10. Gérard M., Martinet B., Maebe K., Smaghe G., Vereecken N. J., Rasmont P. Shift in size of bumblebee queens over the last century. *Glob. Change Biol.*, **26**, 1185 (2020).
11. Ruttner F. *Biogeography and taxonomy of honey bees*, 284 p. (Berlin, Germany: Springer-Verlag, 1988).
12. Calfee E., Agra M. N., Palacio M. A., Ramírez S. R., Coop G. Selection and hybridization shaped the rapid spread of African honey bee ancestry in the Americas, e-print arXiv: e1009038 (2020).
13. Bianchi E., Agra M. N., García C., Gennari G., Maldonado L., Rodríguez G. A., Palacio M. A., Scannapieco A. C. and Lanzavecchia S.B. Defensive Behavior and Morphometric Variation in *Apis mellifera* Colonies From Two Different Agro-Ecological Zones of North-Western Argentina, e-print arXiv: 590225 (2021).
14. Kakhramanov B., Isamukhamedov S., Safarova F., Donaev K., Mamadov F. Morphological features of the Carniolan (*Apis mellifera carnica* Pollm) and Carpathian (*Apis mellifera carpatica*) breeds of honey bees, e-print arXiv: 03018E3 (2021).
15. Frunze O., Choi Y. S., Kim D. W., Park B. S., Park H. G., Kang E. J. Morphometric Characterization of Honey Bee, *Apis mellifera* Linnaeus, Inbred Lines in Korea. *Korean Journal of Applied Entomology*, **59(4)**, 371(2020).
16. Bykova T. O., Krivozubov A. S., Ivashov A. V., Sattarov V. N., Safonkin A. F., Triseleva T. A., Soloviev A. M., Emirsinov I. S. Morphometric variability of wild honey bees of the mountain forest zone of Crimea as a material for breeding, e-print arXiv: 04014 (2020).
17. Sattarov V. N., Skvortsov A. I., Ivashov A. V., Bykova T. O., Ivanov S. P., Emirsinov I. S., Mishchuk R. M., Sabirjonova M. R., Kistanova R. R., Sharafutdinov D. Z. Epidemiological collections, *Magazine "Beekeeping"*, **7**, 10, (2020).
18. Nikolaenko V. P. *Breeding work with bees*, 144 p. (BARO-PRESS, Rostov, 2005).
19. Krivtsov N. I., Sokolsky S. S., Lyubimov E. M. *Gray mountain Caucasian bees*, 192p. (Scientific publication, Sochi, 2009).
20. Gaidar V. A. Comparative assessment of Carpathian and Krajcin bees, *Beekeeping*, **8**, 18 (2004).
21. Alpatov V. V. Bees of the Crimea and the Crimea and their place among other forms, *Zool. journal.*, **3**, 472 (1938).
22. Bykova T. O., Ivashov A. V., Sattarov V. N., Amelina V. O., Sattarova A. V. Assessment of bee colonies in the steppe zone of Crimea, *"Beekeeping"*, **10**, 23 (2021).
23. Ruttner F. Biometrical-statistical analysis of the geographic variability of *Apis mellifera* L, *Apidologie*, **9(4)**, 363 (1978).
24. Ruttner F. *Naturgeschichte der Honigbienen*, 455 p. (Munich: Ehrenwirth, 1992).
25. Krivtsov N. I. Identification of intraspecific taxa of honey bee, *Beekeeping*, **8**, 23 (2003).
26. Sagitov S. T., Sattarov V. N., Abdrakhimova Y. R., Zainullina G. R., Sultanova R. R., Khannanova L. F. Study of the *Apis mellifera* population in the territory of the Toratau Geopark as a search for an additional reserve of purebred bees, *Bulletin of M. Akmulla Bashkir State Pedagogical University*, **№S1(66)** (2023).
27. Sagitov S., Ilyasov R., Sattarov V., Abdrakhimova Y., Danilenko V., Gazizova N., Sattarova A., Boguslavsky D. Phenetic diversity of the honey bee population (*Apis mellifera*) in the Toratau geopark of the Republic of Bashkortostan, *U. Bee J.*, **23(1)**, 115 (2023).
28. Sabirdjonova M. R., Sattarov V. The phenotypic variability of *Apis mellifera* drones in apiaries of the northern part of Bashkortostan, *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Povolzhskiy region. Estestvennye nauki = University proceedings. Volga region. Natural sciences*, **2**, 74 (2021).
29. Souhaïbou S., Hugues R. B., Oswald G. D. Morphometric characteristics of the honeybees (*Apis mellifera* Linnaeus, 1758) and their variability in the Sudano-Sahelian and Sudanian climatic zones of Burkina Faso, *Authorea* (2024).

УДК 599.32/35:614.449

DOI 10.29039/2413-1725-2024-10-4-40-57

МЕЛКИЕ МЛЕКОПИТАЮЩИЕ КРЫМА: ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ И ЭПИЗООТОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ В РАЗНОГОДИЧНОЙ ДИНАМИКЕ

Владычак В. В.¹, Кобечинская В. Г.², Якунин С. Н.¹

¹*ФГКУЗ «Противочумная станция Республики Крым» Роспотребнадзора, Симферополь,
Республика Крым, Россия*

²*Институт биохимических технологий, экологии и фармации (СП) ФГАОУ ВО «Крымский
федеральный университет имени Вернадского», Симферополь, Республика Крым, Россия
E-mail: vladychak.victor@mail.ru*

Мелкие млекопитающие занимают ведущее положение в циркуляции возбудителей многих зоонозных инфекций в Крыму. Исследованы экологические аспекты их распространения на территории полуострова, выявлены основные доминирующие виды в различных ландшафтных зонах. Определена разногодичная динамика распространения этих видов за период 2015–2023 гг. Всего было отловлено 4142 экземпляра мелких млекопитающих, проведено 3568 лабораторных исследований. Это позволило получить репрезентативные данные как по фаунистической распространенности видов, так и по их эпидемиологической роли носителей и переносчиков болезней. Именно фоновые виды являются ведущими прокормителями разнообразных кровососущих членистоногих, которые переносят опасные заболевания. Выявлена роль отдельных видов мелких млекопитающих в поддержании природных очагов различных видов инфекций.

Ключевые слова: мелкие млекопитающие, ландшафтные зоны, зоонозные инфекции, динамика распространения, Крым.

ВВЕДЕНИЕ

Основоположником изучения териофауны полуострова можно считать первого вице-губернатора Крыма К. И. Габлица, который в 1783 году составил список млекопитающих из четырнадцати видов, обитающих на этой территории [1]. К. Ф. Кеслер неоднократно посещал Крым в течение 1858–1880 гг. для изучения крымской фауны, он инициировал учреждение комитета по детальному изучению природы полуострова при Санкт-Петербургском обществе естествоиспытателей. С этой целью в Таврическую губернию был направлен для исследования фауны зоолог А. М. Никольский. Его сводка «Позвоночные животные Крыма» (1891) содержала систематический обзор всех видов этой обширной группы, обитающих в Крыму, поэтому её можно рассматривать как итог более чем столетнему периоду в изучения фауны полуострова [2]. В 1885 году вышла работа Ф. П. Кешпена, в которой он выдвинул гипотезу о близости фауны Кавказа и горного Крыма, которая оказала влияние на зоогеографические взгляды зоологов, работавших здесь впоследствии [3]. В 1893 году на должность губернского энтомолога был назначен С. А. Мокржецкий, который инициировал учреждение Симферопольского

естественно-исторического музея с созданием коллекционных фондов местной фауны. Фрагменты териологической части этой коллекции в настоящее время хранятся в Зоологическом институте РАН г. Санкт-Петербург. В дореволюционный период, благодаря исследователям С. И. Огневу и супругам В. и Э. Мартино, были собраны серийные коллекционные материалы, позволившие провести в последствии систематизацию крымских млекопитающих [4, 5].

Известный исследователь фауны Крыма И. И. Пузанов в своих публикациях упоминает многих ученых, работавших в области систематики, экологии, болезней и паразитов млекопитающих (Б. И. Волянский, А. К. Даль, А. Р. Штамм, Э. И. Шерешевский, М. И. Котовщикова, И. Я. Поляков, Д. И. Рухлядев, С. К. Алгулян, В. Г. Гептнер, М. И. Саввина, А. А. Бируля, В. И. Громов, Б. С. Виноградов и др.) [6, 7].

В послевоенный период зоологические исследования териофауны юга Украины и Крыма проводились С. А. Афанасьевым и Г. И. Билык, Ю. В. Авериним, С. Л. Делямуре, Ф. Н. Вшивковым, А. Н. Киселевым [8, 9]. В 60-е годы проводилось детальное изучение экологии грызунов в Крымском заповеднике и других ландшафтно-климатических зонах полуострова (А. А. Кормилицин, В. В. Кормилицина, З. С. Ходыкина, Д. Д. Завалева, А. И. Константинов, В. П. Дмитриева, К. К. Панютин и др.) [10].

Таким образом, результаты почти 240-летних исследований фауны Крыма представляют большой научный и исторический интерес при изучении современной и исторической териофауны полуострова, особенно при сравнении этих данных с современными работами в этой сфере.

Большинство мелких грызунов способствуют циркуляции возбудителей многих зоонозных инфекций, являясь главными прокормителями разнообразных кровососущих членистоногих [11–16]. Поэтому так значителен удельный вес исследований по морфо-экологической группе *Micromammalia* в общем объеме зоологических и экологических исследований, посвященных фауне наземных экосистем как в Российской Федерации [17–20 и др.], так и за рубежом [21–26 и др.]

Для анализа современного состояния фауны мелких млекопитающих и динамики этих сообществ в Крыму необходимо учитывать интенсивность антропогенного влияния на очаги их природных местообитаний. В 60–70-е годы XX века насаждение в степном регионе значительного количества лесополос, распашка русел малых рек и балок, введение в строй мощной оросительной системы и создание на больших площадях орошаемого земледелия привели к серьезным биотопическим изменениям ранее засушливых экосистем. Введение в культуру риса и строительство рисовой системы, резкое расширение сельхозугодий привели к смене доминирующих видов в степной части полуострова [13]. Увеличение площади антропогенного воздействия на природу при повышении среднегодовых температур за последние 30 лет на 1,3 °С выше среднемноголетних данных в Крыму в рамках глобального потепления климата планеты [27] вынуждает виды, ранее занимаемые этот ареал обитания, перемещаться на новые территории либо приспосабливаться к сложившимся условиям обитания, т.е. возрастает вероятность частоты возможного контакта их с человеком [14].

Вопросы приуроченности обитаний различных видов мелких млекопитающих по природно-климатическим зонам полуострова с учетом возрастающего с каждым годом антропогенного воздействия на ландшафты Крыма важны, т.к. меняется под влиянием комплекса факторов их территориальная приуроченность. Поэтому так необходимы регулярные ежегодные исследования за динамикой численности популяций этих видов для выявления изменения границ их существования, а, следовательно, и смещений зон природных очагов инфекций, что обусловило выбор темы исследования и её актуальность.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Отбор материала из природных мест обитания мелких млекопитающих проводился по всей территории Крымского полуострова в период с 2015 г. по 2023 годы. Исследования осуществлялись на базе Федерального государственного казенного учреждения здравоохранения «Противочумная станция Республики Крым» Роспотребнадзора, согласно методическим рекомендациям «Отлов, учет и прогноз численности мелких млекопитающих и птиц в природных очагах инфекционных болезней». МР 3.1. 0211-20 [28]; «Сбор, учет и подготовка к лабораторному исследованию кровососущих членистоногих в природных очагах опасных инфекционных болезней». МУ 3.1.3012-12 [30]; Санитарно-эпидемиологических правил при работе с микроорганизмами I-II групп патогенности, СП 1.3.3118-13 [31] и с соблюдением требований СанПин 3.3686-21 «Санитарно-эпидемиологические требования по профилактике инфекционных болезней» [29]. Все работы выполнялись в соответствии с законами и иными нормативными правовыми актами Российской Федерации, действующими в сфере эпидемиологии и экологии, основ трудового законодательства.

Латинские наименования животных приводятся по сводке А. А. Лисовского и др. [32].

Отлов мелких млекопитающих (грызунов, насекомоядных) осуществлялся мышеловками, плашками (давилками Геро) с трапом или без него [33]. Млекопитающих средней величины (крыс) отлавливали дугowymi капканами. Для вылова мелких млекопитающих живыми применяли разного вида живоловки: сетчатого или ящичного типа [34, 35].

Минимальной учетной единицей для каждой станции обитания видов считали 100 ловушко/суток. Учитывалось число зверьков (общее и по видам), попавших в такое количество ловушек. Для каждого вида вычислялся индекс доминирования (далее ИД), отображающий отношение числа особей какого-либо вида к их общему числу в биоценозе по годам и по средним показателям, согласно МУ 3.1.3012 [30]:

$$D_i = n_i / N * 100,$$

где D_i – индекс доминирования, n_i – число особей вида, N – число отловленных экземпляров.

Собранный в экспедиционных условиях материал снабжался этикеткой с детальным описанием мест отлова, даты, общего числа пойманных животных и по их видовому составу. Все сборы помещали в контейнеры и отправляли в лабораторию учреждения. В ней специалистами проводился детальный анализ с выявлением

спектра заболеваний этих животных согласно существующим методическим рекомендациям [30].

Все млекопитающие в лаборатории исследовались на наличие возбудителей при помощи полимеразной цепной реакции (ПЦР), иммуноферментного анализа (ИФА) и реакции прямой гемагглютинации (РПГА) [28–31]. Данные методы позволяют выявлять у мышевидных грызунов возбудителей туляремии, лептоспироза, иксодовых клещевых боррелиозов (ИКБ), вирусов Крымской-Конго геморрагической лихорадки и клещевого энцефалита (КВЭ). Для выявления антигена вируса геморрагической лихорадки с почечным синдромом образцы исследовались методом ИФА. Выявление туляреминых антител проводилось серологическим методом в реакции непрямой гемагглютинации (РНГА). Полученные результаты обрабатывались стандартными статистическими методами с ошибкой средней $\pm 7-10\%$ [33].

Полученные данные были обобщены с использованием ГИС технологий и создания карт [37]. Это эффективный инструмент сбора, хранения, анализа, графической визуализации географических данных и связанной с ними полученной информации об исследуемых объектах. Современный анализ непространственных данных дает возможность совмещать геоинформационную систему с эпизоотологическим мониторингом, что позволяет решать ряд проблем и приводит к качественному и быстрому принятию решений при возникновении заболеваний зоонозного характера. Данные технологии применяются в ФГКУЗ «Противочумная станция Республики Крым» Роспотребнадзора для изучения пространственно-временного распределения стационарно неблагополучных участков Крымского полуострова по таким опасным болезням: сибирская язва, чума, холера, туляремия, боррелиоз, хантавирусная инфекция и др.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Во всех природно-климатических зонах Крыма мелкие млекопитающие являются наиболее многочисленными животными. Именно их фоновые виды являются ведущими прокормителями разнообразных кровососущих членистоногих, которые переносят опасные заболевания, поддерживая их природную очаговость на полуострове.

За период 2015 по 2023 гг. на данной территории было отработано 34336 ловушко/суток, отловлено 4142 экземпляра мелких млекопитающих в степной, предгорной и горной части Крыма, что позволило получить репрезентативные данные как по фаунистической распространенности видов, так и по их эпидемиологической роли носителей и переносчиков болезней.

Фауна мелких млекопитающих Крымского полуострова – немногочисленна и представлена 21 видом, относящихся к двум отрядам: Насекомоядные (*Insectivora*) и Грызуны (*Rodentia*) и восьми родам. 16 видов встречаются часто, остальные представлены единичными находками [17].

Мы обобщили многочисленные литературные данные [10–23] и собственные исследования [38, 39], сделав обобщенную сводку по мелким млекопитающим, которые являются носителями или переносчиками зоонозных заболеваний (табл. 1).

Таблица 1

Ведущие переносчики инфекций из мелких млекопитающих

Название вида	Переносчик болезней
1	2
Малая белозубка	восприимчива к туляремии и её переносчик
Серый хомячок	выделяли возбудителей Ку-лихорадки, чумы, туляремии, эризипилоида
Обыкновенная слепушонка (мышь)	переносчик клещевого риккетсиоза, чумы, туляремии, альвеококкоза, токсоплазмоза
Общественная полевка	восприимчива к бруцеллезу, иерсинеозу, эхинококкозу; переносчик: Ку-лихорадки, чумы, туляремии, эризипелоида, лептоспироза габдомадис, альвеококкоза, токсоплазмоза
Обыкновенная (алтайская) полевка	восприимчива к бруцеллезу, переносчик: лептоспироза, энцефалита, лимфоцитарного хориомененгита, сальмонеллёза, сибирской язвы, чумы, псевдотуберкулеза, туляремии, листериоза, эризипелоида, токсоплазмоза, альвеококкоза, гименолепидоза, риккетсиоза, Ку-лихорадки. На ней обитает 40 видов блох, 15 в. – иксодовых, 17 в. – гамазовых и 17 в. – краснотелковых клещей
Восточноевропейская полевка	восприимчива к бруцеллезу; переносчик: лептоспироза, энцефалита, лимфоцитарного хориоменингита, сальмонеллёза, сибирской язвы, чумы, псевдотуберкулеза, туляремии, листериоза, эризипелоида, токсоплазмоза, альвеококкоза, гименолепидоза, риккетсиоза, Ку-лихорадки. На ней обитает 40 видов блох, 15 в. – иксодовых, 17 в. – гамазовых и 17 в. – краснотелковых клещей
Малая лесная мышь	носитель геморрагической лихорадки с почечным синдромом
Степная мышь	переносчик: геморрагической лихорадки с почечным синдромом, туляремии, эризипелоида, дикроцелиоза, альвеококкоза, лептоспироза, Ку-лихорадки, токсоплазмоза, бешенства
Желтогорлая мышь	носитель: иктерогеморрагического лептоспироза, клещевого энцефалита, лимфоцитарного хориоменингита, гименолепидоза, туляремии, геморрагической лихорадки с почечным синдромом
Домовая мышь	носитель: лимфоцитарного хориоменингита, блошиного риккетсиоза, цуцугамуши, клещевого риккетсиоза, везикулярного риккетсиоза, Ку-лихорадки, сальмонеллёза, бруцеллёза, чумы,

МЕЛКИЕ МЛЕКОПИТАЮЩИЕ КРЫМА: ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ...

	сибирской язвы, кожного лейшманиоза, гименолепидоза, трихинеллёза, клещевого энцефалита, западного энцефаломиелита лошадей, аргентинской геморрагической лихорадки, болезни Чагоса. Также является носителями и прокормителями иксодовых, гамазовых и краснотелковых клещей
Черная крыса	переносчик: Ку-лихорадки, сальмонеллёза, псевдотуберкулёза, туляремии, лептоспироза, листероза, эризипелоида, чумы, лихорадки цуцугамуши и марсельской, бруцеллёза, содоку, клещевого спирохетоза, висцерального лейшманиоза, токсоплазмоза, трихинеллёза, блошиного риккетсиоза
Серая крыса	носитель: блошиного риккетсиоза, лихорадки цуцугамуши, клещевого риккетсиоза, везикулярного риккетсиоза, Ку-лихорадки, сальмонеллёза, бруцеллёза, сибирской язвы, чумы, туляремии, листероза, эризипелоида, содоку, токсоплазмоза, трихинеллёза, клещевого энцефалита, бешенства, болезни Чагоса и др. В Крыму на крысе обнаружены 21 вид экто- и 16 видов эндопаразитов
Обыкновенный хомяк	носитель: Ку-лихорадки, чумы, туляремии, лептоспироза, гриппотифоза, альвеококоза, токсоплазмоза, клещевого энцефалита. На хомяке было обнаружено 13 видов блох, 10 в. – иксодовых, 4 в. – гамазовых и 5 в. – краснотелковых клещей
Обыкновенная белка	переносчик: клещевого энцефалита, туляремии, эризипелоида, дикроцелиоза, альвеококоза, лептоспироза, Ку-лихорадки, токсоплазмоза, бешенства
Малый суслик	носитель: сибирской язвы, бруцеллеза, туляремии, Ку-риккетсиоза, лептоспироза, псевдотуберкулеза
Большой тушканчик	носитель: Ку-лихорадки, туляремии, чумы, омской геморрагической лихорадки

Имеющиеся современные эпидемиологические данные свидетельствуют о наличии на территории Крыма природных очагов следующих инфекционных заболеваний: туляремии, лептоспироза, сибирской язвы, клещевого энцефалита (КВЭ), Крымской геморрагической лихорадки (КГЛ), инфекции, вызываемой хантавирусами (геморрагическая лихорадка с почечным синдромом), Ку-лихорадки, бешенства, марсельской лихорадки (МЛ), иксодовых клещевых боррелиозов (ИКБ), иерсиниозов, моноцитарного эрлихиоза человека (МЭЧ) и гранулоцитарного анаплазмоза человека (ГАЧ) [11, 14, 15].

В данной работе мы приводим сводку наиболее часто встречающихся в отловах мелких млекопитающих за 8-летний период исследований (табл. 2).

Таблица 2

Виды мелких млекопитающих, встречающихся наиболее часто в отловах за период 2015-2023 гг. по территории Крыма *

Отряд	Вид	Русское название
Rodentia	<i>Sylvaemus witherbyi</i> , Thomas, 1902	Степная мышь
	<i>Sylvaemus flavicollis (tauricus)</i> , Melchior, 1834	Желтогорлая мышь
	<i>Sylvaemus uralensis</i> , Pallas, 1811	Малая лесная мышь
	<i>Mus musculus</i> , Linnaeus, 1758	Домовая мышь
	<i>Mus spicilegus</i> , Petenyi, 1882	Курганчиковая мышь
	<i>Microtus socialis</i> , Pallas, 1773	Общественная полевка
	<i>Microtus arvalis (obscurus)</i> , Pallas, 1778	Обыкновенная (алтайская) полевка
	<i>Cricetus cricetus</i> , Linnaeus, 1758	Хомяк обыкновенный
	<i>Cricetulus migratorius</i> , Pallas, 1773	Серый хомячок
	<i>Rattus norvegicus</i> , Berkenhout, 1769	Серая крыса
Insectivora	<i>Sicista lorigera</i> , Nathusius, 1840	Южная мышовка
	<i>Crocidura suaveolens</i> , Pallas, 1811	Малая белозубка
	<i>Crocidura leucodon</i> , Hermann, 1780	Белобрюхая белозубка

Примечание: *Источник: Владычак В. В. и др. [38, 39].

Анализ по приуроченности видов к физико-географическим зонам Крыма выявил следующее. Наибольшая плотность и наиболее высокая встречаемость по видовому составу отмечена в степном Крыму, что подтверждает и численность – 2960 отловленных здесь особей (в среднем – 13,0 экз. на 100 ловушко/суток). В убывающем порядке на втором месте по плотности и видовому разнообразию предгорная зона – выловлено 854 особи грызунов (в среднем – 11,1 экз. на 100 ловушко/суток) и наименьшее количество их было поймано в горной зоне – 328 особей (в среднем – 8,5 экз. на 100 ловушко/суток). Ведущая причина такого распределения – кормовая база и контрастные климатические факторы (наличие устойчивого снежного покрова в горах до 100–120 суток, в степной зоне – 10–20 суток).

Рассмотрим динамику популяций, наиболее часто встречающихся в отловах видов с учетом их индекса доминирования (ИД) по физико-географическим зонам Крыма за 8 лет исследований.

В горной зоне к ним можно отнести следующие виды: степная мышь (*S. witherbyi*) – ИД 53,9 %, обыкновенная (алтайская) полевка (*M. arvalis (obscurus)*) – ИД 21,6 %, желтогорлая мышь (*S. flavicollis (tauricus)*) – ИД 12,5 %, общественная полевка (*M. socialis*) – ИД 8,8 %, домовая мышь (*M. musculus*) – ИД 2,1 %, малая лесная мышь (*Sylvaemus uralensis*) – ИД 0,3 %, курганчиковая мышь (*M. spicilegus*) – ИД 0,2 %, серый хомячок (*Cricetulus migratorius*) – ИД 0,2 %, остальные виды в наших отловах представлены единичными экземплярами.

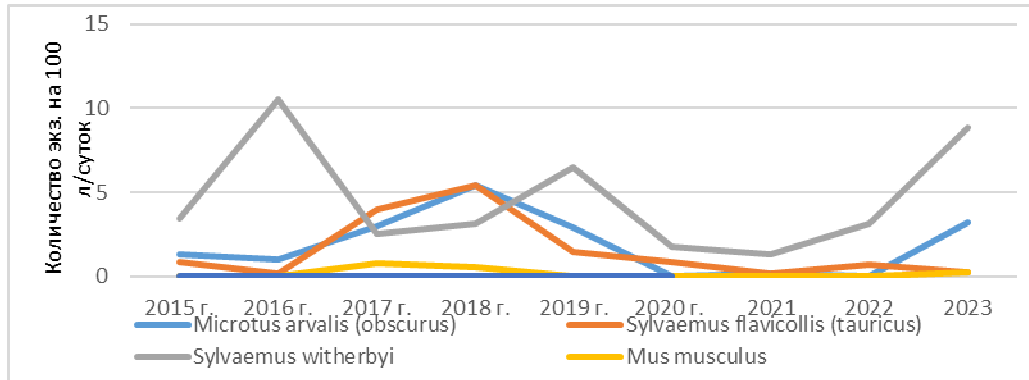


Рис. 1. Разногодичная численность фоновых видов мелких млекопитающих в горной зоне Крыма (2015–2023 гг.).

С учетом разногодичной динамики (рисунок 1) для степной мыши (*S. witherbyi*) 2016 и 2019 года являлись самыми благоприятными, поэтому график имеет четко выраженные пики подъема численности, а с 2020 года наблюдается видимое снижение встречаемости этого вида с подъемом в 2023 г. Для желтогорлой мыши (*S. flavicollis (tauricus)*), начиная с 2015 года по 2018 год, прослеживается неуклонный рост встречаемости этого вида в отловах, а с 2019 года наступает спад популяции данного вида. Для общественной полевки (*M. socialis*) пик численности приходится на 2018 год, с дальнейшим снижением этого показателя в последующие периоды наблюдений. Для остальных видов численность их популяций относительно стабильна без резких колебаний по годам.

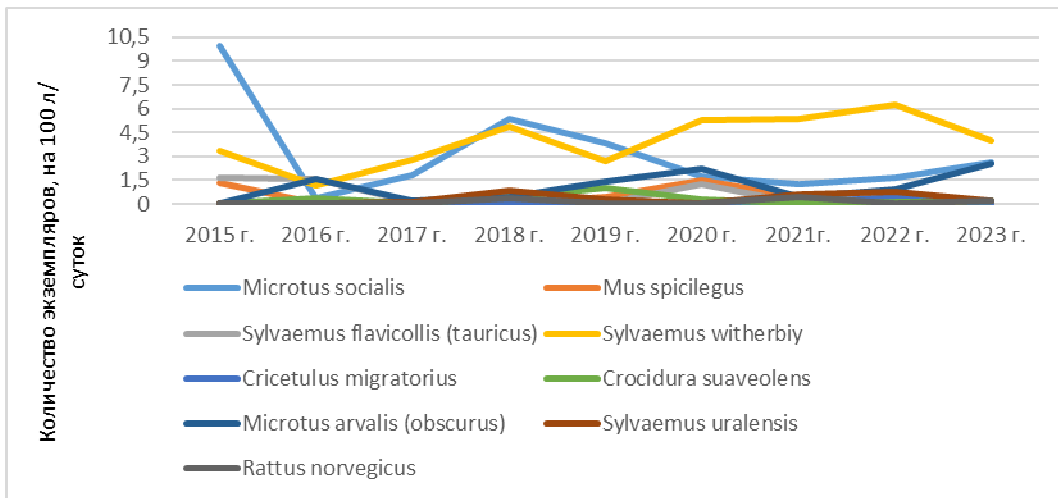


Рис. 2. Разногодичная численность фоновых видов мелких млекопитающих в предгорной зоне Крыма (2015–2023 гг.).

Наиболее часто встречающимися в предгорной зоне являются следующие виды: степная мышь (*S. witherbyi*) – ИД 37,5 %, общественная полевка (*M. socialis*) – ИД 27,1 % и обыкновенная (алтайская) полевка (*M. arvalis (obscurus)*) – ИД 10,3 %, домовая мышь (*M. musculus*) – ИД 10,1 %, малая белозубка (*C. suaveolens*) – ИД 3,85 %, малая лесная мышь (*Sylvaemus uralensis*) – ИД 3,1 %, курганчиковая мышь (*M. spicilegus*) – ИД 2,9 %, желтогорлая мышь (*S. flavicollis (tauricus)*) – ИД 2,9 %, серая крыса (*R. norvegicus*) – ИД 2,63 %, серый хомячок (*Cricetulus migratorius*) – ИД 0,23 %, остальные грызуны встречались единично.

Прежде всего на рисунке 2 следует обратить внимание на более широкий спектр видов доминантов в предгорье, имеющих значительную численность популяций – 10 видов, по сравнению с 8 видами в горной зоне. Для общественной полевки (*M. socialis*) пиками численности являлись 2018–2019 гг., для обыкновенной (алтайской) полевки (*M. arvalis (obscurus)*) благоприятными годами можно считать 2016 год и 2020 год, после чего наступил выраженный спад этого показателя, а в 2023 году видимый рост. Для остальных видов не выражены резкие колебания популяционных волн за годы исследований, за исключением 2020 года, когда было заметно возрастание числа в отловах малой белозубки (*C. suaveolens*) и желтогорлой мыши (*S. flavicollis (tauricus)*).

Наиболее контрастны пики повышения численности и снижения плотности популяций в степной зоне полуострова (рисунок 3).

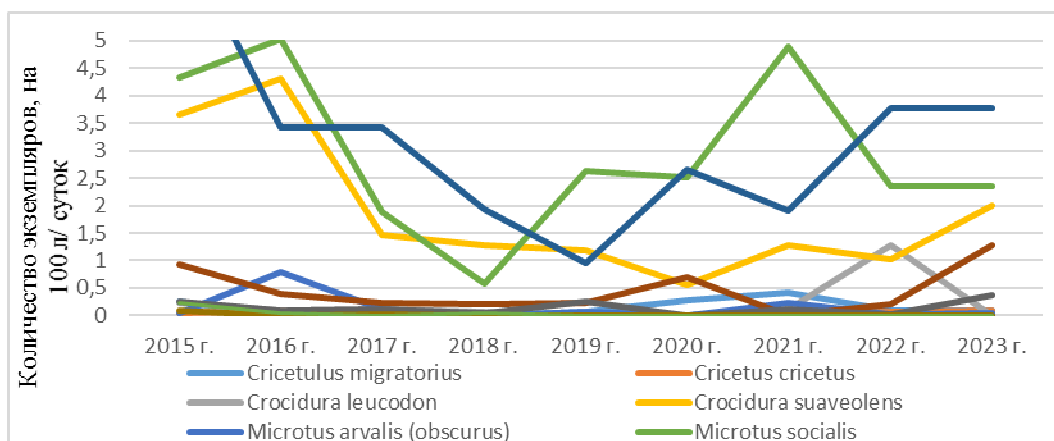


Рис. 3. Разногодичная численность фоновых видов мелких млекопитающих в степной зоне Крыма (2015–2023 гг.).

Самыми распространенными 12 видами в степной зоне Крыма являются: степная мышь (*S. witherbyi*) – ИД 30,7 %, домовая мышь (*M. musculus*) – ИД 24,4 %, общественная полевка (*M. socialis*) – ИД 21,9 %, малая белозубка (*C. suaveolens*) – ИД 14,5 %, серая крыса (*R. norvegicus*) – ИД 12,8 %, курганчиковая мышь (*M. spicilegus*) – ИД 3,6 %, серый хомячок (*Cricetulus migratorius*) – ИД 1,3 %, обыкновенная (алтайская) полевка (*M. arvalis (obscurus)*) – ИД 1,1 %, белобрюхая

белозубка (*C. leucodon*) – ИД 0,72 %, хомяк обыкновенный (*Cricetus cricetus*) – ИД 0,3 %, желтогорлая мышь (*S. flavicollis (tauricus)*) – ИД 0,1 %, южная мышовка (*S. lorigera*) ИД – 0,1 %.

У общественной полевки (*M. socialis*) максимум численности приходился на 2016 год с последующей депрессией с 2018 год по 2021 г., далее происходит выравнивание этого показателя в 2022–2023 гг. Для малой белозубки (*C. suaveolens*) наибольшая численность отмечена в 2016 году, начиная с середины 2017 года идет резкий спад. Наступает катастрофическое снижение популяции данного вида и только с 2020 года он начинает выходить из депрессии и наращивать число, что подтвердили сезонные отловы в степи. Для степной мыши (*S. witherbyi*) пики численности выявлены в 2015–2016 и 2019 гг. Депрессия в популяциях наблюдалась в период 2017–2018 гг. и с 2020 г по 2023 год этот показатель слабо изменялся. Для домовая мышь (*M. musculus*) 2015–2017 гг. являлись самыми благоприятными, число особей при отлове в среднем мало менялось. С 2018 года численность этого вида сильно сократилась, а с 2019 года этот показатель постепенно увеличивался до 2023 г. Для остальных отлавливаемых видов грызунов в степной зоне популяционные волны по годам отловов не выражены.

Таким образом, анализ отлова мелких млекопитающих в основных зонах полуострова показал, что наибольшее фаунистическое разнообразие мелких млекопитающих в степи. Доминирующими видами в степной зоне являются степная мышь (*S. witherbyi*) (с колебаниями в разные годы ИД от 17,8 % до 46,9 %) и домовая мышь (*M. musculus*) (ИД от 9,38 % до 37,8 %); в предгорной – общественная полевка (*M. socialis*) (ИД от 5,8% до 61,1 %) и степная мышь (*S. witherbyi*) (ИД от 17,6 % до 57,7 %); в горной – степная мышь (*S. witherbyi*) (ИД от 12,5 % до 77,7 %) и обыкновенная (алтайская) полевка (*M. arvalis (obscurus)*) (ИД от 11,1 до 54,2 %), т.е. индексы доминирования также свидетельствуют о значительных колебаниях изученных параметров по годам.

Полагаем, что к ведущим причинам установленной нами разногодичной динамики колебаний численности популяций мелких млекопитающих в Крыму можно отнести прежде всего природно-климатические условия: благоприятные, которые способствуют увеличению размеров популяций некоторых видов, неблагоприятные – соответственно сокращение плотности видов (холодная зима, засушливое лето, антропогенный пресс и т.д.). Закономерное: увеличение численности хищников и эктопаразитов в ответ на рост количества природных прокормителей. При возникновении благоприятных условий для размножения и увеличения плотности численности изученных видов, складываются условия для возникновения эпизоотий, которые приводят к массовой гибели большого числа особей того или иного вида. Сюда же можно отнести и возможное изменение кормовой базы по годам с учетом климатических факторов, сокращение мест обитания из-за расширения освоенности как сельскохозяйственных, так и рекреационных территорий и пр.

На рисунке 4 приводятся данные по циркуляции наиболее распространенных инфекций с учетом природно-климатических зон полуострова Крыма за 8 лет (в %).

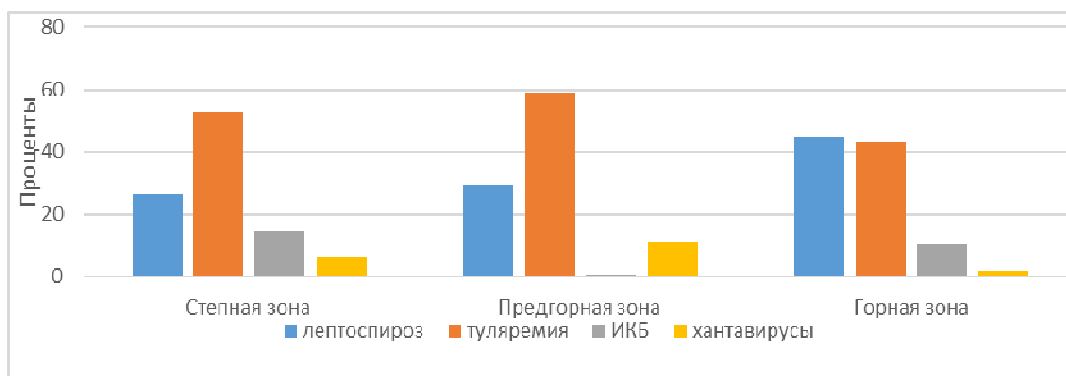


Рис. 4. Циркуляция ведущих зоонозных инфекций на территории Крыма за 2015–2023 гг.

Носители лептоспироза встречаются во всех ландшафтно- климатических зонах Крыма, но особенно высоки эти показатели у видов, обитающих в горной зоне (до 42,1 %). К ним относят: обыкновенную (алтайскую) полевку (*M. arvalis (obscurus)*), желтогорлую мышь (*S. flavicollis (tauricus)*), степную мышь (*S. witherbyi*). общественную полевку (*M. socialis*). Только в предгорной и степной зонах переносчиками этого заболевания были выявлены: курганчиковая мышь (*M. spicilegus*), малая белозубка (*C. suaveolens*), домовая мышь (*M. musculus*), серая крыса (*R. norvegicus*), хомяк обыкновенный (*Cricetus cricetus*).

Ведущими видами мелких млекопитающих, поддерживающих циркуляцию возбудителей туляремии по данным наших исследований, являются: малая белозубка (*C. suaveolens*), общественная полевка (*M. socialis*), степная мышь (*S. witherbyi*), домовая мышь (*M. musculus*), курганчиковая мышь (*M. spicilegus*), серая крыса (*R. norvegicus*) встречающихся по всему Крыму, но чаще всего инфицированы особи, отловленные в предгорье (до 58,9 %).

Основными резервуарами возбудителя геморрагической лихорадки с почечным синдромом, вызываемой хантавирусами, являются: обыкновенная (алтайская) полевка (*Microtus arvalis (obscurus)*), общественная полевка (*M. socialis*), домовая (*M. musculus*) и степная (*S. witherbyi*) мыши, уровень инфицированности этих видов в предгорной зоне достигает 10,9 %.

В 2023 г возбудители иксодовых клещевых боррелиозов (ИКБ) зарегистрированы в степной зоне с самыми высокими показателями (до 14,6 % от всех исследованных животных), в горной зоне они составили – 10,4 % и в предгорьях – 0,6 % соответственно. Их основными переносчиками являются: желтогорлая мышь (*S. flavicollis (tauricus)*), домовая мышь (*M. musculus*), серая крыса (*R. norvegicus*), хомяк обыкновенный (*Cricetus cricetus*) и др. Необходимо отметить, что в горной и предгорной зонах полуострова положительные результаты на иксодовые клещевые боррелиозы (ИКБ) в мелких млекопитающих в период с 2015 по 2019 годы не обнаруживали, а регистрировались только среди иксодовых

клетей. Поэтому выявленная динамика в 2023 г. отмечена впервые за 8 лет исследований.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Мелкие млекопитающие занимают ведущее положение в циркуляции возбудителей многих зоонозных инфекций в Крыму. Определена разногодичная динамика распространения этих видов за период 2015–2023 гг. Всего было отловлено 4142 экземпляра грызунов и проведено 3568 лабораторных исследований, что позволило получить репрезентативные данные как по фаунистической распространенности видов, так и по их эпидемиологической роли носителей и переносчиков болезней.
2. Доминирующими видами среди этой группы в горной ландшафтно-географической зоне являются: степная мышь (*S.witherbyi*) – ИД 53,9 %, обыкновенная (алтайская) полевка (*M. arvalis (obscurus)*) – ИД 21,6 %, желтогорлая мышь (*S. flavicollis (tauricus)*) – ИД 12,5 %, общественная полевка (*M. socialis*) – ИД 8,8 %, домовая мышь (*M. musculus*) – ИД 2,1 %, малая лесная мышь (*S. uralensis*) – ИД 0,3 %, курганчиковая мышь (*M. spicilegus*) – ИД 0,2 %, серый хомячок (*Cricetulus migratorius*) – ИД 0,2 %, остальные виды отмечены единично.
3. Наиболее часто встречающимися видами териофауны в предгорной зоне являются следующие животные: степная мышь (*S. witherbyi*) – ИД 37,5 %, общественная (*M. socialis*) – ИД 27,1 % и обыкновенная (алтайская) (*M. arvalis (obscurus)*) полевки – ИД 10,3 %, домовая мышь (*M. musculus*) – ИД 10,1 %, малая белозубка (*C. suaveolens*) – ИД 3,85 %, малая лесная мышь (*S. uralensis*) – ИД 3,1 %, курганчиковая мышь (*M. spicilegus*) – ИД 2,9 %, желтогорлая мышь (*S. flavicollis (tauricus)*) – ИД 2,9 %, серая крыса (*R. norvegicus*) – ИД 2,63 %, серый хомячок (*Cricetulus migratorius*) – ИД 0,23 %, остальные встречались редко.
4. Самые распространенные виды степной зоны Крыма: степная мышь (*S. witherbyi*) – ИД 30,7 %, домовая мышь (*M. musculus*) – ИД 24,4 %, общественная полевка (*M. socialis*) – ИД 21,9 %, малая белозубка (*C. suaveolens*) – ИД 14,5 %, серая крыса (*R. norvegicus*) – ИД 12,8 %, курганчиковая мышь (*M. spicilegus*) – ИД 3,6 %, серый хомячок (*Cricetulus migratorius*) – ИД 1,3 %, обыкновенная (алтайская полевка) (*M. arvalis (obscurus)*) – ИД 1,1 %, белобрюхая белозубка (*C. leucodon*) – ИД 0,72 %, хомяк обыкновенный (*Cricetus cricetus*) – ИД 0,3 %, желтогорлая мышь (*S. flavicollis (tauricus)*) – ИД 0,1 %, южная мышовка (*S. lorigera*) – ИД 0,1 %.
5. По данным наших исследований носители зоонозных инфекций по лептоспирозу: обыкновенная (алтайская) полевка (*M. arvalis (obscurus)*), желтогорлая мышь (*S. flavicollis (tauricus)*), степная мышь (*S. witherbyi*), общественная полевка (*M. socialis*). Только в предгорной и степной зонах переносчиками этого заболевания были выявлены: курганчиковая мышь (*M. spicilegus*), малая белозубка (*C.suaveolens*), домовая мышь (*M. musculus*), серая крыса (*R. norvegicus*), хомяк обыкновенный (*Cricetus cricetus*). Виды, поддерживающие циркуляцию возбудителя туляремии: малая белозубка

- (*C. suaveolens*), общественная полевка (*M. socialis*), степная мышь (*S. witherbyi*), домовая мышь (*M. musculus*), курганчиковая мышь (*M. spicilegus*), серая крыса (*R. norvegicus*). Основными резервуарами возбудителя геморрагической лихорадки с почечным синдромом, вызываемой хантавирусами, являются: обыкновенная (алтайская) полевка (*Microtus arvalis (obscurus)*), общественная полевка (*M. socialis*), домовая (*M. musculus*) и степная (*S. witherbyi*) мыши. Ведущими переносчиками иксодовых клещевых боррелиозов (ИКБ) являются: желтогорлая мышь (*S. flavicollis (tauricus)*), домовая мышь (*M. musculus*), серая крыса (*R. norvegicus*), хомяк обыкновенный (*Cricetus cricetus*) и др.
- Отмеченные изменения в ландшафтах полуострова как природные, так и антропогенные (потепление климата, рост площадей городов и поселков, сельскохозяйственного и рекреационного освоения территорий и пр.) способствуют их значительной трансформации, что ведёт к изменению ареалов обитания мелких млекопитающих и территориальной приуроченности различных зоонозных инфекций соответственно.
 - Ведение ежегодных исследований по численности популяций териофауны в физико-географических районах Крыма с учетом их эпизоотологического значения позволяет противодействовать ухудшению эпидемиологической ситуации на полуострове при ежегодном росте туристического потока отдыхающих.

Список литературы

- Габлиц К. И. Физическое описание Таврической области по ее местоположению и всем трем царствам природы. / К. И. Габлиц. – 1781. – Режим доступа: <http://prometeus.nsc.ru>. (Дата обращения: 22.09.2024).
- Никольский А. М. Позвоночные животные Крыма / А. М. Никольский. – 1891. – Режим доступа: <http://prometeus.nsc.ru>. (Дата обращения 19.09.2024).
- Кепшен Ф. П. Ученые труды П. С. Палласа / Ф. П. Кепшен. – Режим доступа: <https://search.rsl.ru/ru/record/01003670558ysclidlvqffiiic37162437>. (Дата обращения 22.09.24).
- Огнев С. И. Млекопитающие Таврической губернии / С. И. Огнев – Режим доступа: <http://www.biblioclub.ru> (Дата обращения 19.03.2024).
- Мартин В. и Е. Новые данные о млекопитающих горного Крыма / В. и Е. Мартин. – Режим доступа: <http://www.biblioclub.ru> (Дата обращения 24.04.2024).
- Пузанов И. И. Своеобразие фауны Крыма и ее происхождение / И. И. Пузанов // Ученые. записки Горьковского университета 1949. – Режим доступа: <http://prometeus.nsc.ru>. (Дата обращения 22.09.2024).
- Пузанов И. И. Пребывания Палласа в Крыму / И. И. Пузанов. – 1972 – Режим доступа: <http://www.biblioclub.ru> (Дата обращения 22.09.2024).
- Аверин Ю. В. Животный мир: путеводитель по Крыму / Ю. В. Аверин, С. Л. Делямуре. – Симферополь: Крымиздат, 1956. – 114 с.
- Вшивков Ф. Н. Звери Крыма / Ф. Н. Вшивков. – Симферополь: Крым, 1964. – 86 с.
- Кормилицина В. В. О колебании численности мышевидных рода *Apodemus* в заповедных буковых лесах / В. В. Кормилицина // Заповедные леса горного Крыма. – Симферополь, 1969. – С. 117–147.
- Товпинец Н. Н. Особенности природной очаговости некоторых зоонозных инфекций в Крыму в условиях антропогенных ландшафтов / Н. Н. Товпинец, Н. С. Овдиенко, Т. И. Быкова // Матер. Всесоюз. конф. «Эпизоотология, эпидемиология, средства диагностики, терапии и специфической профилактики инфекционных болезней, общих для человека и животных». – Львов, 1988. – С. 47–48.

12. Маркешин С. Я. Изучение очагов клещевого энцефалита, геморрагической лихорадки с почечным синдромом и Крымской-Конго геморрагической лихорадки в Крыму / С. Я. Маркешин. – М., 1994. – 160 с.
13. Костин Ю. В. Эколого-географическая характеристика зонально-биотопических выделов и состав их фауны / Ю. В. Костин, А. И. Дулицкий, С. Ю. Костин // Вопросы развития Крыма: Науч.-практ. дискуссионно-аналитический сб. «Биологическое и ландшафтное разнообразие Крыма: проблемы и перспективы». – Вып. 11. – Симферополь: Сонат, 1999. – С. 35–54.
14. Кучерук В. В. Синантропия грызунов и ограничение их численности / В. В. Кучерук, Е. В. Карасёва – М., 1992. – С. 4–36.
15. Кучерук В. В. Избранные труды по природной очаговости болезней / В. В. Кучерук // ГУ Науч.-исслед. ин-т эпидемиологии и микробиологии им. почет. акад. Н. Ф. Гамалеи РАМН, Ин-т проблем экологии и эволюции им. А. Н. Северцова РАН, Проблем. комиссия РАМН "Природноочаговые инфекции человека». – М.: РУСАКИ, 2006. – 306 с.
16. Тарасов М. А. Эколого-эпизоотологический мониторинг в очагах опасных зоонозных инфекционных болезней / М. А. Тарасов. – Саратов: СГУ, 2016. – 356 с.
17. Алексеев А. Ф. Распространение и численность грызунов Крыма / А. Ф. Алексеев, Н. Н. Чирный, В. И. Товпинец // Всесоюзное совещание по проблеме кадастра и учета животного мира: тезисы докладов. – Уфа, 1989. – С. 175–179.
18. Дулицкий А. И. Млекопитающие Крыма. / А. И. Дулицкий – Симферополь: Крымское уч.-пед. гос. из-во, 2001. – 224 с.
19. Бондаренко А. Л. Природно-очаговые инфекции / А. Л. Бондаренко, Е. О. Утенкова. – Киров: ГОУ ВПО Киров ГМА Росздрава, 2009. – 268 с.
20. Леман А. М. Особенности проявления природно-очаговых зоонозных инфекций / А. М. Леман. // Наше сельское хозяйство. – 2020. – № 18 (242). – С. 64–69.
21. Алымкулова А. А. Зараженность зоонозными инфекциями грызунов Кыргызстана / А. А. Алымкулова, Т. В. Мека-Меченко, Л. А. Бурделов, Л. Е. Некрасова, В. Г. Меха-Меченко, Л. Г. Беляк // Научная жизнь. – 2019. – Т. 14, № 3(91). – С. 391–398.
22. Schmaljohn C. Hantaviruses: a global disease problem / C. Schmaljohn, B. Hjelle // Emerg. Infect Dis. – 1997. – No 3. – P. 95–104. DOI:10.3201/eid0302.970202.
23. Adler H. Prevalence of *Leptospira* spp. in various species of small mammals caught in an inner-city area / H. Adler, S. Vonstein, P. Deplazes, C. Stieger, R. Frei // Switzerland. Epidemiol. Infect. – 2002. – Vol. 128 (1). – P.107–109. DOI:10.1017/s0950268801006380.
24. Ellis J. Tularemia / J. Ellis, P. C. Oyston, M. Green, R. W. Titball. // Clin. Microbiol. Rev. – 2002. – Vol. 15. – P. 631–646. DOI.org/10.1128/CMR.15.4.631-646.2002.
25. Foley J. Vector biodiversity did not associate with tick-borne pathogen prevalence in small mammal communities in northern and central California / J. Foley, J. Piovio-Scott // Ticks Tick Borne Dis. – 2014. – No 5. – P. 299–304. DOI.org/10.1016/j.ttbdis.2013.12.003.
26. Combs M. A. Socio-ecological drivers of multiple zoonotic hazards in highly urbanized cities / M. A. Comb // Global Change Biology. – 2022. – Vol. 28, No 5. – P. 1705–1724.
27. Научно-прикладной справочник «Климат России». – Режим доступа: <http://aisori.meteo.ru/ClsprR>. (Дата обращения 23. 09. 2024).
28. Методические рекомендации «Отлов, учет и прогноз численности мелких млекопитающих и птиц в природных очагах инфекционных болезней. МР 3.1. 0211-20 " М. – 2020. – 45 с. – Режим доступа: <https://medilis.ru/file>. (Дата обращения 23.09.2024).
29. Санитарно-эпидемиологические правила «Санитарно-эпидемиологические требования по профилактике инфекционных болезней СанПин 3.3686-21». М., 2021. – 109 с.
30. Методические указания «Сбор, учет и подготовка к лабораторному исследованию кровососущих членистоногих в природных очагах опасных инфекционных болезней». МУ 3.1.3012-12. – Утверждены Роспотребнадзором 04.04.2012. – М., 2012. – 58 с.
31. Санитарно-эпидемиологические правила «Безопасность работы с микроорганизмами I-II групп патогенности (опасности)». СП 1.3.3118-13 М.: Федеральный центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора. М., 2014. – 195 с.
32. Лисовский А. А. Млекопитающие России: список видов и прикладные аспекты / А. А. Лисовский, Б. И. Штефель, А. П. Савельев, О. А. Ермаков, Ю. А. Козлов, Д. Г. Смирнов, В. В. Стахеев,

- Д. М. Глазов // Сборник трудов Зоологического музея МГУ. – М.: Товарищество научных изданий КМК, 2019. – Т. 56. – 191 с.
33. Карасева Е. В. Методы изучения грызунов в полевых условиях / Е. В. Карасева, А. Ю. Телицына, О. А. Жигальский. – М.: ЛКИ, 2008. – 416 с.
34. Попов И. Ю. Распределение мелких млекопитающих на стационарных площадках в зависимости от динамики растительного покрова / И. Ю. Попов // Экологическая ординация и сообщества. – М.: Наука, 1990. – С. 15–32.
35. Олейниченко В. Ю. Реакции мелких млекопитающих на запах предшественника при контакте с ловушками / В. Ю. Олейниченко // Зоологический журнал. – 2015. – Т. 94, № 8. – С. 923–937.
36. Шмойлова Р. А. Общая теория статистики / Р. А. Шмойлова. – М.: Финансы и статистика, 2002. – 480 с.
37. Карпик А. П. Методологические и технологические основы геоинформационного обеспечения территорий / А. П. Карпик. – Новосибирск: СГГА, 2004. – 260 с.
38. Владычак В. В. Эколого-топологический мониторинг мелких млекопитающих Крыма с учётом их природно-очаговой зоонозности / В. В. Владычак, В. Г. Кобечинская, И. С. Коваленко, Д. Э. Абибулаев, С. Н. Якунин, С. Н. Тихонов // Экосистемы. – 2022. – № 29. – С. 70–79.
39. Владычак В. В. Биологическое разнообразие мелких млекопитающих Крымского полуострова / В. В. Владычак, В. Г. Кобечинская. // Сб. науч. трудов II конф. профессорско-преподавательского состава, аспирантов, студентов и молодых ученых им. А. Г. Гурвича. Симферополь: КФУ. – 25–26 апреля 2024. – С. 15.

MALL MAMMALS OF THE CRIMEA: ECOLOGICAL AND EPIZOOTOLOGICAL ASPECTS IN THE DYNAMICS OF DIFFERENT YEARS

Vladychak V. V.¹, Kobechinskaya V. G.², Yakunin S. N.¹

¹FGKUZ "Anti-plague Station of the Republic of Crimea" of Rosпотребнадзор, Simferopol, Republic of Crimea, Russia

²Institute of Biochemical Technologies, Ecology and Pharmacy (SP) Vernadsky Crimean Federal University, Simferopol, Republic of Crimea, Russia
E-mail: vladychak.victor@mail.ru

The results of almost 240 years of research on the fauna of the Crimea are of great scientific and historical interest in studying the modern and historical theriofauna of the peninsula, especially when comparing these data with modern works in this field. Most small rodents contribute to the circulation of pathogens of many zoonotic infections, being the main feeders of a variety of blood-sucking arthropods. That is why the number of publications both in the Russian Federation and abroad in this field is so significant.

Our research was devoted to the study of the multiyear dynamics of the distribution of these species over the period 2015–2023 in the Crimea. A total of 4142 rodent specimens were captured and 3568 laboratory studies were conducted, which allowed us to obtain representative data on both the faunal prevalence of species and their epidemiological role as carriers and vectors of diseases. The dominant species among this group in the mountainous landscape-geographical zone are: steppe mouse (*S.witherbyi*) – ID 53.9 %, common (altai) vole (*M. arvalis (obscurus)*) – ID 21.6 %, yellow-throated mouse (*S. flavicollis (tauricus)*) – ID 12.5 %, public vole (*M. socialis*) – ID 8.8 %, house mouse (*M. musculus*) – ID 2.1 %, small forest mouse (*S. uralensis*) – ID 0.3 %, barrow mouse

(*M. spicilegus*) – ID 0.2 %, gray hamster (*Cricetulus migratorius*) – ID 0.2 %, other species were isolated.

The most common species of theriofauna in the foothill zone are the following animals: steppe mouse (*S. witherbyi*) – ID 37.5 %, public vole (*M. socialis*) – ID 27.1 % and common (altai) vole (*M. arvalis (obscurus)*) – ID 10.3 %, house mouse (*M. musculus*) – ID 10.1 %, small white tooth (*C. suaveolens*) – ID 3.85 %, small forest mouse (*S. uralensis*) – ID 3.1 %, barrow mouse (*M. spicilegus*) – ID 2.9 %, yellow-throated mouse (*S. flavicollis (tauricus)*) – ID 2.9 %, gray rat (*R. norvegicus*) – ID 2.63 %, gray hamster (*Cricetulus migratorius*) – ID 0.23 %, other species are isolated.

The most common species of the steppe zone of Crimea: steppe mouse (*S. witherbyi*) – ID 30.7 %, house mouse (*M. musculus*) – ID 24.4 %, public vole (*M. socialis*) – ID 21.9 %, small white tooth (*C. suaveolens*) – ID 14.5 %, gray rat (*R. norvegicus*) – ID 12.8 %, kurgan mouse (*M. spicilegus*) – ID 3.6 %, gray hamster (*Cricetulus migratorius*) – ID 1.3 %, common (altai) vole (*M. arvalis (obscurus)*) – ID 1.1 %, white-bellied whitethroat (*C. leucodon*) – ID 0.72 %, common hamster (*Cricetus cricetus*) – ID 0.3 %, yellow-throated mouse (*S. flavicollis (tauricus)*) – ID 0.1 %, southern mouse (*S. lorigera*) – ID 0.1 %.

According to our research, carriers of zoonotic leptospirosis infections are: common (altai) vole (*M. arvalis (obscurus)*), yellow-throated mouse (*S. flavicollis (tauricus)*), steppe mouse (*S. witherbyi*), the social vole (*M. socialis*). Only in the foothill and steppe zones, the following were identified as carriers of this disease: kurgan mouse (*M. spicilegus*), small white tooth (*C. suaveolens*), house mouse (*M. musculus*), gray rat (*R. norvegicus*), common hamster (*Cricetus cricetus*). Species that support the circulation of tularemia pathogens: lesser whitethroat (*C. suaveolens*), social vole (*M. socialis*), steppe mouse (*S. witherbyi*), house mouse (*M. musculus*), barrow mouse (*M. spicilegus*), gray rat (*R. norvegicus*). The main reservoirs of the causative agent of hemorrhagic fever with renal syndrome, called hantavirus infection, are: common (altai) vole (*Microtus arvalis (obscurus)*), public vole (*M. socialis*), brownie (*M. musculus*) and steppe (*S. witherbyi*) mice. Leading the transfer whitethroat (*C. suaveolens*), social vole (*M. socialis*), steppe mouse (*S. witherbyi*), house mouse (*M. musculus*), barrow mouse (*M. spicilegus*), gray rat (*R. norvegicus*). The main reservoirs of the causative agent of hemorrhagic fever with renal syndrome, called hantavirus infection, are: common (altai) vole (*Microtus arvalis (obscurus)*), public vole (*M. socialis*), brownie (*M. musculus*) and steppe (*S. witherbyi*) mice. The leading carriers of ixodic tick-borne borreliosis (ICB) are: yellow-throated mouse (*S. flavicollis (tauricus)*), house mouse (*M. musculus*), gray rat (*R. norvegicus*), common hamster (*Crickets cricetus*), etc.

The noted changes in the landscapes of the peninsula, both natural and anthropogenic (climate warming, the growth of cities and towns, agricultural and recreational development of territories, etc.) contribute to their significant transformation, which leads to a change in the natural habitats of small mammals and the territorial occurrence of various zoonotic infections, respectively. Conducting annual studies on the number of theriofauna populations in the physico-geographical regions of the Crimea, taking into account their zoonosis, makes it possible to counteract the deterioration of the

epidemiological situation on the peninsula with an annual increase in the tourist flow of vacationers.

Keywords: small mammals, landscape zones, zoonotic infections, distribution dynamics, Crimea.

References

1. Gablitz K. I. *Physical description of the Tauride region by its location and all three kingdoms of nature* (1781). Access mode: <http://prometeus.nsc.ru/> (Access date: 22/09/2024).
2. Nikolsky A. M. *Vertebrate animals of the Crimea* (1891). Access mode: [http://prometeus.nsc.ru.](http://prometeus.nsc.ru/) (Access date: 19/09/2024).
3. Köppen F. P. *Scientific works of P. S. Pallas*. Access mode: <http://search.rsl.ru/record/01003670558sysclidlvqffiiic37162437>. (Access date: 23/09/2024).
4. Ognev S. I. *Mammals of the Tauride province*. Access mode: <http://www.biblioclub.ru> (Access date: 23/09/2024).
5. Martino V. and E. *New data on mammals of the mountainous Crimea*, Access mode: [http://www.biblioclub.ru.](http://www.biblioclub.ru) (Access date: 23/09/2024).
6. Puzanov I. I. The originality of the fauna of the Crimea and its origin, *Scientists Notes of Gorky University* (1949). Access mode: [http://prometeus.nsc.ru.](http://prometeus.nsc.ru/) (Access date: 23/09/2024).
7. Puzanov I. I. The stay of P. S. Pallas in the Crimea (1972), Access mode: [http://www.biblioclub.ru.](http://www.biblioclub.ru) (Access date: 23/09/2024).
8. Averin Yu. V., Delamure S. L. *Animal world: a guide to the Crimea*, 114 p. (Simferopol: Krymizdat, 1956).
9. Vshivkov F. N. *The Beasts of the Crimea*. 86 p. (Simferopol: Crimea, 1964).
10. Kormilitsyna V. V. *On the fluctuation in the number of mouse-like species of the genus Apodemus in protected beech forest*, 117 «Protected forests of the mountainous Crimea» (Simferopol, 1969).
11. Tovpinets N. N., Ovdienko N. S., Bykova T. I. Features of the natural foci of some zoonotic infections in the Crimea in conditions of anthropogenic landscapes. *Mater. the All-Union. conf. "Epizootology, epidemiology, diagnostic tools, therapy and specific prevention of infectious diseases common to humans and animals,"* 47 (Lviv, 1988).
12. Markeshin S. Ya. *The study of foci of tick-borne encephalitis, hemorrhagic fever with renal syndrome and Crimean–Congo hemorrhagic fever in Crimea*, 160 p. (M., 1994).
13. Kostin Yu. V., Dulitsky A. I., Kostin S. Yu. Ecological and geographical characteristics of zonal biotopic secretions and the composition of their fauna, *Issues of development of the Crimea: Scientific and practical. discussion and analytical collection "Biological and landscape diversity of Crimea: problems and prospects»*, 11, 35 (Simferopol, 1999).
14. Kucheruk V. V., Karaseva E. V. *Synanthropy of rodents and limitation of their numbe*, 4 (M., 1992).
15. Kucheruk V. V. Selected works on natural foci of diseases. *GU Nauch.- research. Institute of Epidemiology and Microbiology named after honor. Academician N. F. Gamalei of the Russian Academy of Sciences, Institute of Problems of Ecology and Evolution named after A. N. Severtsov of the Russian Academy of Sciences, Problems. The Commission of the Russian Academy of Medical Sciences "Natural focal human infections"*, 306 p. (M., 2006).
16. Tarasov M. A. *Ecological and epizootological monitoring in the foci of dangerous zoonotic infectious diseases*, 356 p. (Saratov, 2016).
17. Alekseev A. F., Cherniy N. N., Tovpinets V. I. Distribution and abundance of rodents of the Crimea. *All-Union meeting on the problem of cadastre and accounting of the animal world: abstracts of the reports*, 175 (Ufa, 1989).
18. Dulitsky A. I. *Mammals of the Crimea*, 224 p. (Simferopol, 2001).
19. Bondarenko E. O., Utenkova A. L. *Natural focal infections*, 268 p. (Kirov, 2009).
20. Lehman A. M. Features of the manifestation of natural focal zoonotic infections. *Our agriculture*. **18** (242), 64 (2020).

21. Alymkulova A. A., Meka-Mechenko T. V., Burdelov L. A., Nekrasova L. E., Mecha-Mechenko V. G., Belyak L. G. Infection with zoonotic infections of rodents of Kyrgyzstan. *Scientific life*. **14**, **3** (91), 391 (2019).
22. Schmaljohn C., Hjelle B. Hantaviruses: a global disease problem. *Emerg. Infect Dis.* **3**, 95 (1997). DOI:10.3201/eid0302.970202.
23. Adler H., Vonstein S., Deplazes P., Stieger C., Frei R. Prevalence of *Leptospira* spp. in various species of small mammals caught in an inner-city area, Switzerland. *Epidemiol. Infect.* **128** (1), 107 (2002). DOI:10.1017/s0950268801006380.
24. Ellis J., Ellis P., Oyston C., Green M., Titball R. W. Tularemia, *Clin. Microbiol. Rev.*, **15**, 631 (2002). DOI.org/10.1128 /CMR.15.4.631- 646.2002.
25. Foley J., Piovia-Scott J. Vector biodiversity did not associate with tick-borne pathogen prevalence in small mammal communities in northern and central California, *Ticks Tick Borne Dis.*, **5**, 299 (2014). DOI.org/10.1016/j.ttbdis.2013.12.003.
26. Combs M. A. Socio-ecological drivers of multiple zoonotic hazards in highly urbanized cities, *Global Change Biology*, **28**, **5**, 1705 (2022).
27. *Scientific and applied reference book "Climate of Russia"*. Access mode: <http://aisori.meteo.ru/ClspR>. (Access date: 23/09/2024).
28. *Methodological recommendations "Trapping, accounting and forecasting the number of small mammals and birds in natural foci of infectious diseases"*. MP 3.1. 0211-20," 45 p. (M., 2020). Access mode: <https://medilis.ru/file>. (Access date: 23/09/2024).
29. *Sanitary and epidemiological rules "Sanitary and epidemiological requirements for the prevention of infectious diseases SANPIN 3.3686-21"*, 109 p. (M. 2021).
30. *Methodological guidelines "Collection, accounting and preparation for laboratory examination of blood-sucking arthropods in natural foci of dangerous infectious diseases."* MU 3.1.3012-12. Approved by Rospotrebnadzor 04.04.2012, 58 p. (M., 2012).
31. *Sanitary and epidemiological rules "Safety of work with microorganisms of groups I-II of pathogenicity (danger)"*. SP 1.3118-13 M.: *Federal Center for Hygiene and Epidemiology of Rospotrebnadzor*, 195 p. (M., 2014).
32. Lisovsky A. A., Shtefel B. I., Savelyev A. P., Ermakov Yu. A., Kozlov O. A., Smirnov D. G., Stakheev V. V., Glazov D. M. Mammals of Russia: list of species and applied aspects. *Proceedings of the Zoological Museum of Moscow State University*, **56**, 19. (M., 2019).
33. Karaseva E. V., Telitsyna A. Yu., Zhigalsky O. A. *Methods of studying rodents in the field*. 416 p. (M., 2008).
34. Popov I. Y. Distribution of small mammals on stationary sites depending on the dynamics of vegetation cover, *Ecological ordination and communities*, 15 (M., 1990).
35. Oleinichenko V. Yu. Reactions of small mammals to the smell of a precursor in contact with traps, *Zoological Journal*, **94**, 8, 923 (2015).
36. Shmoylova R. A. *General theory of statistic*, 480 p. (M., 2002).
37. Karpik A. P. *Methodological and technological foundations of geoinformation support of territories*, 260 p. (Novosibirsk, 2004).
38. Vladychak V. V., Kobechinskaya V. G., Kovalenko I. S., Abibulaev D. E., Yakunin S. N., Tikhonov S. N. Ecological and topological monitoring of small mammals of the Crimea, taking into account their natural focal zoonosis, *Ecosystems*, **29**, 70 (2022).
39. Vladychak V. V., Kobechinskaya V. G. Biological diversity of small mammals of the Crimean Peninsula. *Collection of scientific works of the II conf. of the faculty, graduate students, students and young scientists named after A.G. Gurvich*, 15 (Simferopol, 2024).

УДК 612.8+796.526

DOI 10.29039/2413-1725-2024-10-4-58-64

ОСОБЕННОСТИ СЕНСОМОТОРНОЙ РЕАКЦИЙ У СТУДЕНТОВ ЗАНИМАЮЩИХСЯ СКАЛОЛАЗАНИЕМ

Громыко М. В.

*Южно-Уральский государственный университет (Национальный исследовательский университет), Челябинск, Россия
E-mail: mikhailgromyko@mail.ru*

Цель исследования – определение качества простых и сложных сенсомоторных реакций у студентов скалолазов. В эксперименте приняли участие 40 студентов (контрольная группа 19 женщин, 21 мужчина) и 20 скалолазов (экспериментальная группа 10 мужчин, 10 женщин) в возрасте 18–22 лет. Исследование состояния организма проводили с помощью сертифицированного оборудования, обследование проводилось с помощью аппаратно-программного комплекса «Спортивный психофизиолог». Статистическую обработку данных производили с помощью программного комплекса Microsoft Excel 2016, SPSS statistics, для оценки полученных данных использовался критерий Манна-Уитни для независимых выборок. При оценке полученных данных были выявлены статистически значимые различия в простой реакции на свет рукой и ногой у мужчин и женщин ($p < 0,05$; $p < 0,01$), а так же реакции выбора у мужчин ($p < 0,05$). Установлено, что студенты занимающиеся скалолазанием имеют высокий уровень простых реакций, женщины в обеих группах продемонстрировали более высокую скорость реакции на свет ногой.

Ключевые слова: скалолазание, сенсомоторные реакции, психофизиология, студенты, нейродинамика, половые различия.

ВВЕДЕНИЕ

Изучение сенсомоторных реакций студентов позволяет понять, каким образом тренировки по скалолазанию влияют на функциональные особенности центральной нервной системы студентов, выявить функциональные и адаптивные особенности скорости сенсорного определения и реагирования, присущие студентам занимающимся скалолазанием. Современное скалолазание действительно требует высоких сенсомоторных реакций и характеризуется не только физической нагрузкой на мышцы, но и серьезными требованиями к нервной системе [1–4]. В силу нестандартных ситуаций, возникающих при восхождении на скалы или в горах, скалолазы должны быстро и правильно принимать решения, поддерживая максимальное напряжение основных мышечных групп [5–7].

Данное направление исследований обосновано необходимостью более глубокого понимания механизмов восприятия среды, координации движений и реакций на раздражитель, раскрытие особенностей скорости моторных функций и активации двигательных единиц у скалолазов позволит проанализировать механизм и структуру реакций центральной нервной системы, раскрыть ее влияние на формирование целенаправленных движений воздействием специфичных нагрузок.

Цель исследования определить качество сенсомоторной реакции у студентов занимающихся скалолазанием. Задачи исследования выявить у контрольной и экспериментальной групп скорость простой и сложной реакции рукой, установить скорость простой реакции ногой, проанализировать и дать оценку полученным результатам.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В исследовании приняли участие 60 студентов в возрасте 18–22 лет, из них 21 мужчин и 19 девушек в контрольной группе и 10 мужчин и 10 девушек скалолазов в экспериментальной. Оценивались студенты Южно-Уральского государственного университета, в контрольную группу вошли студенты посещающие общие занятия по физической культуре в течение 2–3 лет, в экспериментальную студенты посещающие секцию скалолазания в течение 2–3 лет не имеющие спортивной квалификации, с уровнем лазания позволяющим преодолевать трассы категории 5a-7b. Оценка простой реакции на свет рукой и сложной сенсомоторной реакции выбора проводилась с помощью аппаратного комплекса «спортивный психофизиолог», технология представляет собой стандартный метод измерения реакции испытуемого на визуальный стимул. Комплекс позволяет произвести исследование психофизиологических особенностей, психомоторных способностей спортсменов как верхних, так и нижних конечностей [8, 9]. Используемая аппаратная часть представляет собой пульт с датчиками и светодиодами, устройство для выполнения тестов и педаль, компьютер с загруженной программной частью и тестами.

Время реакции измеряется с помощью таймера пульта путем вычисления разницы между временем начала подачи светового стимула и временем реакции на него. Простая сенсомоторная реакция изучалась при помощи определения времени ответа испытуемого на подачу визуального сигнала при помощи нажатия на кнопку рукой/ педаль ногой.

Тест сложной сенсомоторной реакции характеризовался сменой различных визуальных стимулов на пульте (различное мигание ламп), с определением корректного визуального сигнала испытуемым, измерялась при помощи определения времени моторного ответа на кнопку рукой и клавишу ногой.

Все исследуемые подписали форму добровольного информационного согласия на участие в данном эксперименте.

Результаты исследования обрабатывали с помощью статистики на программных комплексах Microsoft Excel 2016, комплекса SPSS statistics.

Выборочные значения количественных признаков приведены в тексте в виде среднего (M) и стандартной ошибки среднего (m), за критический уровень значимости различий принято значение $p < 0,05$. Оценка результатов производилась с помощью критерия Манна-Уитни для независимых выборок.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Оценка показателей простой сенсомоторной реакции на свет рукой и ногой представлена в таблице 1. Согласно полученным данным у скалолазов выявлены

статистически достоверные различия ($p < 0,01$), что свидетельствует о высоком процессе адаптации двигательной системы. Данный феномен объясняется тем, что успешное скалолазание предъявляет требования не к большой мышечной массе или абсолютной силе, но к особенностям нервно-мышечной активации, в том числе быстрой активации мышечных волокон, координационными способностями.

Латентный периода сложной сенсомоторной реакции, длителен ввиду большого объема действия: получение сигналов в рецепторах, передача сигнала по нервной системе, преобразование и анализ полученных сигналов в нервных пулов ЦНС и наконец передача сигнала по эфферентным нейронам иннервируя мышечные волокна о необходимой реализации моторных действий [10].

Согласно данным представленным в таблице 1, 2 мужчины и женщины скалолазы показывают высокую скорость ответа в простой реакции на свет, стоит отметить что согласно проведенному исследованию мужчины скалолазы так же имеют более высокую скорость ответа в сложной реакции выбора по сравнению с контрольной группой.

При анализе показателей сложной реакции выбора на свет у мужчин были выявлены достоверные различия ($p < 0,05$), что свидетельствует о быстрых нервных процессах и о возможном уменьшении времени «центральной задержки» (времени обработки стимула и последующим принятии решения).

Таблица 1
Величины простой и сложной сенсомоторной реакции мужчин и женщин, М±т

Этапы	Простая реакция на свет рукой		Сложная реакция выбора		Простая реакция на свет ногой	
	Мужчины **	Женщины *	Мужчины *	Женщины	Мужчины **	Женщины*
Контрольная группа (м=21, ж=19)	0.263± 0.025	0.229± 0.008	0.284± 0.021	0.254± 0.009	0.343± 0.033	0.296± 0.028
Скалолазы (м=10, ж=10)	0.198± 0,001	0.201± 0.007	0.242± 0.012	0.249± 0.008	0.252± 0.005	0.246± 0.006

Примечание: достоверные различия: * $p < 0,05$; ** $p < 0,01$; ns недостоверные различия.

Из данных приведенных в таблице 1 можно сделать вывод, что степень достоверности результатов простых сенсомоторных реакций у женщин меньше чем у мужчин $p < 0,05$. Однако полученные данные не позволяют принять нулевую гипотезу, а значит занятия скалолазанием так же свидетельствуют о повышении лабильности нервных окончаний и, как следствие, высоком процессе адаптации двигательной системы.

Согласно данным, приведенным в таблице 1, достоверно выявленных различий в сложной реакции выбора у женщин выявлено не было.

Данные могут свидетельствовать о том, что женщины могут обладать более эффективной работой префронтальной коры, что отражается в их способности более точно анализировать сенсорные сигналы и быстро реагировать на них [11].

В данном исследовании показано, что у студентов занимающихся скалолазанием сенсомоторная реакция может значительно отличаться от нормы (например простая реакция на свет рукой у мужчин 0.198 ± 0.001 при норме $0.26 - 0.33$), что согласуется с предыдущими исследованиями [1, 4], и послужить способом повышения результативности в том виде деятельности, где требуется высокая концентрация внимания, точности движений и стратегического планирования, такие нейрональные особенности могут играть важную роль в успешном выполнении сложных задач [11].

Стоит отметить что женщины в обеих группах продемонстрировали более высокую скорость реакции на свет ногой (0.296 ± 0.028 контрольная группа, 0.246 ± 0.006 экспериментальная группа), однако мужчины скалолазы были более успешны в реакции на свет рукой, что может свидетельствовать о функциональной асимметрии и нуждается в дополнительном изучении.

Данные результаты могут указывать на существование различий в лабильности нервных окончаний и моторных аспектах у мужчин и женщин [10, 11], что потребует дальнейшего изучения и анализа для более глубокого понимания механизмов функционирования этих процессов.

Установлено, что студенты занимающиеся скалолазанием имеют высокий уровень простых реакций. Наши данные согласуются с результатами исследований авторов [1, 2, 6], где показаны высокие показатели подвижности и силы нервных процессов у скалолазов.

Исходя из полученных данных можно сделать вывод, что занятия по скалолазанию оказывают значительное влияние на развитие сенсомоторной реакции, которая является ключевым аспектом координации движений и быстроты реакции, особенно в контексте решения простых задач, требующих выполнения физических движений. Высокая скорость реакции на раздражитель свидетельствует, о значительной лабильности нервной системы скалолазов обусловленной тем, что данный вид деятельности требует постоянного анализа визуальной информации и планирования движений, скалолаз должен уметь быстро оценить расстояние до следующего зацепа, его форму и положение, а также выбрать оптимальный путь. Это постоянное взаимодействие между зрением и движением рук и ног развивает сенсомоторную реакцию, делая её более точной и быстрой.

Во время скалолазания могут возникать неожиданные ситуации, такие как потеря точки опоры или необходимость внезапно изменить вектор движения. Регулярные тренировки в подобных условиях улучшают способность быстро реагировать на внешние раздражители, будь то изменения в окружающей среде или внезапные звуки и сигналы [5].

Скалолазание требует высокой степени контроля мелкой моторики пальцев и кистей рук, частые сложные захваты и удержание небольших зацепов способствуют развитию силы и точности движений пальцев, что, в свою очередь, оказывает влияние на общую скорость ответа двигательных единиц.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Студенты занимающиеся скалолазанием обоих полов имеют более высокую скорость ответа рукой и ногой в пробе на простую реакцию на свет по сравнению со студентами посещающих занятия по физической культуре в вузе.
2. Мужчины скалолазы продемонстрировали статистически значимую скорость ответа в сложной реакции выбора.
3. Занятия скалолазанием могут способствовать развитию сенсомоторной реакции у студентов мужчин и женщин в возрасте 18–22 лет.

Список литературы

1. Козина Ж. Л. Психофизиологические возможности альпинистов и скалолазов, специализирующихся в скоростном лазании и лазании на сложность / Ж.Л. Козина, Е. А. Репко, К. Я. Прусик, М. З. Чеслицка // *Pedagogics, psychology, medical-biological problems of physical training and sports.* – 2013. – № 10. – С. 41–46.
2. Sugi T. The effect of visual and tactile information in motor preparation of climbing / T. Sugi, M. Ishihara // *European Journal of Sport Science.* – 2023. – Vol. 23, № 2. – P. 251–258.
3. Marcen-Cinca N. N. Visual perception in expert athletes: The case of rock climbers / N. N. Marcen-Cinca, X. Sanchez, S. Otin, C. Cimarras-Otal, A. Bataller-Cervero // *Frontiers in Psychology* – 2022. – Vol. 13. – P. 90
4. Garrido-Palomino I. Attentional differences as a function of rock climbing performance / I. Garrido-Palomino, S. Fryer, D. Giles, J. J. González-Rosa, V. España-Romero // *Frontiers in Psychology.* – 2020. – Vol. 11. – P. 512987.
5. Simone M. Language, action, and sensoriality: a multimodal analysis of interactions in inclusive sport climbing with visually impaired athletes / Simone M. – 2021. – № 33. – P. 178
6. Гальчинская Л. А. Исследование координационных и психофизических способностей у студентов плавсостава, занимающихся скалолазанием / Л. А. Гальчинская // V Международный научный конгресс "Проблемы физкультурного образования: концептуальные основы и научные инновации". – 2018. – С. 14–18.
7. Голубева Г. Н. Особенности психофизической подготовки в спортивном туризме / Г. Н. Голубева, В. Ю. Сморгчов, А. И Голубев // *Теория и практика физической культуры.* – 2018. – № 10. – С. 67–69.
8. Корягина Ю. В. Аппаратно-программные комплексы исследования психофизиологических особенностей спортсменов / Ю. В. Корягина, С. В. Нопин // *Вопросы функциональной подготовки в спорте высших достижений.* – 2013. – №. 1. – С. 70–78.
9. Нопин С. В. Нейродинамические характеристики сенсомоторных процессов спортсменов различных видов спорта / Нопин С. В. // *Современные вопросы биомедицины.* – 2022. – Т. 6, № 1 (18). – С. 162–170.
10. Шутова С. В. Сенсомоторные реакции как характеристика функционального состояния ЦНС / С. В. Шутова, И. В. Муравьева // *Вестник российских университетов. Математика.* – 2013. – Т. 18, № 5 – С. 2831–2840.
11. Боголепова И. Н. Гендерные особенности строения префронтальной коры мозга мужчин и женщин / И. Н. Боголепова, Л. И. Малофеева, П. А. Агапов // *Морфологические ведомости.* – 2016. – Т. 24, №. 1. – С. 9–15.

FEATURES OF SENSORIMOTOR RESPONSE OF CLIMBERS

Gromyko M. V.

*South Ural State University (National Research University), Chelyabinsk, Russia
E-mail: mikhailgromyko@mail.ru*

The investigations of students' sensorimotor reactions allows us to understand how rock climbing training influences the functional characteristics of the central nervous system of students, to identify the functional and adaptive characteristics of the speed of sensory detection and response inherent in students involved in rock climbing. Modern rock climbing really requires high sensorimotor reactions and is characterized not only by physical stress on the muscles, but also by serious demands on the nervous system.

Aim Identification of simple and complex sensorimotor reactions in student climbers.

Materials and methods. The experiment involved 40 students (control group 19 women, 21 men) and 20 climbers (experimental group 10 men, 10 women) aged 18–22 years. The study of the body's condition was carried out using certified equipment. The examination was carried out using the "Sports Psychophysiolologist" hardware and software complex.

The complex allows to study the psychophysiological characteristics, psychomotor abilities of athletes of both upper and lower extremities [8, 9]. The hardware used is a remote control with sensors and LEDs, a device for performing tests and a pedal, a computer with loaded software and tests. The reaction time is measured using the remote control timer by calculating the difference between the start time of the light stimulus and the reaction time to it. A simple sensorimotor reaction was studied by determining the time of the subject's response to the visual signal by pressing the button with the hand/pedal with the foot. Statistical data processing was carried out using the Microsoft Excel 2016 software package, SPSS statistics, and the Mann-Whitney test for independent samples was used to evaluate the obtained data.

Results. When assessing the data obtained, statistically significant differences were identified in the simple reaction to light with the hand and foot in men and women ($p < 0.05$; $p < 0.01$), as well as the choice reaction in men ($p < 0.05$). It was found that students involved in rock climbing have a high level of simple reactions; women in both groups demonstrated a higher reaction rate to the light with their feet.

High reaction speed to a stimulus indicates significant lability of the nervous system of rock climbers due to the fact that this type of activity requires constant analysis of visual information and movement planning, the climber must be able to quickly estimate the distance to the next hold, its shape and position, and also choose the optimal path. This constant interaction between vision and the movement of arms and legs develops sensorimotor response, making it more accurate and faster.

Keywords: rock climbing, sensorimotor reactions, psychophysiology, students, neurodynamics, gender differences.

References

1. Kozina Z. L., Repko E. A., Prusik K. Y., Cieslicka M. Z. Psychophysiological capabilities of mountaineers and rock climbers specializing in speed climbing and difficulty climbing. *Pedagogics, psychology, medical-biological problems of physical training and sports*, (10), 41 (2013). (In Russian)
2. Sugi Takahiro, and Masami Ishihara. The effect of visual and tactile information in motor preparation of climbing. *European Journal of Sport Science*, 23, 2, 251 (2023).
3. Marcen-Cinca N. N., Sanchez X., Otin S., Cimarras-Otal C., Bataller Cervero A. Visual perception in expert athletes: The case of rock climbers. *Frontiers in Psychology*, 13, 90 (2022)
4. Garrido-Palomino I., Fryer S., Giles D., González-Rosa J. J., España-Romero V. Attentional differences as a function of rock climbing performance. *Frontiers in Psychology*, 11, 512987 (2020).
5. Simone M. *Language, action, and sensoriality: a multimodal analysis of interactions in inclusive sport climbing with visually impaired athletes*, 33, 178 (2021).
6. Gal'chinskaya L. A. Study of coordination and psychophysical abilities among sailing students engaged in rock climbing. *V International Scientific Congress "Problems of physical education: conceptual foundations and scientific innovations*, 14 (2018). (In Russian).
7. Golubeva G. N., Smorchkov V. YU., Golubev A. I. Features of psychophysical training in sports tourism. *Theory and practice of physical culture*, 10, 67 (2018). (In Russian).
8. Koryagina YU. V., Nopin S. V. Hardware and software complexes for studying the psychophysiological characteristics of athletes. *Questions of functional training in high achievement sports*, 1, (1), 70 (2013). (In Russian).
9. Nopin S. V. Neurodynamic characteristics of sensorimotor processes in athletes of various sports. *Modern issues of biomedicine*, 6, 1 (18) 162 (2022). (In Russian).
10. Hutova S. V., Murav'eva I. V. Sensorimotor reactions as a characteristic of the functional state of the central nervous system. *Bulletin of Russian Universities. Mathematics*, 18, (5-3), 2831 (2013). (In Russian).
11. Bogolepova I. N., Malofeeva L. I., Agapov P. A. Gender features of the structure of the prefrontal cortex of the brain of men and women. *Morphological Gazette*. 24, 1, 9 (2016). (In Russian).

УДК 612.335.2:663.18

DOI 10.29039/2413-1725-2024-10-4-65-77

МОРФОМЕТРИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ КИШЕЧНИКА У КРЫС ПРИ ВВЕДЕНИИ ПРОБИОТИКА В МОДЕЛИ ДИСБИОЗА

*Джелдубаева Э. Р., Ярмолюк Н. С., Ржевская В. С., Туманянц К. Н.,
Назырова Л. Э., Борисенко Д. А.*

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

Данное исследование посвящено выявлению изменений морфометрических показателей тонкого кишечника крыс при введении новосинтезированного пробиотика с уникальными по составу компонентами в модели дисбиоза. Работа проводилась на 40 половозрелых крысах-самках линии *Wistar* массой 220-240 г., разделенных на 4 экспериментальные группы по 10 особей в каждой, которым вводили эквивалентный объем питьевой воды (контроль), изолированно или комбинированно по 3 мл пробиотика и по 5 мг/кг антибиотика широкого спектра действия доксициклина. Результаты исследования показали, что при введении пробиотика у животных зарегистрировано значимое увеличение количества железистых бокаловидных клеток относительно значений у крыс в контроле, что свидетельствует о положительном воздействии пробиотиков на барьерную функцию кишечника и улучшении его морфофункционального состояния. При введении пробиотиков в модели дисбиоза, вызванного введением антибиотика, отмечается уменьшение толщины слизистой оболочки, высоты ворсинок, а также увеличение количества бокаловидных клеток на 40,87 % ($p < 0.05$) по сравнению с контролем, что свидетельствует о способности пробиотиков на фоне дисбиоза снизить негативное воздействие антибиотиков на кишечник и ускорить восстановление его морфофункционального состояния.

Ключевые слова: пробиотик, дисбиоз, крысы, морфометрический показатель, кишечник.

ВВЕДЕНИЕ

Известно, что кишечник животных и человека колонизирован сложным микробным сообществом, известным как микробиота, которое состоит по меньшей мере из 1000 видов бактерий [1, 2]. Эта микробиота играет ключевую роль в физиологии кишечника и здоровье хозяина, выполняя большое количество функций, таких как переваривание необработанных пищевых веществ, синтез витаминов и короткоцепочечных жирных кислот, модуляция иммунной системы и ингибирование колонизации патогенов [3]. Бактерии могут быть вовлечены через механизмы дисбиоза, воспаления и повреждения кишечного барьера в патогенез и патофизиологию многочисленных кишечных заболеваний, включая синдром раздраженного кишечника [4], болезнь Крона и язвенный колит [5], антибиотик-ассоциированная диарея [6], синдром повышенной кишечной проницаемости [7], аллергические и аутоиммунные заболевания [8] и пр.

Разработка мультиштаммовых и персонализированных пробиотических консорциумов открывает широкие перспективы для профилактики и лечения разных заболеваний, а также для улучшения общего состояния здоровья [9, 10]. Показано, что отдельные пробиотики (ПБ) оказывают комплексное влияние на слизистую кишечника через механизмы, связанные с улучшением микробного баланса, модуляцией иммунных ответов и укреплением кишечного барьера [11]. Пробиотики могут снижать выработку провоспалительных цитокинов (например, TNF- α , IL-6) и стимулировать продукцию противовоспалительных молекул (например, IL-10) [12]. Они стимулируют клетки врожденного и адаптивного иммунитета, включая дендритные клетки, макрофаги и регуляторные T-клетки. Они стимулируют выработку антител (например, IgA), усиливая местный иммунитет слизистой [13]. В последнее время появляются сообщения об обнаружении у некоторых штаммов антиоксидантных свойств [14]. Таким образом, показано, что пробиотики оказывают многоуровневое положительное влияние на слизистую кишечника, способствуя её защите, восстановлению и поддержанию здоровья.

Становится все более актуальным использование пробиотиков в качестве профилактики или терапии последствий приема антибиотиков, включая дисбиоз и повреждение слизистой. Показано, что сбалансированность микробиоты может нарушаться «при превышении интенсивности негативных внешних воздействий над пороговыми значениями адаптационной системы организма» [15] и при сдвигах в метаболической активности самой микрофлоры желудка [16]. Одной из наиболее частых причин нарушений является воздействие на нее антибактериальными препаратами. С целью создания модели дисбиоза, антибиотико-индуцированного стресса у животных в экспериментах используют комбинированное применение пробиотика с антибиотиком широкого спектра, что позволяет оценить физиологические показатели при антибиотикотерапии.

Создание новых пробиотиков с улучшенными свойствами требует изучения их эффективности и безопасности. Модели на животных, таких как крысы, позволяют оценить влияние пробиотиков на микрофлору и слизистую кишечника до проведения клинических исследований. В доступной научной литературе недостаточно показано изменение морфометрических гистологических показателей кишечника при введении пробиотиков. При этом изучение слизистой кишечника позволит лучше понять механизмы воздействия пробиотиков на микробиоту кишечника, иммунную систему и барьерные функции слизистой.

В связи с вышеизложенным целью данной работы явилось изучение изменения морфометрических показателей кишечника у крыс при введении тестируемого пробиотика в модели дисбиоза.

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 выполнены на белых половозрелых крысах-самках линии Wistar, которые были специально выведены для лабораторных исследований. Общая выборка животных составила 40 здоровых крыс, массой 220-240 г, со средней двигательной активностью и низкой эмоциональностью определяемых в тесте «открытое поле», которых наблюдалось большинство в популяции, вследствие чего у животных развивается типичная среднестатистическая реакция на действие различных раздражающих факторов, включая тестируемые химические соединения. Из общего количества отобранных крыс было выделено четыре экспериментальные группы. Первой группе «Контроль» (К) в течение 14 дней путем зондирования вводили эквивалентный раствор физраствора. Второй группе «Пробиотик» (ПБ) интрагастрально вводили по 3 мл 1 % раствор пробиотика путём зондирования в течение 14 дней. Третьей группе «Антибиотик» (АБ) вводили антибиотик доксициклин в дозе по 5 мг/кг в течение 14 дней при моделировании дисбиоза. Четвертой группе животных (АБ+ПБ) – комбинированно вводили антибиотик и пробиотик в течение 14 дней.

Синтез тестируемого пробиотика проводился на кафедре ботаники и физиологии растений и биотехнологий ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет имени В.И. Вернадского» под руководством Ржевской В. С. Микробный консорциум 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 в Всероссийской коллекции микроорганизмов. Микробный консорциум получали путем совместного культивирования молочнокислых бактерий, энтерококка и дрожжей в жидкой питательной среде MRS следующего состава (г/л): пептон ферментативный – 10,0; экстракт пекарных дрожжей – 4,0; твин-80 – 1,0 мл; мясной экстракт – 8,0; глюкоза – 20,0; калий фосфорнокислый однозамещенный – 2,0; натрий уксуснокислый 3-водный – 5,0; аммоний лимоннокислый однозамещенный – 2,0; магний сернокислый 7-водный – 0,1; марганец хлористый 4-водный – 0,05; рН среды – 6,3; режим стерилизации: 0,75 атм, 20 мин. Культивирование микроорганизмов проводили в биореакторе Minifors 2 объемом 4 л (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.

Животных выводили из эксперимента путем декапитации. Подготовка гистологического материала осуществлена в ЦКП «Молекулярная биология» ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет имени В. И. Вернадского». Гистологические препараты средней части тонкого кишечника крыс готовили в соответствии со стандартными методиками. Срезы окрашивали гематоксилином и эозином [17].

Гистопрепараты просматривали под микроскопом DM2000 с объективами Plan5x, 10x и 40x и фотографировали камерой DFC295 (Leica). Морфометрические измерения выполняли на микрофотографиях в программе ImageJ с использованием шкалы TS-M1 PW106011 (1div=0.01mm) stage micrometer [18].

Выбор методов и приемов микроскопирования осуществлялся согласно рекомендациям, изложенным в учебном пособии Л. Д. Тимченко, В. Н. Вакулина [19]. Морфометрический анализ на светооптическом уровне включал оценку архитектоники средней части тонкого кишечника, толщину всей слизистой оболочки, высоту и толщину ворсин, высоту железистых клеток и количество эозинофилов.

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.

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.).

Статистическую обработку и анализ материала проводили с помощью непараметрических методов, применение которых позволила проверка полученных данных на закон нормального распределения. Вычисляли среднее значение исследуемых величин, ошибку средней. Проводилась оценка достоверного уровня различий между экспериментальными группами с использованием непараметрического U-критерия Манна-Уитни. Достоверными показателями считаются показатели меньше $p < 0,05$.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

При проведении морфологического исследования стенки кишечника интактных крыс контрольной группы установлено, что ее строение соответствовало нормальному, с учетом особенностей данного вида.

У животных второй группы (ПБ), подвергнутых введению пробиотиков в течение 14 дней, изменения слизистой кишечника значимо не отличались от таковых у крыс в контрольной группе (рис. 1, 2). Кишечные ворсинки правильной пальцевидной формы, с поверхности выстланы однослойным призматическим эпителием с хорошо выраженной исчерченной каемкой.

МОРФОМЕТРИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ КИШЕЧНИКА У КРЫС...

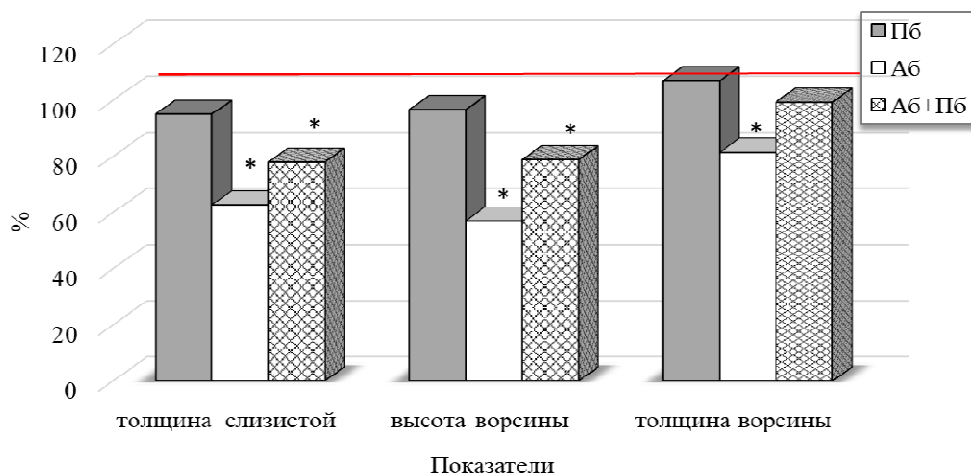


Рис. 1. Изменение показателей слизистой оболочки тонкого кишечника крыс при изолированном и комбинированном введении пробиотика (ПБ) и антибиотика (АБ) (по сравнению с показателями крыс контрольной группы, принятых за 100 %). *Примечание:* * – достоверность различий по сравнению со значениями контрольной группы животных по U-критерию Манна-Уитни.

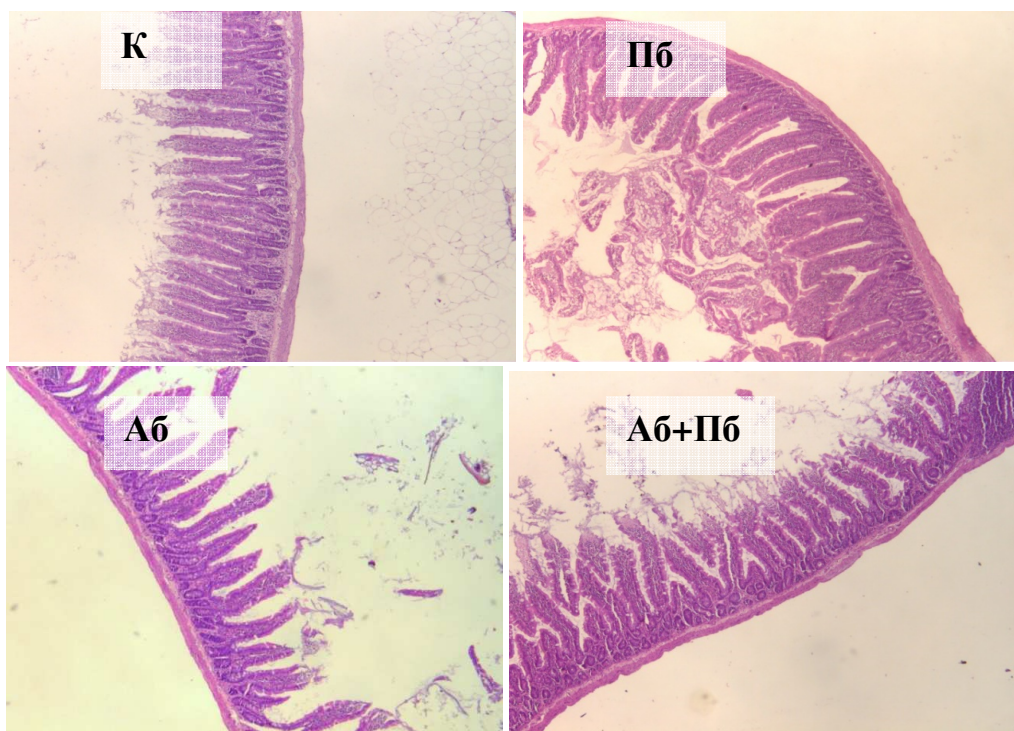


Рис. 2. Гистологические срезы стенки средней части тонкого кишечника крыс в контроле (К), при изолированном и комбинированном введении пробиотика (ПБ) и антибиотика (АБ) (ув. x5).

При этом отмечается тенденция к увеличению толщины эпителиоцитов в ворсинках на 8,34 %, а также выраженное увеличение количества железистых бокаловидных клеток на 51,32 % ($p < 0.05$) относительно соответствующих значений у крыс контрольной группы (рис. 3).

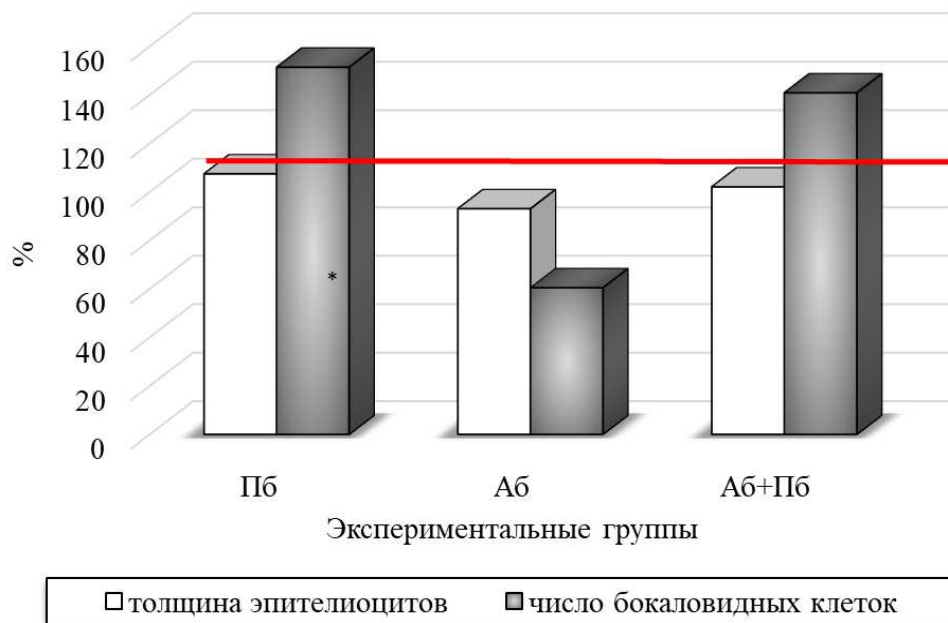


Рис. 3. Изменение толщины эпителиоцитов и количества бокаловидных клеток в ворсинках тонкого кишечника при изолированном и комбинированном введении пробиотика (ПБ) и антибиотика (АБ) (по сравнению с показателями крыс контрольной группы, принятых за 100 %).

Примечание: * – достоверность различий по сравнению со значениями контрольной группы животных по U-критерию Манна-Уитни.

На гистопрепаратах отмечается увеличение содержания гликопротеинов в поверхностной слизи и наполненности бокаловидных клеток крипт и ворсин (рис. 4). Увеличение содержания поверхностной слизи и количества бокаловидных клеток в ворсинках тонкого кишечника при введении пробиотиков свидетельствует о положительном воздействии пробиотиков на барьерную функцию кишечника и улучшении его морфофункционального состояния. Увеличение количества бокаловидных клеток, сопровождающееся усилением слизиобразования эпителием тонкой кишки, связано с активацией механизмов восстановления слизистой кишечника, улучшением структуры ворсинок и поддержанием их функции.

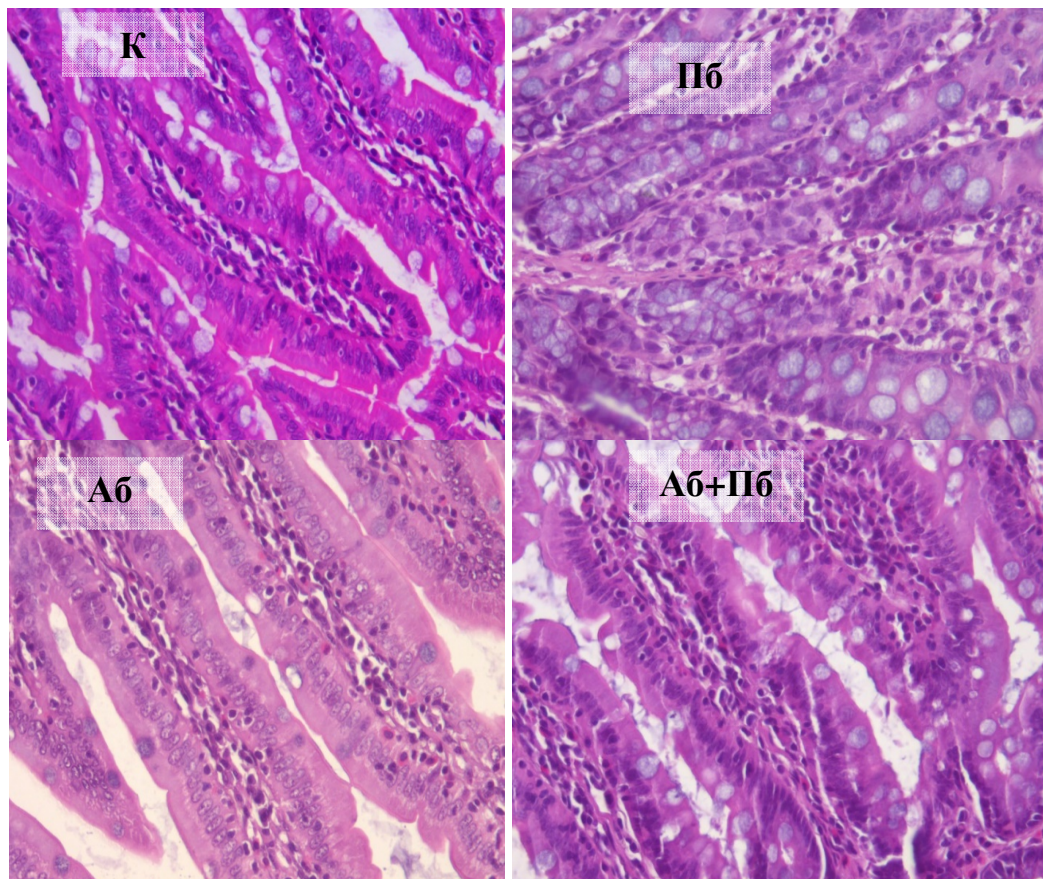


Рис. 4. Гистологические срезы ворсинок тонкого кишечника крыс в контроле (К), при изолированном и комбинированном введении пробиотика (ПБ) и антибиотика (АБ) (ув. x10)

При моделировании дисбиоза у крыс третьей группы (АБ) отмечается статистически значимое уменьшение толщины слизистой оболочки, высоты и толщины ворсинок тонкого кишечника на 37,28 % ($p < 0.05$), 43.01 % ($p < 0.05$) и 18.64 % ($p < 0.05$) соответственно по сравнению со значениями животных контрольной группы (К) (рис. 1, 2).

Зарегистрировано незначительное уменьшение толщины эпителиоцитов на 6,74 % и уменьшение количества бокаловидных клеток (на 39,52 %; $p < 0.05$) по сравнению с контролем (рис. 3). При этом верхушки отдельных кишечных ворсинок были полностью или частично лишены эпителия, с обнажением подслизистого слоя. Отмечается формирование в строме слизистой оболочки и подслизистого слоя полиморфных клеточных инфильтратов с примесью значительной доли эозинофилов. Данные изменения отражают дегенеративные изменения в слизистой оболочке, которые могут быть связаны с нарушением процессов регенерации эпителия, повреждение их структуры приводит к уменьшению площади

поверхности кишечника, что снижает эффективность всасывания питательных веществ. Это свидетельствует о том, что антибиотики вызвали структурные и функциональные повреждения кишечной слизи у крыс при моделировании дисбиоза.

При комбинированном введении антибиотика и пробиотика у животных четвертой группы (АБ+ПБ) отмечается значимое уменьшение толщины слизистой оболочки на 22.05 % ($p < 0.05$), высоты ворсинок на 21.20 % ($p < 0.05$) относительно значений у животных контрольной группы. При этом толщина ворсинок и эпителиоцитов была сопоставима с таковой интактных крыс. Количество бокаловидных клеток увеличилось на 40,87 % ($p < 0.05$) по сравнению со значениями группы К.

Снижение толщины слизистой оболочки у крыс четвертой группы отражает повреждение тканей вследствие влияния антибиотиков. Это может быть результатом разрушения микробиоты, воспаления и снижения регенеративных способностей эпителия. Увеличение количества бокаловидных клеток свидетельствует о защитной и восстановительной активности пробиотиков. Пробиотики стимулируют выработку муцина и поддерживают эпителиальные клетки, что компенсирует повреждения, вызванные антибиотиками. Комбинирование антибиотиков и пробиотиков вызвало баланс между повреждающими и восстанавливающими процессами. Уменьшение толщины слизистой указывает на наличие повреждения, но увеличение количества бокаловидных клеток говорит о начале процессов регенерации и усилении барьерной функции. Такое состояние отражает переходный этап адаптации кишечной слизи к комбинированной терапии. Это подтверждает необходимость включения пробиотиков в схемы антибиотикотерапии для смягчения побочных эффектов антибиотиков и ускорения восстановления слизистой.

Таким образом, изменение морфометрических показателей кишечника при введении антибиотиков, пробиотиков и их комбинированном применении отражает различную степень влияния этих веществ на состояние слизистой оболочки. При моделировании дисбиоза антибиотиками отмечается уменьшение толщины слизистой оболочки, снижение высоты и толщины ворсинок. Нарушается структура ворсинок, что приводит к ухудшению абсорбционной функции кишечника. Повреждение эпителия вызывает снижение количества бокаловидных клеток, уменьшает секрецию муцина, что ослабляет барьерную функцию. Показано, что антибиотики могут оказывать либо прямое (в основном токсическое) действие на слизистую либо опосредованное за счет их влияния на микробиоту [20, 21]. Отмечается уменьшение размеров крипт и ворсинок в тонкой кишке, толщины ее стенки, а также происходило увеличение проницаемости слизистой оболочки [22].

При введении пробиотиков практически не изменяется состояние слизистой кишечника, увеличивается количество бокаловидных клеток. Секреция муцина усиливается, что способствует защите слизистой от патогенов и токсинов. При применении пробиотиков отмечается стимулирование процессов регенерации в слизистой кишечника, увеличение митотического индекса в эпителиоцитах [23].

Показано, что пробиотики могут способствовать экспрессии белков плотных контактов в эпителиальных клетках кишечника, муцине и эпителии кишечника, а также усиливать функцию барьера эпителиальных клеток кишечника [24], способствовать секреции слизи эпителиальными клетками для формирования защитного слоя между слизистой оболочкой и микробами, тем самым предотвращая транслокацию бактерий и токсинов и подавляя рост патогенов, а также адгезию и инвазию патогенных бактерий в эпителиальные клетки кишечника [23].

Комбинированное введение антибиотиков и пробиотиков вызывает уменьшение толщины слизистой оболочки (меньше, чем при введении только антибиотиков). Антибиотики вызывают повреждения, но пробиотики частично компенсируют это, ускоряя восстановление. Отмечается умеренное уменьшение высоты, сохраняя часть абсорбционной функции. То есть введение пробиотиков на фоне дисбиоза позволяет снизить негативное воздействие антибиотиков на кишечник и ускорить восстановление его морфофункционального состояния, т.е. отмечается синергетический эффект – уменьшение негативных побочных эффектов антибиотиков, поддержание нормальной структуры и функций слизистой оболочки при комбинированном применении пробиотиков и антибиотиков. Это подчеркивает важность использования пробиотиков как вспомогательного средства при антибиотикотерапии.

Таким образом, исследование эффективности новых микробиотных консорциумов пробиотиков имеет значительную практическую значимость, предоставляет данные для дальнейшего применения этих пробиотиков в медицине и ветеринарии, а также способствует пониманию их механизмов действия и потенциальной пользы. С учетом роста проблемы антибиотикорезистентности и нежелательных побочных эффектов при длительном приеме антибиотиков, поиск альтернативных методов лечения и профилактики, таких как пробиотики, становится все более важным.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Выявлены изменения морфометрических показателей слизистой тонкого кишечника у крыс при введении пробиотика как при изолированном введении, так и на фоне модели дисбиоза.
2. При введении пробиотика у животных зарегистрировано значимое увеличение количества железистых бокаловидных клеток на 51,32 % ($p < 0.05$) относительно значений у крыс в контроле, отмечено положительное воздействие пробиотиков на барьерную функцию кишечника и улучшение его морфофункционального состояния.
3. При введении антибиотика у животных отмечается статистически значимое уменьшение толщины слизистой оболочки, высоты и толщины ворсинок тонкого кишечника на 37,28 % ($p < 0.05$), 43,01 % ($p < 0.05$) и 18,64 % ($p < 0.05$) соответственно, а также уменьшение толщины эпителиоцитов на 6,74 % и уменьшение количества бокаловидных клеток на 39,52 % ($p < 0.05$) по сравнению со значениями у животных в контрольной группе (К), что

свидетельствует о структурных и функциональных повреждениях кишечной слизи у крыс при моделировании дисбиоза.

- У животных четвёртой группы, подвергнутых комбинированному введению пробиотика и антибиотика, отмечается уменьшение толщины слизистой оболочки на 22.05 % ($p < 0.05$), высоты ворсинок на 21.20 % ($p < 0.05$) относительно значений у животных контрольной группы, а также увеличение количества бокаловидных клеток на 40,87 % ($p < 0.05$) по сравнению с данными интактных крыс, что свидетельствует о способности пробиотиков на фоне дисбиоза снизить негативное воздействие антибиотиков на кишечник и ускорить восстановление его морфофункционального состояния.

Работа выполнена на базе ЦКП «Экспериментальная физиология и биофизика» и ЦКП «Молекулярная биология» ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет имени В. И. Вернадского»

Список литературы

- Lin L. Role of intestinal microbiota and metabolites on gut homeostasis and human diseases / L. Lin, J. Zhang // BMC Immunology. – 2017. – Vol. 18. – P. 2. doi: 10.1186/s12865-016-0187-3.
- Оганезова И. А. Кишечная микробиота и иммунитет: иммуномодулирующие эффекты *Lactobacillus rhamnosus* GG / И. А. Оганезова // РМЖ. – 2018. – № 9. – С. 39–44.
- Bäckhed F. Host-bacterial mutualism in the human intestine / F. Bäckhed, R. E. Ley, J. L. Sonnenburg, D. A. Peterson, J. I. Gordon // Science. – 2005. – V. 307. – P. 1915–1920.
- Rajilić-Stojanović M. Phylogenetic analysis of dysbiosis in ulcerative colitis during remission / M. Rajilić-Stojanović, F. Shanahan, F. Guarner, W. M. de Vos // Inflamm Bowel Dis. – 2013. – V. 19. – P. 481–488.
- Тарасова Г. Н. Влияние терапии язвенного колита на бактериальный профиль микробиоты толстой кишки / Г. Н. Тарасова, А. Д. Зубова // Южно-Российский журнал терапевтической практики. – 2023. – № 4(3). – С. 22–26.
- Успенский Ю. П. Антибиотик-ассоциированная диарея – новая проблема цивилизации / Ю. П. Успенский, Ю. А. Фоминых // Consilium Medicum. – 2012. – Т. 14, № 8. – С. 51–56.
- Украинец Р. В. Кишечный микробиоценоз, синдром повышенной кишечной проницаемости (leaky gut syndrome) и новый взгляд на патогенез и возможности профилактики известных заболеваний (обзор литературы) / Р. В. Украинец, Ю. С. Корнева // Медицина. – 2020. – № 8(1). – С. 20–33.
- Максимова О. В. Микробиота кишечника и аллергические заболевания / О. В. Максимова, В. Б. Гервазиева, В. В. Зверев // Журнал микробиологии, эпидемиологии и иммунобиологии. – 2014. – Т. 91, №3. – С. 49–60
- Ардатская М. Д. Пробиотики, пребиотики и метабиотики в коррекции микробиологических нарушений кишечника / М. Д. Ардатская. – Москва: Медицина, 2015. – С. 94–99.
- Jiang He. Effect of probiotic supplementation on cognition and depressive symptoms in patients with depression: A systematic review and meta-analysis / Jiang He, Lemei Chang, Lange Zhang [et al.] // Baltimore. – 2023. – V. 24. – P.47.
- Кляритская И. Л. Современные концепции применения пробиотиков в гастроэнтерологии / И. Л. Кляритская, Ю. А. Мошко, Е. В. Максимова, Е. О. Шелихова, Ю. С. Работягова // Крымский терапевтический журнал. – 2021. – №1. – С. 9–19
- Nagalingam N. A. Role of the microbiota in inflammatory bowel diseases / N. A. Nagalingam, S. V. Lynch // Inflamm Bowel Dis. – 2012. – V. 18 (5). – P. 968–980.
- Looijer-van Langen M. A. C. Prebiotics in chronic intestinal inflammation / M. A. C. Looijer-van Langen, L. A. Dieleman // Inflamm Bowel Dis. – 2009. – V. 15 (3). – P. 454–462.

14. Russo F. Probiotics against neoplastic transformation of gastric mucosa: effects on cell proliferation and polyamine metabolism / F. Russo, M. Linsalata, A. Orlando // *World J Gastroenterol.* – 2014. – V. 20 (37). – P. 13258–13272.
15. Парфенов А. И. Антибиотико-ассоциированная диарея / А. И. Парфенов [и др.] // *Экспер. и клин. гастроэнтерол.* – 2002. – № 5. – С. 92–95.
16. Успенский Ю. П. Мировые тенденции к расширению сферы использования пробиотиков: актуальность применения средств на основе *Bacillus subtilis*. *Consilium Medicum* / Ю. П. Успенский, Н. В. Барышникова // *Гастроэнтерология.* – 2012. – № 4 (56). – С. 75–79.
17. Мустафина Л. Р. Частный курс гистологии: учебное пособие: в 2 частях / Л. Р. Мустафина, А. В. Герасимов, А. В. Потапов [и др.]. – Томск: СибГМУ, 2022. – 169 с.
18. Мьщик А. В. Использование программы ImageJ для автоматической морфометрии в гистологических исследованиях / А. В. Мьщик // *Омский научный вестник.* – 2011. – №2 – С.187–189.
19. Тимченко Л. Д. Основы микроскопической техники для биолога: учеб. пособие / Л. Д. Тимченко, В. Н. Вакулин. — Ставрополь: Изд-во СГУ, 2005. – 164 с.
20. Лобзин Ю. В. Дисбактериоз кишечника (клиника, диагностика, лечение): Руководство для врачей / Ю. В. Лобзин, В. Г. Макарова, Е. Р. Кровякова. – СПб., 2003. – 256 с.
21. Бельмер С. В. Антибиотик ассоциированный дисбактериоз кишечника / С. В. Бельмер // *РМЖ.* – 2004. – Т. 12, № 3. – С. 148.
22. Gut microflora: Digestive physiology and pathology / Ed. by J. C. Rambaud, J. P. Buts, G. Corthier, B. Flourie – Paris, 2006. – 247 p.
23. Zhang Y. Progresses in researches of probiotics and SМЕСТА adjuvant therapy for ulcerative colitis / Y. Zhang, M. Liu, Y. Zhao [et al.] // *Chin J Microecol.* – 2013. – V. 25. – P. 1356–1359.
24. Hering N. A. Determinants of colonic barrier function in inflammatory bowel disease and potential therapeutics / N. A. Hering, M. Fromm, J. D. Schulzke // *J Physiol.* – 2012. – V. 590. – P. 1035–1044.

MORPHOMETRIC PARAMETERS OF THE INTESTINE IN RATS AFTER PROBIOTIC ADMINISTRATION IN A DYSBIOSIS MODEL

*Dzheldubaeva E. R., Yarmolyuk N. S., Rzhevskaya V. S., Tumanyants K. N.,
Nazyrova L. E., Borisenko D. A.*

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

The aim of this study was to identify changes in the morphometric parameters of the intestine in rats after administration of a tested probiotic in a dysbiosis model.

The experiments were performed on 40 sexually mature female Wistar rats, weighing 220–240 g, with average motor activity and low emotional reactivity. The rats were divided into four experimental groups of 10 individuals each. They were administered an equivalent volume of drinking water (control), either alone or in combination, over 14 days. The treatment consisted of 3 mL of a 1 % probiotic solution and 5 mg/kg of the broad-spectrum antibiotic doxycycline. The microbial consortium included probiotic strains: *Lactobacillus parabuchneri*, *Lactobacillus plantarum*, *Lactobacillus acidophilus*, *Enterococcus faecium*, and *Brettanomyces bruxellensis*.

Morphometric analysis of the middle section of the small intestine mucosa included an assessment of its architecture, the thickness of the entire mucosa, the height and thickness of the villi, and the height of glandular cells.

Statistical analysis of the data was carried out using nonparametric methods, specifically the Mann-Whitney U-test. Results were considered statistically significant at $p < 0.05$.

Administration of probiotics resulted in a significant 51.32 % ($p < 0.05$) increase in the number of goblet cells compared to control values. This indicates a positive effect of probiotics on the intestinal barrier function and improved morphofunctional condition.

Animals receiving antibiotics showed a statistically significant decrease in the thickness of the mucosa, the height, and thickness of the small intestine villi by 37.28 % ($p < 0.05$), 43.01 % ($p < 0.05$), and 18.64 % ($p < 0.05$), respectively. Additionally, there was a 6.74 % reduction in epithelial thickness and a 39.52 % ($p < 0.05$) decrease in goblet cell counts compared to control animals. These findings highlight structural and functional damage to the intestinal mucosa caused by dysbiosis modeling.

Combined probiotic and antibiotic group: In the fourth group, which received both the probiotic and antibiotic, a reduction in mucosal thickness by 22.05 % ($p < 0.05$) and villi height by 21.20 % ($p < 0.05$) was observed compared to control values. However, there was a 40.87 % ($p < 0.05$) increase in goblet cell numbers relative to control. While antibiotics caused damage, probiotics partially mitigated this effect, accelerating recovery. The moderate decrease in villi height allowed for the preservation of some absorptive function.

The introduction of probiotics in the context of dysbiosis reduces the negative impact of antibiotics on the intestine and accelerates the restoration of its morphofunctional state. A synergistic effect was observed: reduced adverse side effects of antibiotics, preservation of normal mucosal structure, and function when probiotics and antibiotics were combined. This emphasizes the importance of using probiotics as an adjuvant in antibiotic therapy.

Keywords: probiotic, dysbiosis, rats, morphometric parameter, intestine.

References

1. Lin L., Zhang J. Role of intestinal microbiota and metabolites on gut homeostasis and human diseases, *BMC Immunology*, **18**, 2 (2017) doi: 10.1186/s12865-016-0187-3.
2. Oganezova I. A. Intestinal microbiota and immunity: immunomodulatory effects of *Lactobacillus rhamnosus* GG, *RMZh*, **9**, 39 (2018).
3. Bäckhed F., Ley R. E., Sonnenburg J. L., Peterson D. A., Gordon J. I. Host-bacterial mutualism in the human intestine, *Science*, **307**, 1915 (2005).
4. Rajilić-Stojanović M., Shanahan F., Guarner F., de Vos W. M. Phylogenetic analysis of dysbiosis in ulcerative colitis during remission, *Inflamm Bowel Dis.*, **19**, 481 (2013).
5. Tarasova G. N., Zubova A. D. Effect of therapy of ulcerative colitis on the bacterial profile of colonic microbiota, *South-Russian Journal of Therapeutic Practice*, **4(3)**, 22 (2023).
6. Uspensky Yu. P., Fominikh Yu. A. Antibiotic-associated diarrhea – a new problem of civilization, *Consilium Medicum*, **14**, 8, 51 (2012).
7. Ukrainets R. V., Korneva Yu. S. Intestinal microbiocenosis, increased intestinal permeability syndrome (leaky gut syndrome) and a new look at the pathogenesis and possibilities of prevention of known diseases (literature review), *Medicine*, **8(1)**, 20 (2020).
8. Maksimova O. V. Gervazieva V. B., Zverev V. V. Intestinal microbiota and allergic diseases, *Journal of Microbiology, Epidemiology and Immunobiology*, **91**, 3, 49 (2014).
9. Ardatskaya M. D. *Probiotics, prebiotics and metabiotics in the correction of intestinal microecological disorders*, 94 (Moscow: Medicine, 2015).

10. Jiang He, Lemei Chang, Lange Zhang [et al.] Effect of probiotic supplementation on cognition and depressive symptoms in patients with depression: A systematic review and meta-analysis, *Baltimore*, **24**, 47 (2023).
11. Klyaritskaya I. L., Moshko Y. A., Maksimova E. V., Shelikhova E. O., Rabotyagova Y. S. Modern concepts of probiotics use in gastroenterology, *Crimean Therapeutic Journal*, **1**, 9 (2021).
12. Nagalingam N. A., Lynch S. V. Role of the microbiota in inflammatory bowel diseases, *Inflamm Bowel Dis.*, **18** (5), 968 (2012).
13. Looijer-van Langen M. A. C., Dieleman L. A. Prebiotics in chronic intestinal inflammation, *Inflamm Bowel Dis.*, **15** (3), 454 (2009).
14. Russo F., Linsalata M., Orlando A. Probiotics against neoplastic transformation of gastric mucosa: effects on cell proliferation and polyamine metabolism, *World J Gastroenterol.*, **20** (37), 13258 (2014).
15. Parfenov A. I. Antibiotic-associated diarrhea, *Expert. and Clin. gastroenterol.*, **5**, 92 (2002).
16. Uspensky Yu. P., Baryshnikova N. V. World tendencies to the expansion of probiotics use sphere: relevance of Bacillus subtilis-based products application. *Consilium Medicum, Gastroenterology*, **4** (56), 75 (2012).
17. Mustafina L. R., Gerasimov A. V., Potapov A. V. [et al]. *Private course of histology: textbook: in 2 parts*, 169 (Tomsk: SibGMU, 2022).
18. Mytsik A. V. Using the ImageJ program for automatic morphometry in histological studies, *Omsk scientific bulletin*, **2**, 187 (2011).
19. Timchenko L. D., Vakulin V. N. *Fundamentals of microscopic technique for biologist: textbook*, 164 (Stavropol: Publishing house of SGU, 2005).
20. Lobzin Yu. V., Makarova V. G., Krovyakova E.R. *Intestinal dysbacteriosis (clinic, diagnostics, treatment): A guide for doctors*, 256 (St. Petersburg, 2003).
21. Belmer S. V. Antibiotic associated intestinal dysbacteriosis, *RMZh*, **12**, **3**, 148. (2004).
22. *Gut microflora: Digestive physiology and pathology* / Ed. by J. C. Belmer. C. Rambaud, J. P. Buts, G. Corthier, B. Flourie, 247 (Paris, 2006).
23. Zhang Y., Liu M., Zhao Y. [et al] Progress in probiotic and adjuvant therapy SMECTA studies in ulcerative colitis, *Chin J Microecol.*, **25**, 1356 (2013).
24. Hering N. A., Fromm M., Schulzke J. D. Determinants of colonic barrier function in inflammatory bowel disease and potential therapy, *J Physiol.*, **590**, 1035 (2012).

УДК 631.42

DOI 10.29039/2413-1725-2024-10-4-78-91

**ГЕОХИМИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ПОЧВ АГРОГЕННОГО РЯДА
ПОД МНОГОЛЕТНИМИ ПОСАДКАМИ ЛАВАНДЫ УЗКОЛИСТНОЙ
(LAVANDULA OFFICINALIS)**

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

¹*Институт биологии южных морей имени А. О. Ковалевского РАН, Севастополь,
Российская Федерация*

²*Карадагская научная станция имени Т. И. Вяземского – природный заповедник РАН,
Феодосия, Российская Федерация*

³*ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет им. В. И. Вернадского», Симферополь,
Российская Федерация*

E-mail: victoriadubas.VD@gmail.com

В агрогенных почвах Предгорного Крыма с использованием метода рентгенофлуоресцентной спектроскопии было определено содержание валовых концентраций химических элементов, величины основных агрохимических показателей почв. Установлено три основных для района исследования типа почв. Произведен отбор почвенного материала и его анализ в современных условиях окружающей среды с введением элементов ретроспективного анализа – сопоставлены текущие полученные данные с фоновыми материалами 1980-х годов. Содержание химических элементов характеризуется их рассеянием, накопительным эффектом обладают такие элементы как Ca, K, а также Br и As. Наибольшие их концентрации фиксируются в пахотных горизонтах, уменьшаясь с глубиной по мере приближения к карбонатной подстилающей породе. Такое распределение элементов, вероятнее всего, обусловлено связыванием химических элементов вследствие повышенной карбонатности и значений pH.

Ключевые слова: микроэлементы, тяжелые металлы, органическое вещество, pH, почвы, миграция.

ВВЕДЕНИЕ

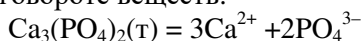
Существующие геохимические процессы, обеспечивающие цикличность и непрерывность, к сожалению, также способствуют распространению и миграции загрязнителей в большинстве своем негативно влияя на существование и развитие не только текущих, но и заведомо будущих экосистем. Дополнительное воздействие со стороны антропогенных факторов неуклонно приводит к нарушению естественных потоков и перераспределению химических элементов в компонентах окружающей среды [1].

В современной литературе экологическое значение почв уже давно рассматривается как самостоятельное направление, обособленное, но тесно связанное с сельскохозяйственными работами. Достоверно определено, что биогеохимических барьером для так называемых «аэротехногенных» тяжелых металлов и металлоидов, способных проникать в грунтовые воды является ничто

иное как почва [2]. Кроме того, в условиях длительного воздействия антропогенного характера, оказываемого на почвы, возникает процесс интенсивного снижения ее сорбционных свойств и приводит к деградации в целом. Среди работ, описывающих подобные процессы, явления и последствия, происходящие по всему Миру, стоит отметить следующие [3–6].

Поступление загрязняющих веществ, например, тяжелых металлов и металлоидов, с атмосферными осадками заведомо предопределяет зависимость экологического состояния почв от поведения и перераспределения тех или иных элементов по почвенному профилю. В ходе длительного антропогенного воздействия непременно происходит значительное насыщение почв загрязняющими их элементами, изменения их соотношений между различными формами нахождения [7].

Доподлинно известно, что не все и не всегда химические соединения, содержащие микро- и макроэлементы, являются доступными для агрокультур. Так, например, при слабощелочной реакции почвенной среды (pH=7,5 и более) в комплексе со значительными концентрациями кальция, фосфор переходит в труднодоступную форму и в дальнейшем не участвует в геохимическом круговороте веществ:



Выражение для произведения растворимости будет:

$$K_s(\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2) = [\text{Ca}^{2+}]_3 \cdot [\text{PO}_4^{3-}]_2$$

Молярная концентрация соли в насыщенном растворе – растворимость s (моль/л).

Тогда концентрация Ca^{2+} над осадком $[\text{Ca}^{2+}] = 3s$ (т.к. при диссоциации 1 моля соли образуется 3 моль Ca^{2+}), а концентрация PO_4^{3-} ионов в растворе, как это следует из уравнения фазового равновесия, окажется равной $[\text{PO}_4^{3-}] = 2s$.

Отсюда при концентрации 10^{-3} моль/дм³:

$$K_s(\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2) = [\text{Ca}^{2+}]_3 \cdot [\text{PO}_4^{3-}]_2 = (3s)^3 \cdot (2s)^2 = 9 \cdot 4 \cdot s^5 = 36s^5$$

$$K_s(\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2) = 36 \cdot (10^{-3})^5 = 3,6 \cdot 10^{-16} \text{ (моль/дм}^3\text{)}$$

$$\text{Величина ПР } \text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2(\text{т}) = 2,0 \cdot 10^{-9}$$

В тоже время, нехватка, ровно, как и избыток тех или иных химических элементов способны приводить к заболеваниям, мутациям или даже гибели растений, что чревато снижением основных критериев ведения земледелия – плодородия почв и урожайности агрокультур. Все это обуславливает актуальность проведения многостадийных комплексных исследований почв агрогенного ряда.

Цель исследования – комплексное установление содержания химических элементов, в том числе токсичных и их влияния на миграционные процессы в почвах агроземного ряда, распространенных в северной части предгорной зоны Крыма, занятых под многолетними посадками лаванды узколистной (*Lavandula officinalis*).

Многолетние посадки лаванды, также, как и некоторых других культур, произрастающих на высококарбонатных почвах с высокой долей нерастворимых соединений в их составе, являются одним из наиболее оптимальных решений для аграриев. Это непосредственно связано с морфофизиологической способностью

корневой системы растений добывать и переводить из нерастворимой формы в растворимую необходимые для них элементы питания.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Пробные площадки для исследования расположены, согласно физико-географическому районированию, в пределах восточной части северного Предгорья Крыма. В качестве проектных участков исследований – пробных площадок, выбрано несколько сельхозугодий, которые в крайние 40 лет стабильно заняты под многолетними посадками лаванды узколистной (*Lavandula officinalis*). Размер элементарной единицы площади составлял не менее 100 м на 100 м, где закладывались почвенные разрезы. Отбор проб почвенного материала производился согласно общепринятым методикам (ГОСТ 17.4.3.01 – 2017, ГОСТ 17.4.4.02 – 2017, ГОСТ 58595 – 2019). Пробоподготовка образцов включала в себя высушивание почвенного материала в атмосфере воздуха при комнатной температуре в течение 5–7 дней и дальнейшее его измельчение путем перетирания в агатовой ступке.

Диагностика и классификация почв проводились согласно сложившимся к настоящему времени представлениям [8, 9].

Для всех анализируемых почвенных образцов осуществляли определение аналогичного набора параметров. Производили определение гранулометрического состава в полевых условиях, рН, содержание гумуса определяли в условиях лаборатории по общепринятым методикам [10].

Качественное и количественное содержание химических элементов в образцах почв устанавливали с помощью рентгеновского флуоресцентного спектрометра Supermini 200 (Rigaku, Япония). Диапазон определения элементов от кислорода до урана. Съёмка спектральных данных образцов происходит в вакууме и носит неразрушающий характер. Относительная ошибка находится в пределах 0,1 %. Полученные полуколичественные результаты в массовых долях, выраженных в % пересчитывали в мг/кг. Масса навески для элементного анализа составляла 1,0 г.

Статистическая обработка данных производилась посредством использования программного пакета Statistica и Microsoft Excel.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Общая характеристика почвенных разрезов. Первое известное крупномасштабное обследование почв на исследуемых территориях было проведено в 1956 году, после чего в 1986 было дополнено исследованиями некоторых агрохимических показателей (обменный калий, подвижный фосфор, содержание гумуса, нитрификационная способность), а затем в 1991 году подвергалось полной корректировке установленных почвенных контуров. По результатам полевого обследования, проведенного в весенне-летний период 2024 года в границах сельхозугодий, занятых под многолетними посадками лаванды узколистной (*Lavandula officinalis*), выделены 7 разновидностей почв агрогенного ряда (рис. 1). Почвы в разной степени подвержены эрозии: от средне- до сильноэродированных. Наиболее типичными и представленными к исследованию в настоящей статье являются следующие разновидности почв:

– 1 – агрозем текстурно-карбонатный остаточно-карбонатный легкоглинистый слабощебнисто-каменистый на хрящевато-глинистом делювии. Формула: P–CAT–Cca;

– 2 – агрозем темный остаточно-карбонатный легкоглинистый сильнощебнисто-каменистый на щебнисто-каменистом делювии известняка (плотный известняк с глубины 60 см). Формула: PU–Cca–R;

– 3 – агрозем темный остаточно-карбонатный легкоглинистый среднещебнисто-каменистый на щебнисто-каменистом делювии мергеля (плотный мергель с глубины 60 см). Формула: PU–Cca–R.

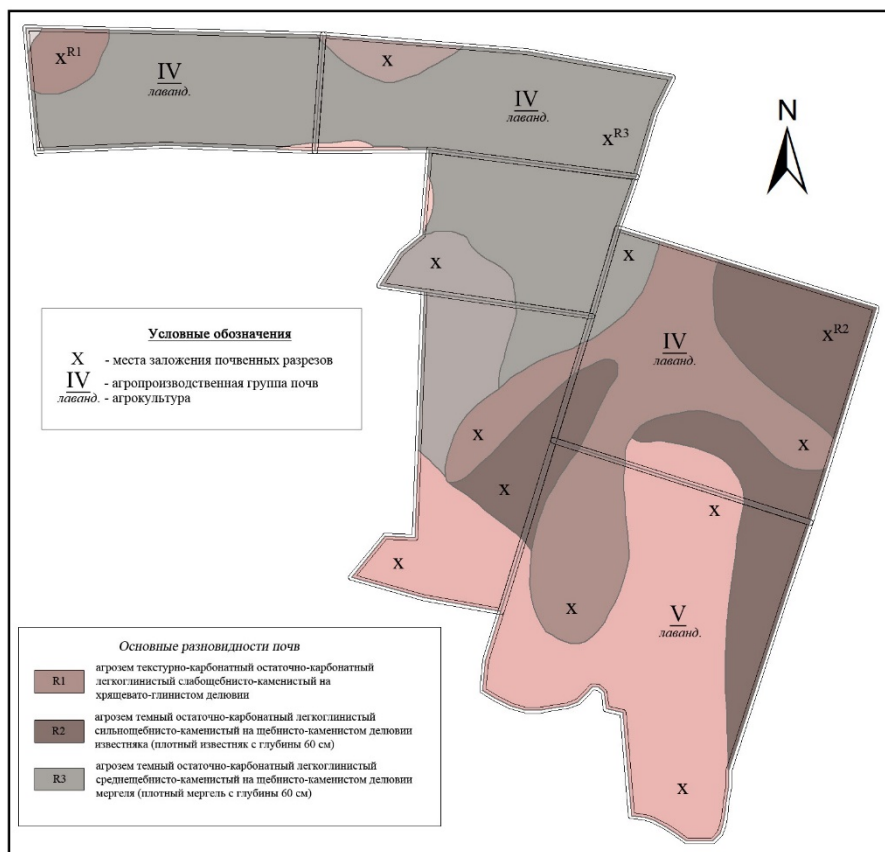


Рис. 1. Почвенный план сельхозугодий, занятых под многолетними посадками лаванды узколистной (*Lavandula officinalis*).

Морфогенетические особенности для аналогичных наиболее представительных почвенных разрезов отражены в [11].

Все почвы высококарбонатные, от 10 % HCl происходит вскипание с поверхности. Продукты выветривания осадочных пород (глины, известняки и

мергели) выступают в качестве почвообразующих пород. Гранулометрический состав исследуемых почв варьирует от супесчаного до тяжелосуглинистого. Количество гумуса в гумусовых горизонтах варьирует в пределах от 2,7 % до 6,9 %. На глубине более 50–60 см его содержание резко падает и находится в пределах от 1,3 % до 2,2 %.

Среди используемых для характеристики агроэкологического состояния почв, особое место отводится для обеспеченности их гумусом и биогенными элементами. Снижение их содержания во времени и пространстве может рассматриваться как критерий деградации почвенного покрова на рассматриваемых площадях [12]. Агрохимическая характеристика почв проектных площадок под многолетними посадками лаванды узколистной (*Lavandula officinalis*) с использованием элементов ретроспективного анализа представлена в таблице 1.

Таблица 1
Ретроспективный анализ основных агрохимических показателей почв агрогенного ряда в пределах проектных площадок, занятых под многолетними посадками лаванды узколистной (*Lavandula officinalis*)

Почвенный горизонт	Глубина, см	Гумус, %		P ₂ O ₅ , мг/100 г		K ₂ O, мг/100 г		pH _{KCl}	
		1986	2024	1986	2024	1986	2024	1991	2024
1 – агрозем текстурно-карбонатный остаточно-карбонатный легкоглинистый слабощебнисто-каменистый на хрящевато-глинистом делювии									
P	0–20	5,86	5,32	11–20	24	16–30	31	7,9	8,1
САТ	40–60	2,6	1,94		18		24	8,3	8,4
2 – агрозем темный остаточно-карбонатный легкоглинистый сильнощебнисто-каменистый на щебнисто-каменистом делювии известняка (плотный известняк с глубины 60 см)									
PU	0–40	5,0	4,96	11–20	19	16–30	27	8,4	8,3
3 – агрозем темный остаточно-карбонатный легкоглинистый среднещебнисто-каменистый на щебнисто-каменистом делювии мергеля (плотный мергель с глубины 60 см)									
PU	0–40	5,31	5,42	11–20	23	16–30	29	8,0	8,1

По содержанию гумуса, согласно устоявшейся в научной литературе шкале Л. А. Гришиной и Д. С. Орлова (1978), исследуемые почвы могут быть отнесены и охарактеризованы как среднегумусные. Значительное варьирование показателей во времени не обнаружено и составляет в пределах десятых долей единиц.

По содержанию подвижного фосфора для рассматриваемых почв характерен высокий уровень обеспеченности. Как можно заметить из табл. 1, верхние приповерхностные гумусовые горизонты содержат значительно больше обменного фосфора, по сравнению с нижележащими горизонтами и, тем более материнской породой. В тоже время, среднещелочная реакция среды рассматриваемых почв предопределяет формирование труднорастворимых соединений, в т.ч. фосфора,

которые превращаются в слабо доступные агрокультурам формы. По содержанию обменного калия почвы характеризуются очень высоким уровнем.

Реакция почвенной среды в данных условиях является наиболее устойчивым генетическим показателем. Изменение реакции среды в большую или меньшую стороны приводит не только к резкой смене характера почвообразования и экологических условий обитания организмов, но и смене условий геохимической миграции химических элементов, аккумуляции и образованию геохимических барьеров. Как можно заметить, уровень рН почв находится в пределах среднещелочных значений в верхней и нижней частях профилей. Согласно существующим экологическим прогнозам, такого рода показатели со временем способствуют возрастанию дефицита подвижных соединений фосфора, железа, цинка и марганца.

Распределение химических элементов в почвах. Почва, по своей природе является наиболее устойчивой в пространстве и времени средой, способной накапливать химические элементы. Особенно важным это проявляется в условиях длительной антропогенной нагрузки [13]. Вопросы использования и состояния почв агрогенного ряда Крыма достаточно хорошо изучены и представлены в [14–16]. Содержание и распределение химических элементов в почвах проектных площадок крайне неравномерно (рис. 1–2). Наибольшими концентрациями представлен ряд химических элементов: Ca-Si-Al-K-Ti, а наименьшими концентрациями характеризуется ряд химических элементов: Mn-Sr-Mg-P-S-Zr-Zn-Rb-Ni-Cu-As-Co.

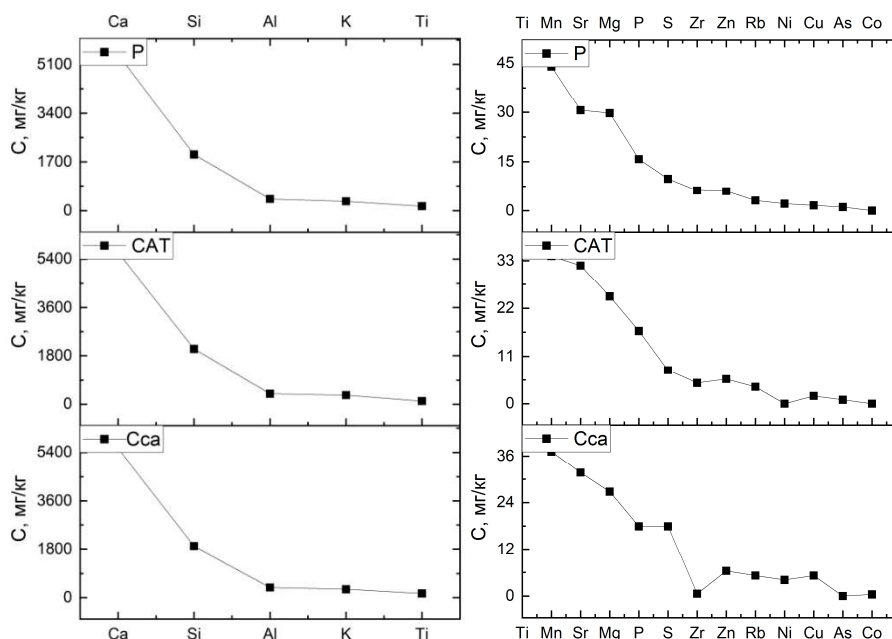


Рис. 1. Распределение химических элементов в почвах под многолетними посадками лаванды узколистной (*Lavandula officinalis*) по горизонтам – разрез R1.

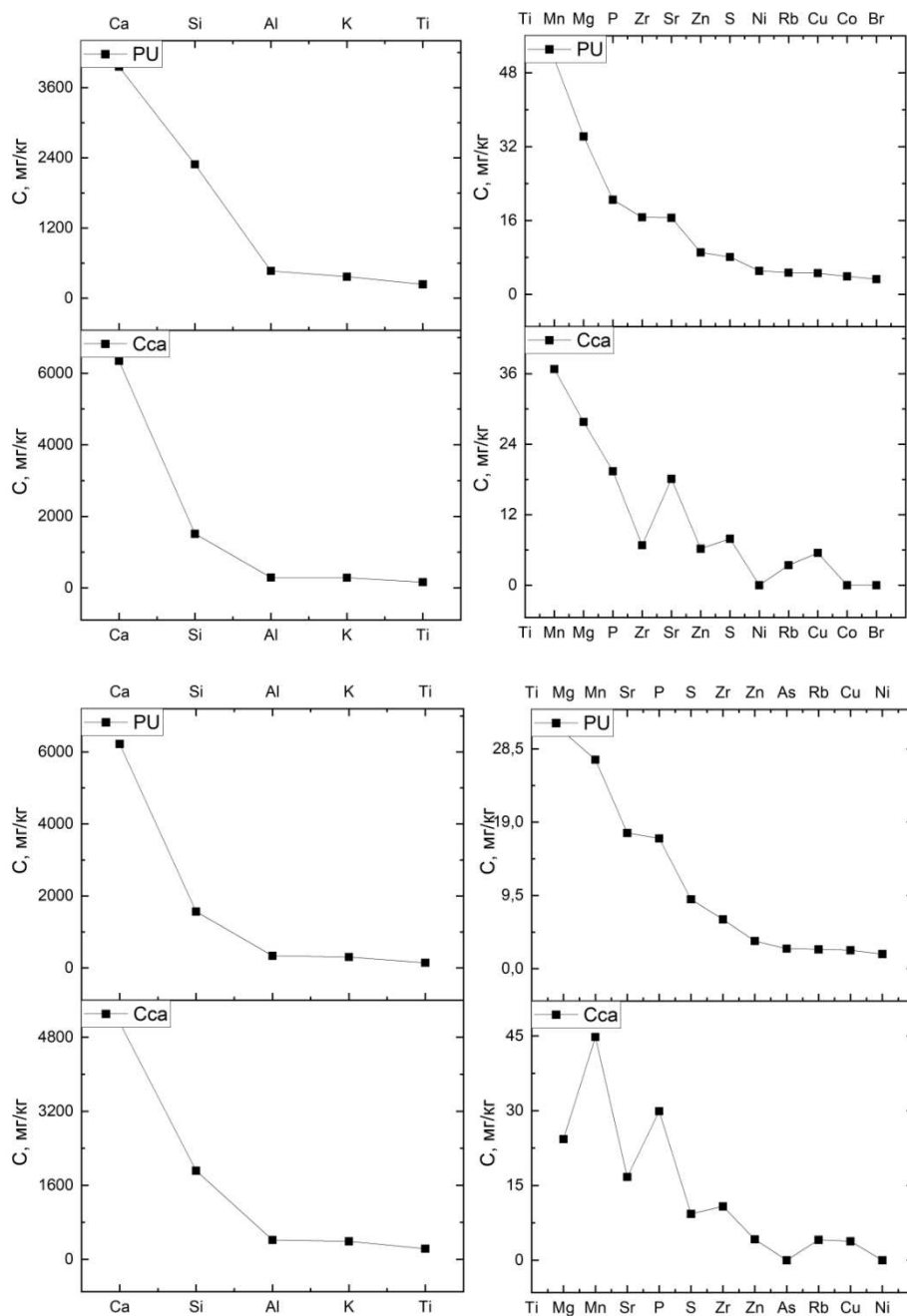


Рис. 2. Распределение химических элементов в почвах под многолетними посадками лаванды узколистной (*Lavandula officinalis*) по горизонтам – разрез R2 (сверху) и разрез R3 (снизу).

По сравнению с кларками верхней части континентальной коры по К. Wedepohl [17] для рассматриваемых почв наблюдается пониженное содержание большинства элементов, что обусловлено их нахождением в рассеянном виде (рис. 3). Для верхних пахотных горизонтов, представленных к исследованию разрезов, характерна аккумуляция ограниченного количества химических элементов: Ca, K, Br и As.

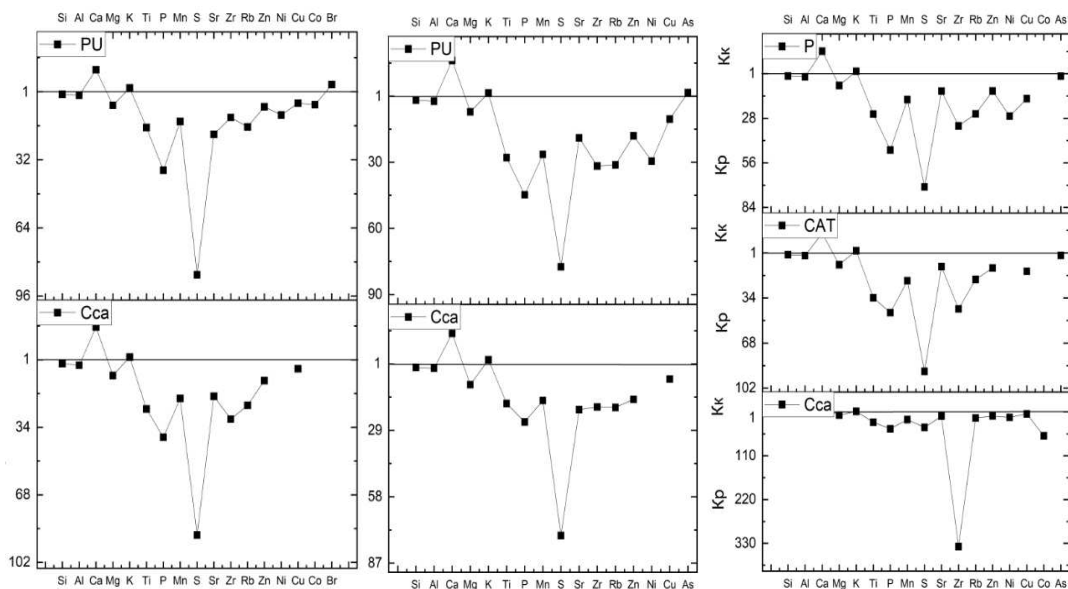


Рис. 3. Геохимические спектры для почв под многолетними посадками лаванды узколистной (*Lavandula officinalis*) по горизонтам – разрез R1 (слева) R2 (по центру) и разрез R3 (справа).

Геохимические ряды химических элементов приобретают следующий вид:

1) Разрез R1:

- Р горизонт:

Кк: К /1,53>Ca /14,16;

Кр: S /71,12>P /47,91>Zr /32,74>Ni /26,67 >Ti/25,33>Rb/25,16>Mn/16,27 >

Cu /15,63>Sr/10,88>Zn/10,83>Mg/7,41>Al/1,94>As/1,55>Si/1,47;

- CAT горизонт:

Кк: К /1,58>Ca /14,68;

Кр: S/89,36 >P/45,06>Zr/42,29>Ti/33,90>Mn/21,00>Rb/20,00>Cu/13,89>

Zn/11,40>Sr/10,44>Mg/8,91>Al/2,04>As/1,89>Si/1,40;

- Cca горизонт:

Кк: К/1,46> Ca/14,43;

Кр: Zr/338,33>Co/60,00>P/42,29>S /38,94>Ti/25,80>Mn/19,25>Rb/15,00

>Ni/13,66>Sr/10,50>Zn/10,16>Mg/8,21>Cu/4,81>Al/2,10>Si/1,50.

- 2) Разрез R2:
- PU горизонт:
Кк: K/1,72>Br/3,30>Ca/10,28;
Кр: S/86,05>P/36,93>Sr/20,06>Ti/16,87>Rb/16,60> Mn/14,04>Zr/12,16>
Ni/10,98>Zn/7,14>Mg/6,43>Co/6,15>Cu/5,43>Al/1,70>Si/1,26;
- Cca горизонт:
Кк: K/1,33>Ca/6,49;
Кр: S/88,23>P/39,02>Zr/29,85>Ti/24,80>Rb/22,94>Mn/19,46>Sr/18,40>
Zn /10,48> Mg/7,91>Cu/4,55>Al/2,75>Si/1,91.
- 3) Разрез R3:
- PU горизонт:
Кк: K/1,41>As/1,53>Ca/16,16;
Кр: S/77,44 >P/44,79>Zr/31,72>Rb/31,20>Ni/29,47>Ti/27,91>Mn/26,42>
Sr/18,92>Zn/18,06>Cu/10,42>Mg/7,17>Al/2,36>Si /1,84.
- Cca горизонт:
Кк: K/1,82>Ca/ 13,30;
Кр: S/74,95>P/25,32>Sr/19,94>Rb/19,02>Zr/18,80>Ti/ 17,31>Mn/15,98>
Zn/15,48>Mg/9,05>Cu/ 6,58>Al/1,89>Si/1,50.

Особенности миграции химических элементов. Степень опасности установленных концентраций химических элементов, содержащихся в анализируемых почвах, определяется не только путем установления их валового содержания, которое характеризует такие параметры, как геохимическая подвижность и токсическое действие загрязнителей, но и напрямую связывается с формами миграции и характером их закрепления различными минеральными и органическими носителями [18]. Те элементы, которые формируют соединения с органическим веществом при условии его низких и средних концентраций, вносят меньший вклад в формирование общего уровня содержания микроэлементов в почвах, доступных для растений, в особенности агрокультур, являющихся по своей природе более уязвимыми по отношению к изменениям факторов окружающей среды и обладающих меньшим порогом толерантности [7]. В [19] отражено, что фульвокислоты и гуминовые кислоты, представляя собой органические лиганды, способны формировать достаточно прочные комплексные соединения, где центральным ядром выступают металлы-лантаноиды, а также большинство тяжелых и редкоземельных элементов. В пахотном слое рассматриваемых почв фиксируется повышенное содержание калия и кальция, а также в разрезе R1 отмечается наличие повышенного содержания Br (Кк=3,30), а в R3 – As (Кк=1,53). Появление повышенных на общем фоне содержания данных элементов может быть объяснено их остаточными концентрациями после использования различного рода удобрений, пестицидов, инсектицидов и т.д. В природных условиях, Br редко образует собственные минералы [20], в большинстве своем обнаруживается в виде изоморфных примесей в минералах-галоидах: галите, сильвините и др., а также может встречаться в составе арагонита при этом обладает повышенной сорбируемостью со стороны Ca_{орг}. Природное содержание Br в агрокультурах может

достигать 120 мг/кг [21], что обусловлено его высокой подвижностью, оказывающей прямое воздействие на активизацию миграционных процессов в пределах системы «почва-растения». Оптимальное содержание мышьяка в верхнем горизонте техногенно незагрязненных почв может достигать 16 мг/кг [22]. Ограничения в миграции соединений мышьяка могут быть связаны, прежде всего, с его сорбцией на поверхности органических и минеральных фаз [23]. При этом, ограничением сорбционных процессов для мышьяка является понижение кислотно-щелочных условий – рН почв, что приводит к переходу из твердых фаз в почвенный раствор [24]. Таким образом, растворимость мышьяка в щелочных условиях, а также его подвижность возрастают [25]. Оба этих элемента высоко токсичны, обладают эмбриотропным, мутагенным эффектом [26, 27]. На сегодняшний день, в вопросах снижения и/или устранения загрязнения почв тяжелыми металлами, в т.ч. металлоидами и соединениями на их основе, хорошо зарекомендовали себя способы ремедиации, предполагающие использование мелиорантов, например известь, глинистые минералы, гуматы, торф, биоуголь, твердые вещества биологического происхождения и др. При существующих значениях рН для рассматриваемых почв в целом, характерно увеличение количества неподвижных соединений и более устойчивых органических комплексов, что характеризуется снижением миграционной активности и нахождением в недоступных для растений формах. Данный факт также способствует безопасному выращиванию агрокультур.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

По результатам полевого обследования установлено три основных типа почв, распространенных в восточной части северного Предгорья Крыма. Заложены проектные площадки, представленные к исследованию и определены основные агрохимические показатели почв, распространенных в их пределах, а также валовые концентрации химических элементов, которые накапливаются в большинстве своем в пахотном слое. По содержанию гумуса все почвы отнесены к среднегумусным. Содержание подвижного фосфора и обменного калия установленные для анализируемых почв характеризует их, как высоко и очень высоко содержащие оксиды данных элементов, соответственно. Слабо- и среднещелочная реакция почвенной среды накладывает некоторые ограничения в подвижности и доступности растениям соединений фосфора, железа, цинка и марганца.

Большинство из качественно установленных элементов находятся в рассеянном виде по всему почвенному профилю. Исключение составляют Са, К, а также Вг и As, которые склонны к накоплению в пахотном гумусовом горизонте агрогенных почв. Включение брома и мышьяка в биологические цепи в большей степени предопределяется антропогенным поступлением в почвы. По результатам проведенных исследований ясно, что почвы пригодны для безопасного выращивания многолетних эфиромасличных культур с рекомендуемым проведением контроля за содержанием загрязняющих химических элементов: тяжелых металлов и металлоидов, как в почвах, так и возделываемых агрокультурах.

Работа выполнена в рамках темы №124052000057-0 «Мониторинг климатически активных веществ в наземных экосистемах Республики Крым в условиях изменения климата и антропогенного воздействия с применением дистанционных методов исследований».

Список литературы

1. Елсукова Е. Ю. Техногенная трансформация потоков тяжелых металлов в почвах в зоне воздействия медно-никелевого производства / Елсукова Е. Ю., Опекунова М. Г., Опекунов А. Ю. // Международный научно-исследовательский журнал. – 2019. – № 12-1 (90). – С. 118–124. doi.org/10.23670/IRJ.2019.90.12.024
2. Евтюгина З. А. Особенности формирования состава инфильтрационных вод в условиях аэротехногенного загрязнения / Евтюгина З. А., Асминг В. Э. // Вестник МГТУ: труды Мурманского государственного технического университета. – 2013. – Т. 16, № 1. – С. 73–80.
3. Zhang X. Estimation of lead and zinc emissions from mineral exploitation based on characteristics of lead/zinc deposits in China / X. Zhang, L. Yang, Y. Li, H. Li, W. Wang, Q. Ge // Transactions of Nonferrous Metals Society of China. – 2011. – V. 21, Iss. 11. – P. 2513–2519. doi.org/10.1016/S1003-6326(11)61044-3.
4. Ettler V. Soil contamination near non-ferrous metal smelters: a review / Ettler V. // Applied Geochemistry. – 2015. – V. 64. – P. 56–74. doi.org/10.1016/j.apgeochem.2015.09.020.
5. Ghayoraneh M. Concentration, distribution and speciation of toxic metals in soils along a transect around a Zn/Pb smelter in the northwest of Iran / Ghayoraneh M., Qishlaqi A. // Journal of Geochemical Exploration. – 2017. – V. 180. – P. 1–14. doi.org/10.1016/j.gexplo.2017.05.007.10.
6. Wilkin R. T. Groundwater co-contaminant behavior of arsenic and selenium at a lead and zinc smelting facility / R. T. Wilkin, T. R. Lee, D. G. Beak, R. Anderson, B. Burns // Applied Geochemistry. – 2018. – V. 89. – P. 255–264. doi.org/10.1016/j.apgeochem.2017.12.011.
7. Мотузова Г. В. Соединения микроэлементов в почвах: системная организация, экологическое значение, мониторинг. 2-е изд. / Мотузова Г. В. – М.: Книжный дом «ЛИБРОКОМ», 2009. – 168 с.
8. Полевой определитель почв России. – М.: Почвенный ин-т им. В.В. Докучаева, 2008. – 182 с.
9. Единый государственный реестр почвенных ресурсов России. Версия 1.0. Коллективная монография / под ред. А. Л. Иванова, С. А. Шоба. – М.: Почвенный ин-т им В.В. Докучаева, 2014. – 768 с.
10. Агрохимические методы исследования почв / под ред А. В. Соколова. – М.: Наука, 1975. – 656 с.
11. Дубас В. В. Особенности миграции свинца и цинка в агроземах предгорного Крыма / В. В. Дубас, И. В. Алексашкин // Ученые записки Крымского федерального университета имени В. И. Вернадского. Биология. Химия. – 2022. – Т. 8, № 4. – С. 61–71.
12. Титова В. И. Агроэкосистемы: проблемы функционирования и сохранения устойчивости (теория и практика агронома-эколога). – 2-е изд., перераб. и доп. / Титова В. И., Дабахов М. В., Дабахова Е. В. – Н. Новгород: Изд-во НГСХА. – 2002. – 205 с.
13. Barsova N. Current state and dynamics of heavy metal soil pollution in Russian Federation – a review / N. Barsova, O. Yakimenko, I. Tolpeshta, G. Motuzova // Environmental Pollution. – 2019. – V. 249. – P. 200–207. doi.org/10.1016/j.envpol.2019.03.020.
14. Тронза Г. Е. Солевой режим солонцов луговых Крымского Причерноморья, освоенных под культурой риса / Тронза Г. Е. // Труды Крымского ГАТУ: Сельскохозяйственные науки. – 2002. – Вып. 91. – С. 242–247
15. Lisetskii F. N. Post-agrogenic evolution of soils in ancient greek land use areas in the Herakleian peninsula, southwestern Crimea / Lisetskii F. N., Rodionova M. E., Terekhin E. A., Stolba V. F., Ergina E. I. // The Holocene. – 2013. – Т. 23, № 4. – С. 504–514.
16. Ергина Е. И. Современное почвенно-экологическое состояние Крымского полуострова / Ергина Е. И., Тронза Г. Е. // Ученые записки Крымского федерального университета имени В. И. Вернадского. География. Геология. – 2016. – Том 2 (68), № 3. – С. 196–196.
17. Wedepohl K. H. The composition of the continental crust / Wedepohl K. H. // Geochimica et Cosmochimica Acta. – 1995. – Vol. 59, No. 7. – P. 1217–1232.

18. Водяницкий Ю. Н. Изучение тяжелых металлов в почвах. / Водяницкий Ю. Н. – М.: Почвенный институт им. В. В. Докучаева, 2005. – 109 с.
19. Переломов Л. В. Взаимодействие редкоземельных элементов с биотическими и абиотическими компонентами почв / Переломов Л. В. // Агрохимия. – 2007. – № 11. – С. 85–96.
20. Перельман А. И. Геохимия элементов в зоне гипергенеза. / Перельман А. И. – М.: Недра, 1972. – 288 с.
21. Иванов В. В. Экологическая геохимия элементов: Справочник. В 6 кн. / под ред. Э. К. Буренкова. Кн. 3: Редкие р-элементы. – М.: Недра, 1996. – 352 с.
22. Ковда В. А. Биогеохимия почвенного покрова / В. А. Ковда. – М.: Наука, 1985. – 263 с.
23. Kabata-Pendias A. Biogeochemia pierwiastków sladowych / A. Kabata-Pendias, H. Pendias. – PWN. Warszawa, 1999. – 398 p.
24. Водяницкий Ю. Н. Хром и мышьяк в загрязненных почвах. Обзор литературы / Ю. Н. Водяницкий // Почвоведение. – 2009. – № 5. – С. 551–559.
25. Пинский Д. Л. Ионнообменные процессы в почвах / Д. Л. Пинский. – Пущино, 1997. – 166 с.
26. Comparative study on susceptibility to 1-bromopropane in three mice strains / Liu Fang, Ichihara Sahoko, Mohideen Sahabudeen Sheik, Sai Uka, Kitoh Junzoh, Ichihara Gaku // Toxicological Sciences. – 2009. – V. 112, № 1. – P. 100–120.
27. Carr H. S. Mutagenicity of derivatives of the flame retardant tris (2,3-dibromopropyl)phosphate: halogenated-propanols / Carr H. S., Rozenkranz H. S. // Mutation Research. – 1978. – V. 57, № 7. – P. 381–384.

GEOCHEMICAL CHARACTERISTICS OF AGROGENIC SOILS UNDER PERENNIAL PLANTS OF LAVENDER (*LAVANDULA OFFICINALIS*)

Dubas V. V.^{1,2,3}, Aleksashkin I. V.^{2,3}, Plaskalnaya E. I.³

¹*A. O. Kovalevsky Institute of Biology of the Southern Seas of RAS, Sevastopol', Russian Federation*

²*T. 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*

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

E-mail: victoriadubas.VD@gmail.com

Existing geochemical processes that ensure cyclicity and continuity, unfortunately, also contribute to the spread and migration of pollutants, mostly negatively affecting the existence and development of not only current but also obviously future ecosystems. The influx of pollutants, such as heavy metals and metalloids, with atmospheric precipitation obviously predetermines the dependence of the ecological state of soils on the behavior and redistribution of certain elements across the soil profile. At the same time, a deficiency, as well as an excess of certain chemical elements, can lead to diseases, mutations or even death of plants, which is fraught with a decrease in the main criteria for farming – soil fertility and crop yields. Several agricultural lands, which have been stably occupied by perennial plantings of narrow-leaved lavender (*Lavandula officinalis*) for the last 40 years, were selected as project research sites – test sites. In the agrogenic soils of the Crimean foothills, the content of gross concentrations of chemical elements and the values of the main agrochemical indicators of soils were determined using the method of X-ray fluorescence spectrometry. Three main types of soils have been identified for the

study area. All soils are highly carbonate, with 10 % HCl causing effervescence from the surface. Sedimentary rock weathering products (clays, limestones and marls) act as soil-forming rocks. The soil material was selected and analyzed under modern environmental conditions with the introduction of elements of retrospective analysis – the current data obtained were compared with the archive materials from the 1980s. The content of chemical elements is characterized by their dispersion; elements such as Ca, K, as well as Br and As have a cumulative effect. Their highest concentrations are recorded in arable horizons, decreasing with depth as they approach the carbonate underlying rock. Such distribution of elements is most likely due to the binding of chemical elements due to increased carbonate content and pH values.

Keywords: trace elements, heavy metals, organic matter, pH, soils, migration.

References

1. Elsukova E. Yu., Opekunova M. G., Opekunov A. Yu. Technogenic transformation of heavy metal flows in soils in the zone of copper-nickel production impact. *International Research Journal*. **12-1 (90)**, 118 (2019).
2. Evtugina Z. A., Asming V. E. Features of the formation of the composition of infiltration waters under conditions of aerotechnogenic pollution. *Bulletin of MSTU: works of Murmansk State Technical University*. **16 (1)**, 73 (2013)
3. Zhang X., Yang L., Li Y., Li H., Wang W., Ge Q. Estimation of lead and zinc emissions from mineral exploitation based on characteristics of lead/zinc deposits in China. *Transactions of Nonferrous Metals Society of China*. **21 (11)**, 2513 (2011) doi.org/10.1016/S1003-6326(11)61044-3.
4. Ettler V. Soil contamination near non-ferrous metal smelters: a review, *Applied Geochemistry*. **64**, 56 (2015) doi.org/10.1016/j.apgeochem.2015.09.020.
5. Ghayoraneh M., Qishlaqi A. Concentration, distribution and speciation of toxic metals in soils along a transect around a Zn/Pb smelter in the northwest of Iran. *Journal of Geochemical Exploration*. **180**, 1 (2017) doi.org/10.1016/j.gexplo.2017.05.007.10.
6. Wilkin R. T., Lee T. R., Beak D. G., Anderson R., Burns B. Groundwater co-contaminant behavior of arsenic and selenium at a lead and zinc smelting facility. *Applied Geochemistry*. **89**, 255 (2018) doi.org/10.1016/j.apgeochem.2017.12.011.
7. Motuzova G. V. *Microelement compounds in soils: system organization, ecological significance, monitoring*. 2nd ed. 168 p. (Book House "LIBROKOM", M., 2009).
8. *Field determinant of Russian soils*. p. 182 (V. V. Dokuchaev Soil Inst., M., 2008).
9. *Unified State Register of Soil Resources of Russia. Version 1.0*. p. 768 (V. V. Dokuchaev Soil Inst., M., 2014).
10. *Agrochemical methods of soil research*. ed. by A. V. Sokolov. 656 p. (Moscow, Nauka, 1975)
11. Dubas V. V., Aleksashkin I. V. Features of lead and zinc migration in agrozems of the foothills of Crimea. *Scientific notes of the V. I. Vernadsky Crimean Federal University. Biology. Chemistry*. **8 (4)**, 61 (2022).
12. Titova V. I., Dabakhov M. V., Dabakhova E. V. *Agroecosystems: problems of functioning and maintaining stability (theory and practice of an agronomist-ecologist)*. 2nd ed., revised and enlarged. 205. (N. Novgorod: Publishing house of NGSKhA., 2002).
13. Barsova N., Yakimenko O., Tolpeshta I., Motuzova G. Current state and dynamics of heavy metal soil pollution in Russian Federation – a review. *Environmental Pollution*, 249, 200 doi.org/10.1016/j.envpol.2019.03.020. (2019).
14. Tronza G. E. Salt regime of meadow solonetz soils of the Crimean Black Sea region developed for rice cultivation. *Proceedings of the Crimean State Agricultural Technical University: Agricultural sciences*. **91**, 242 (2002).

15. Lisetskii F. N., Rodionova M. E., Terekhin E. A., Stolba V. F., Ergina E. I. Post-agrogenic evolution of soils in ancient greek land use areas in the Herakleian peninsula, southwestern Crimea. *The Holocene*. **23** (4), 504 (2013).
16. Ergina E. I., Tronza G. E. Current soil-ecological state of the Crimean peninsula. *Scientific notes of the Crimean Federal University named after V. I. Vernadsky. Geography. Geology*. **2** (68), **3**, 196 (2016).
17. Wedepohl K. H. The composition of the continental crust. *Geochimica et Cosmochimica Acta*. **59** (7), 1217 (1995).
18. Vodyanitsky Yu. N. *Study of heavy metals in soils*. Soil Institute named after V. V. Dokuchaev, 109. (M., 2005).
19. Perelomov L. V. Interaction of rare earth elements with biotic and abiotic components of soils. *Agrochemistry*. **11**, 85 (2007).
20. Perelman A. I. *Geochemistry of elements in the hypergenesis zone*. 288. (M.: Nedra, 1972).
21. Ivanov V. V. *Ecological geochemistry of elements: Handbook*. In 6 books. edited by E. K. Burenkov. Book 3: Rare p-elements. 352. (Moscow: Nedra, 1996).
22. Kovda V. A. *Biogeochemistry of soil cover*. 263. (M.: Nauka, 1985).
23. Kabata-Pendias A. Pendias H. *Biogeochemistry of trace elements*. 398. (PWN. Warszawa, 1999).
24. Vodyanitsky Yu. N. Chromium and arsenic in contaminated soils. Literature review. *Soil Science*. **5**, 551 (2009)
25. Pinsky D. L. *Ion exchange processes in soils*. 166. (Pushchino, 1997).
26. Liu Fang, Ichihara Sahoko, Mohideen Sahabudeen Sheik, Sai Uka, Kitoh Junzoh, Ichihara Gaku. Comparative study on susceptibility tu 1-bromopropane in three mice strains. *Toxicological Sciences*. **112** (1), 100 (2009).
27. Carr H. S., Rozenkranz H. S. Mutagenicity of derivatives of the flame retardant tris (2,3-dibromopropyl)phosphate: halogenated-propanols. *Mutation Research*. **57** (7), 381 (1978).

УДК 612. 656

DOI 10.29039/2413-1725-2024-10-4-92-102

МОРФОФИЗИОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ РОСТА И РАЗВИТИЯ ОБУЧАЮЩИХСЯ ЮНОШЕСКОГО ВОЗРАСТА В СОВРЕМЕННЫХ ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ УСЛОВИЯХ

Калюжный Е. А.¹, Ибрагимова Э. Э.², Эмирова Д. Э.², Пужак С. А.¹

*¹ФГБОУ ВО «Приволжский исследовательский медицинский университет» Минздрава
России, Нижний Новгород, Российская Федерация*

*²ГБОУВО РК «Крымский инженерно-педагогический университет имени Февзи Якубова»,
Симферополь, Республика Крым, Российская Федерация
E-mail: eakmail@mail.ru*

В статье представлены результаты исследования возрастно-половых особенностей гармоничности морфофункционального развития и соматотипа учащихся юношеского возраста (80 юношей и 231 девушек) в условиях современного образования. Установлено, что юноши характеризовались статистически значимыми большими значениями длины, массы тела и окружности грудной клетки на 10,8 см, на 16,0 кг и на 8,2 см, жизненной емкости легких (на 32,8 %), силы правой (на 36,7 %) и левой (на 36,2 %) кистей. Верхние значения диастолического давления и частоты сердечных сокращений выходили за референтные границы. Систолическое давление у юношей значимо выше на 5,19 %; ДАД – на 0,13 %, ЧСС – на 1,1 %, не различалась значим. Масса тела оценивалась как нормальная. В группах преобладали лица с мезосоматическим соматотипом с общим преобладанием микро над макросоматиками на 31,04 %. Гармонично развиты практически три четверти юношей и девушек, остальные – дисгармонично. Выявлен замедленный темп физического развития учащихся. Свидетельством напряжения механизмов адаптации организма является повышение ЧСС и ДАД, более выраженное у юношей.

Ключевые слова: студенты, соматотип, антропометрические показатели, гемодинамические показатели, морфофункциональное развитие, возрастно-половые паттерны.

ВВЕДЕНИЕ

В юношеском возрасте происходит завершение роста и развития морфологических показателей организма человека. На первых курсах обучения в высшем учебном заведении (вуз) регистрируется стабилизация размерных преобразований. В то же время функциональные показатели, как более пластичные физиологические факторы, находятся в состоянии сенситивности и тесно интегрированы с условиями экзосреды, скрининг которых предполагает получение объективной информации успешности адаптированности к ней. Констатация и прогнозирование аппроксимаций морфофункционального статуса обучающихся высшей школы в условиях современной образовательной среды относится к числу приоритетных направлений исследований в области физиологии [1–4].

Управленческие решения, регламентирующие системные и гигиенические подходы современного образования, должны приниматься на фоне объективной, научно обоснованной индикации широкого спектра физиологических показателей, с учетом сравнительного анализа возрастно-половых особенностей на фоне меняющихся условий жизни современного социума в популяции юношеского периода развития организма [5–9].

Исследования показали, что трехлетний юношеский период, предшествующий периоду первой зрелости юношей и девушек, связан с формированием у них функционального статуса основе субъективного соматотипа и гармоничности развития. Однако, сведения о динамиках паттернов показателей соматотипирования учащихся современного образования, в центильном распределении относительно региональных, федеральных стандартов, отсутствуют [10–14]. В связи с этим, анализ внутригрупповой изменчивости основных физиометрических показателей учащихся, уточнение и количественная оценка изменчивости антропологических показателей в контексте половой градации, представляется своевременной научной задачей [17–21].

Цель исследования – оценка морфологического и функционального статуса обучающихся юношеского возраста в современных образовательных условиях.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Репрезентативный спектр физиологических показателей получен на основании информированного согласия участников с соблюдением принципов биомедицинской этики. Обследование студентов проведено с использованием общепринятых методов [1, 2].

Объект наблюдения – обучающиеся высшего образования различных факультетов. В течение 2022/23 года обследовали 311 человек (80 юношей и 231 девушки) в возрасте $18,5 \pm 0,75$ лет.

Критерии включения в исследование: по результатам комплексной оценки здоровья – учащиеся первой и второй групп. Критерии исключения из исследования – период обострения хронических заболеваний [2, 16].

Соматометрические и физиометрические параметры организма определялись с использованием сертифицированного, поверенного оборудования. Для оценки длины и массы (ДТ, МТ) тела использовали весы медицинские «МИДЛ МП 150 ВДА ХМ15(300x400) с ростомером «Здоровье», окружности грудной клетки в покое (ОГКП) – сантиметровую ленту стандартной «МК-185», силы правой (СПК) и левой (СЛК) кистей – динамометр кистевой «ДК-140», жизненной емкости легких (ЖЕЛ) – спирометр сухой портативный «ССП». Функциональные показатели сердечно-сосудистой системы оценивали с использованием поверенного синхротаймера-механического «СОПр-2а-3-000» (частота сердечных сокращений (ЧСС)), фонендоскоп «ФСК-03» и тонометр механический «ИАД 01-1» (измерялось систолическое (САД) и диастолическое артериальное давление (ДАД) [13, 15].

Для оценки соматометрических данных по показателям длины и массы тела рассчитывали массо-ростовой показатель – индекс Кетле2 (ИК2). $ИК2 = МТ_{кг} / ДТ_{м}^2$;

где: < – 16,5 – выраженный дефицит массы; 16,5 – 18,4 – дефицит массы тела; 18,5–24,9 – норма; 25–29,9 – избыточная масса тела [2].

Для анализа базы данных использовали параметрический (сигмальный) и непараметрический (центильный) методы. Сигмальный метод позволял определить среднюю величину (M) и сигму (σ) – стандартное отклонение, что дает основание сравнить отклонение показателя физического показателя от статистически среднего значения наблюдаемого показателя: в диапазоне средних величин ($M \pm 1\sigma$), выше средних величин (от $M + 1\sigma$ до $M + 2\sigma$), высокие величины (от $M + 2\sigma$ и более), ниже средних величин (от $M - 1\sigma$ до $M - 2\sigma$), низких величин (от $M - 2\sigma$ и менее). Провели сравнение наших данных с эталоном [15].

Центильный метод позволял дифференцировать абсолютные значения того или изучаемого показателя в долях величин, входящих в коридоры (центильные интервалы – ЦИ): 1 (до 3 % – очень низкие), 2 (от 3/5 до 10/15 % – низкие), 3 (от 10/15 до 25 % – пониженные), 4 (от 25 до 75 %), 5 (от 50 до 75 %), 6 (от 75 до 90/85 % – повышенные), 7 (от 90/85 до 97/95 % – высокие), 8 (от 97/95 % – очень высокие). Величины, входящие в 4 и 5 ЦИ, – средние [16, 21].

Для характеристики темпа роста провели когортное исследование учащихся по признаку выраженности темпового соматотипа, позиционируемого как сумма номеров центильных интервалов возрастного-полового норматива для ДТ, МТ и ОГК: микросоматический тип (замедленный) – Σ (ЦИ) = 3–10 баллов; мезосоматический тип (средний) – Σ (ЦИ) = 11–17 баллов; и макросоматический тип (ускоренный) темп развития – Σ (ЦИ) = 18–24 баллов [2,14].

По показателям индекса Кетле2, ЖЕЛ, динамометрии и гемодинамическим показателям оценивали гармоничность морфофункционального развития организма учащегося. Гармоничное развитие – абсолютное значение каждого из показателей: в интервале (от $M \pm 1\sigma$ до $M \pm 2\sigma$); дисгармоничное развитие – абсолютное значение в интервале (< $M \pm 2\sigma$ <) каждого или любого из привлеченных [2,15].

Формирование комбинационных таблиц, статистическая обработка данных осуществлялась в системе управления базами данных «Microsoft Access 2019» с использованием прикладных статистических программ Biostatics v. 4.03, Statistica v.6.0, значимость различий между фактическими количественными частотами встречаемых распределений в выборках, рассчитывали по критерию Пирсона (X^2). Различия считались статистически значимыми при $p < 0,05$ [16].

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

По показателям соматометрии гендерные различия проявились в статистически значимых ($p < 0,05$) больших значениях ДТ, МТ и ОГКП, у юношей, соответственно на 10,8 см, на 16,0 кг и на 8,2 см. Интегральный показатель ИК2 в стандартном балльном выражении, у юношей на 2,8 балла или на 10,8 % выше относительно девушек (табл. 1). По средним данным студенты имели нормальную МТ в контексте регионального стандарта физического развития [14].

Статистически значимые отличия были определены и по физиометрическим показателям, за исключением ДАД и ЧСС. Так, у юношей ЖЕЛ была больше на 32,8 %, чем у девушек, СПК – на 36,7 %, СЛК – на 36,2 %. САД у лиц обеих групп

было в пределах границ нормы, но у юношей было статистически значимо выше на 5,19 %, а ДАД – на 0,13 %, ЧСС– на 1,1 %. Верхние значения допустимых интервалов ДАД и ЧСС у всех наблюдаемых лиц выходили за верхние границы стандартных, референтных значений (табл. 1).

Таблица 1.
Абсолютные значения соматометрических и физиометрических показателей респондентов, (M±σ)

№	Показатели	Юноши	Девушки	p<
		M±σ	M±σ	
1	Длина тела (ДТ), см	177,5±5,48	166,7±7,21	0,01
2	Масса тела (МТ), кг	73,9±12,48	57,9±11,03	
	ИК2 (ИМТ), у.ед.	24,1±4,12	21,5±3,37	
3	Окружность грудной клетки в покое (ОКГП), см	86,4±5,58	78,2±6,75	0,05
4	Жизненная емкость легких (ЖЕЛ), л	4,5±0,74	3,02±0,54	
5	Сила правой кисти, кг	38,1±6,58	24,1±4,49	
6	Сила левой кисти, кг	37,2±11,71	23,7±12,13	
7	САД, мм.рт.ст	119,4±8,65	113,2±7,22	0,52
8	ДАД, мм.рт.ст	74,5±7,94	74,6±6,95	
9	ЧСС, уд. в мин	79,5±11,41	80,3±10,14	

Примечание: p – достоверность различий показателей в гендерных группах

Оценка соматометрических показателей сигмальным методом, показала следующие объективные физиологические характеристики в гендерной градации. Так, по ДТ установлено некоторое преобладание доли лиц мужского пола по показателям низким и ниже среднего (22,5 % против 12,3 %) и преобладание у девушек по величинам выше среднего и высокая (29,2 % против 4,0 %). По МТ, наоборот, 66,2 % юношей входили в группы низкая и ниже среднего, против 12,5 % у девушек, а также по ОГК (41,2 % против 48,8 %). Частотные распределения долевых показателей имели статистически значимые различия (табл. 2).

Результаты центильной оценки показателей соматометрии обращали внимание на преобладание в 2,5 раза у юношей лиц с очень низкими и низкими значениями ДТ, а также у девушек повышенными и высокими – в 4,2 раза. По ОКГ у юношей преобладали также эти критерии: в 1,7 раза больше, однако с учетом пониженных значений ОКГ у девушек, доля лиц, входящих в 1-3 ЦИ была больше, чем у юношей. По МТ в 1-3 ЦИ доля девушек превалировала в 3,2 раза. При этом обращало внимание значимые различия по критериям очень низкие и низкие в группе женского пола: различия в 2,9 раза. Частотные распределения долевых показателей имели статистически значимые различия как в согласовании по полу, так и с региональным стандартом (табл. 3).

Таблица 2.

Паттерны распределения факторов по сигмальным показателям, характеризующим соматические показатели организма(абс.вел./%)

Сигмальные отклонения	Эталон распределения	Пол	
		Юноши	Девушки
Длина тела (см.)			
Низкая (M - < 2σ)	3	4,0/5,0	2,0/1,0
Ниже среднего (M - 1-2σ)	22	14,0/17,5	26,0/11,3
Средняя (M ± 1σ)	50	58,0/72,5	136,0/58,8
Выше среднего (M +1-2σ)	22	2,0/2,0	63,0/27,2
Высокая (M + > 2σ)	3	2,0/2,0	4,0/2,0
Статистика:	X^2 по полу = 25,037; cc= 4; p < 0,001 X^2 с эталоном(юноши) = 21,792; cc= 4; p < 0,01 X^2 с эталон(девушки) = 6,120; cc= 4;p < 0,191		
Масса тела (кг.)			
Низкая (M - < 2σ)	3	14,0/17,5	0,0/0,0
Ниже среднего (M - 1-2σ)	22	39,0/48,7	29,0/12,5
Средняя (M ± 1σ)	50	21,0/26,3	183/79,2
Выше среднего (M +1-2σ)	22	6,0/7,5	17,0/7,4
Высокая (M + > 2σ)	3	0,0/0,0	2,0/1,0
Статистика:	X^2 по полу = 66,719; cc= 4; p < 0.001 X^2 с эталоном(юноши) = 38,040; cc= 4; p < 0.001 X^2 с эталон(девушки) = 20,592; cc= 4;p < 0.001		
Окружность грудной клетки в покое (см.)			
Низкая (M - < 2σ)	3	7,0/8,7	19,0/8,2
Ниже среднего (M - 1-2σ)	22	26,0/32,5	94,0/40,6
Средняя (M ± 1σ)	50	37,0/46,2	66,0/28,5
Выше среднего (M +1-2σ)	22	8,0/10,1	40,0/17,3
Высокая (M + > 2σ)	3	2,0/2,5	12,0/5,2
Статистика:	X^2 по полу = 7,078; cc= 4; p < 0,132 X^2 с эталоном(юноши) = 38,341; cc= 4; p < 0,043 X^2 с эталон(девушки) = 20,136; cc= 4;p < 0,006		

В возрастно-половой группе юношей значимо (p<0,001) преобладают лица с макросоматическим соматотипом, при этом у девушек их доля меньше, чем у юношей на 73,3 %. У девушек значимо (p<0,001) больше микросоматических типов в 3,3 раза или на 37 % в сравнении. Мезосоматический, нормальный тип телосложения практически в равных долях свойственно от 41,13 до 58,75 % наблюдаемых представителей. Мезосоматический и макросоматический соматотипы, наоборот, определялись в меньших долях у девушек, соответственно в 4,3 раза и в 5,5 раза, чем у юношей (табл. 4).

Таблица 3.

Характеристика соматометрических показателей учащихся по центильным интервалам (ЦИ, %)

Половая принадлежность	Центильные интервалы (ЦИ)							
	1	2	3	4	5	6	7	8
	Эталон распределения (%)							
	3%	7%	15%	25%	25%	15%	7%	3%
	Длина тела(см)							
Юноши	5	7	3	26	8	48	2	1
Девушки	3	1	3	21	27	32	11	2
Статистика:	X^2 по полу = 25,160; $cc=7$; $p < 0,01$ X^2 с эталоном(юноши) = 38,341; $cc=7$; $p < 0,01$ X^2 с эталон(девушки) = 20,136; $cc=7$; $p < 0,01$							
	Масса тела(кг)							
Юноши	9	7	3	26	8	48	2	1
Девушки	19	28	19	23	4	3	2	2
Статистика:	X^2 по полу = 63,312; $cc=7$; $p < 0,01$ X^2 с эталоном(юноши) = 40,778; $cc=7$; $p < 0,01$ X^2 с эталон(девушки) = 50,975; $cc=7$; $p < 0,01$							
	Окружность грудной клетки (см)							
Юноши	5	12	6	19	28	15	6	9
Девушки	3	7	24	38	14	7	5	2
Статистика:	X^2 по полу = 31,070; $cc=7$; $p < 0,01$ X^2 с эталоном(юноши) = 14,067; $cc=7$; $p > 0,05$ X^2 с эталон(девушки) = 11,304; $cc=7$; $p > 0,05$							

Таблица 4.

Характеристика темпового соматотипа учащихся, (абс./%)

Половая принадлежность	Темповый соматотип			
	Микро.	Мезо.	Макро.	Все:
Юноши	12,0/15,00	47,0/58,75	21,0/26,25	80,0/25,72
Девушки	120,0/51,95	95,0/41,13	16,0/6,93	231,0/74,28
Все:	132,0/42,44	142,0/45,66	37,0/11,40	311,0/100,00
Статистика:	X^2 по полу = 34,612; $cc=2$; $p < 0,001$			

Оценка морфофункциональных показателей показала, что гармоничное развитие в целом в наблюдаемой группе являлись две трети юношей и девушек, одна третья часть имела дисгармоничное. Лица с резко дисгармоничным развитием не были выявлены. Среди юношей доля гармонично развитых была в 55 % больше, нежели дисгармонично, а у девушек – только в 44,6 %.

Возрастно-половое, межгрупповое сравнение показало у юношей гармоничных студентов больше на 5,21 %, а дисгармоничных юношей меньше относительно девушек на 5,20 %. Разница по половому признаку не представлялась статистически значимой или характеризуется как тенденциозная (табл. 5).

Таблица 5.

Характеристика гармоничности морфофункционального развития учащихся, (абс. /%)

Половая принадлежность	Гармоничность		Все:
	Да	Нет	
Юноши	62,0/77,50	18,0/22,5	80,0/25,72
Девушки	167,0/72,29	64,0/27,7	231,0/74,28
Все:	229,0/73,60	82/26,37	311,0/100,00
Статистика:	X^2 по полу = 0,658; $cc=1$; $p < 0,481$		

Полученные нами данные по морфофункциональным показатели декларированы в пределах возрастно-половых норм. Существенное статистически значимое превышение антропометрических показателей у наблюдаемых юношей относительно девушек сохраняется после завершения ростовых процессов в конце подросткового и в начале и развитии юношеского периода, тем самым подтверждая генетическую гендерную программу развития [12, 17]. Подобные изменения были установлены и в нашем исследовании. Показан возрастно-половой приоритет в пользу юношей значимо большими величинами антропометрии и физиометрии: ДТ, МТ и ОГКП, ЖЕЛ, СПК, СЛК. САД и ДАД. Отмечены более высокие параметры гемодинамики ДАД и ЧСС у всех наблюдаемых: верхние значения выходили за пределы референтных границ, а у юношей, кроме того, превышение САД и над показателями в женской когорте, в отличие от ДАД и ЧСС.

Известно, что сердечно-сосудистая деятельность определяет и умственную, и физическую работоспособность, адаптированность организма, поскольку обеспечивает его снабжение кислородом и питательными веществами [5, 20]. В нашем исследовании у студентов была выявлена повышенная ЧСС, показатели ДАД выходили за референтные границы. Возможно одной из причин данных изменений является нарушение регуляторных функций нервной системы, обусловленное учебными нагрузками [12], и проявляющееся в изменениях хронотропной функции сердца (ЧСС) и регуляции тонуса периферических сосудов (ДАД). Это позволяет предположить о наличии стрессового состояния у значительной доли обследованных студентов.

В наблюдаемой группы преобладали девушки с микросоматическим соматотипом (замедленным темпом развития), что, вероятно, отражало продолжение процесса активной адаптации организма к учебной нагрузке, а также повышенной двигательной активности в этот период роста и развития [2, 7, 9, 11]. Причем, по половому признаку установлены значимые различия: у девушек было

больше доля лиц с микросоматическим соматотипом, у юношей – больше с мезосоматическим и макросоматическим.

Установлено выраженное правостороннее смещение распределений в сторону увеличения (выше среднего и высокая) по ДТ, в наблюдаемых возрастно-половых группах. Однако представительство девушек находится в приоритете относительно юношей по ДТ, Юношам свойственен более выраженный приоритет в правостороннем смещении или в представительстве повышенных и высоких центильных интервалов ДТ. По показателям МТ у девушек левостороннее у юношей правостороннее смещение в значимом ($p < 0,01$) проценте распределений. ОГК у девушек отмечено левостороннее смещение (в сторону уменьшения) показателей. У юношей значения ОГК практически в равных долях распределялись в обе стороны.

При сравнении с эталонными сигмальными значениями (соответствие региональным стандартам) тотальных размеров тела оказалось, что и у юношей, и у девушек было определено правостороннее смещение по ДТ (в сторону больших размеров), соответственно, выше среднего и высокая в 2,2 и 2,4 раза, и уменьшение доли низкая и ниже среднего – уменьшение в 1,2 и 1,8 раза. По МТ, наоборот, левостороннее смещение за счет ниже среднего и низкое, соответственно выше, чем эталонные значения, в 2,1 и 3,3 раза; уменьшение выше среднего и высокая – в 1,7 и 5,4 раза. По ОГК у юношей размеры отклонялись от средней величины и влево, и вправо, а у девушек – в сторону меньших значений.

Важнейшими показателями, характеризующими адекватность роста и развития человека, являются функциональные показатели организма, которые аналогично модифицируются как в процессе взросления, так и чутко реагируют на условия экзосреды обитания [2, 12, 13]. В нашей выборке высокие показатели ЧСС свидетельствовали о преобладании симпатических влияний в вегетативной обеспеченности процессов регуляции и тоне вегетативной нервной системы в ответ на интенсивную учебную нагрузку студентов. Высокая ЧСС ассоциируется с недостаточной кардиореспираторной функцией, негативно влияет на прогрессирование сердечных патологий: коронарного атеросклероза, ишемии миокарда, желудочковых аритмий и др. [18–21].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Среди обследованных студентов 77,50 % юношей и у 72,29 % девушек морфофункциональное развитие гармоничное. Доля юношей, гармонично развитых в 5,2 %, больше, чем девушек и на столько же процентов меньше, чем имеющих дисгармоничное развитие.
2. Основным темпом развития является нормальный: в целом по группе у 45,66 % лиц: для юношей и девушек в 58,75 % и 41,13 % случаев, соответственно.
3. Общим для обеих возрастно-половых групп является соматометрический паттерн с высокими и вышесреднего показателями ДТ (22,5 % и 12,3 %); низкая и ниже среднего МТ, 7,5 % и 8,4 %; низкая и ниже среднего ОГК у девушек 48,8 %, у юношей – 41,2 % и 12,6/22,5 % выше среднего и высокая.

Список литературы

1. Грекова А. Р. Антропометрия / А. Р. Грекова. – Красноярск : СФУ, 2011. – 123 с.
2. Кучма В. Р. Гигиена детей и подростков: учебник / В. Р. Кучма. – М.: ГЭОТАР-Медиа, 2015. – 528 с.
3. Barzylovych A. The influence of medical services public management on the population' life quality. / A. Barzylovych, Y. Ursakii, A. Nadezhdenko, T. Mamatova // WSEAS Transactions on Environment and Development. – 2021. – № 17. – P. 619–629.
4. Сетко А. Г. Особенности условий обучения студентов медицинского вуза / А. Г. Сетко, С. П. Тришина, С. А. Кудисов // Здоровье населения и среда обитания. – 2016. – № 7(280). – С. 17–19.
5. Ибрагимова Э. Э. Перспективы использования методов биологического контроля качества окружающей среды / Э. Э. Ибрагимова // Ученые записки Крымского инженерно-педагогического университета. Серия: Биологические науки. – 2023. – № 2. – С. 9–16.
6. Артюхов И. П. Оценка состояния здоровья студентов высших учебных заведений города Красноярск / И. П. Артюхов, Д. С. Каскаева // Сибирское медицинское обозрение. – 2014. – № 6 (90). – С. 61–64.
7. Ляпин В. А. Состояние здоровья и особенности образа жизни студентов в период обучения в вузе / В. А. Ляпин, И. П. Флянку, Т. М. Любошенко // Научный медицинский вестник. – 2015. – № 1 (1). – С. 29–39.
8. Abraham S. College students eating habits and knowledge of nutritional requirements / S. Abraham, B. R. Noriega, J. Y. Shin // Journal of Nutrition and Human Health. – 2018. – № 2. – P. 13–17.
9. Шестёра А. А. Гигиенические аспекты здоровья студентов младших курсов медицинского университета / А. А. Шестёра, К. М. Сабирова, П. Ф. Кикю, Е. В. Каерова // Здоровье населения и среда обитания. – 2021. – № 3 (336). – С. 18–24.
10. Лучкевич В. С. Медико-социальные и гигиенические особенности образовательного процесса и условий обучения студентов на младших курсах медицинского вуза / В. С. Лучкевич, И. Л. Самодова, А. П. Фигуровский и др. // Вестник Северо-Западного государственного медицинского университета им. И. И. Мечникова. – 2014. – № 6 (1). – С. 98–103.
11. Нагирная Л. Н. К вопросу о формировании гигиенических знаний у студентов учреждений высшего и среднего профессионального медицинского образования г. Владивостока / Л. Н. Нагирная, Ю. В. Титова, В. В. Скварник // Здоровье населения и среда обитания. – 2020. – № 12 (333). – С. 30–37.
12. Ибрагимова Э. Э. Мониторинг уровня стресса обучающихся как подход профилактики нарушения регуляторных механизмов / Э. Э. Ибрагимова // Ученые записки Крымского федерального университета им. В. И. Вернадского. Социология. Педагогика. Психология. – 2019. – Т. 5 (71). – № 2. – С. 83–90.
13. Милушкина О. Ю. Гигиеническая характеристика образа жизни современной студенческой молодежи / О. Ю. Милушкина, Н. А. Скоблина, С. В. Маркелова и др. В кн.: Здоровье молодежи: новые вызовы и перспективы. – Москва. 2019. – С. 32–44.
14. Оценочные центильные таблицы нормативов физиологических показателей, физического, психологического развития детей, подростков, призывников, молодежи, взрослого населения Нижегородской области. Утверждены приказом министра здравоохранения Нижегородской области № 315-795/22П/од от 16.09.2022 г.
15. Гланц С. Медико-биологическая статистика. / С. Гланц. – М.: Практика, 1998. – 459 с.
16. Баврина А. П. Современные правила использования методов описательной статистики в медико-биологических исследованиях / А. П. Баврина // Медицинский альманах. – 2020. – № 2(63). – С. 95–104.
17. Потехина Ю. П. Особенности опорно-двигательного аппарата у студентов / Ю. П. Потехина, А. А. Курникова, И. Г. Стельникова, Н. К. Эделева // Морфология. – 2019. – № 155 (2). – С. 234.
18. Blum M. Estimating male and female height inequality / M. Blum // Estimating Economics & Human Biology. – 2014. – № 14. – С. 103–108.

19. Gruziova T. S. Health and lifestyle of students' youth: status, problems and ways of solution / T. S. Gruziova, L. I. Galiienko, I. M. Pelo, S. T. Omelchuk, O. Y. Antonuk // *Wiadomości Lekarskie*. – 2018. – № 71(9). – S. 1753–1758.
20. Ибрагимова Э. Э. Особенности регуляторных механизмов и показателей гемодинамики современных обучающихся высшей школы средней полосы и юга России / Э. Э. Ибрагимова, Е. А. Калюжный // *Ученые записки Крымского федерального университета имени В. И. Вернадского. Биология. Химия*. – 2021. – Т. 7. – № 2. – С. 69–79.
21. Морфофункциональное состояние и адаптационные возможности учащихся образовательных учреждений в современных условиях: монография / Е. А. Калюжный; ПИМУ, ННГУ. – Арзамас: АФ ННГУ, 2020. – 328 с.

MORPHOLOGICAL AND FUNCTIONAL PATTERN OF ADOLESCENT STUDENTS IN THE CONTEXT OF MODERN EDUCATION

Kalyuzhny E. A.¹, Ibragimova E. E.², Emirova D. E.², Puzhak S. A.¹

¹Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Volga Research Medical University» of the Ministry of Health of Russia, Nizhny Novgorod, Russian Federation

*²State Budgetary Educational Institution of Higher Education of the Republic of Crimea «Crimean Engineering and Pedagogical University named after Fevzi Yakubov», Simferopol, Russian Federation
E-mail: eakmaill@mail.ru*

The article presents the results of a study of the age-sex characteristics of the harmony of morphofunctional development and somatotype of adolescent students (80 boys and 231 girls) in modern education.

It was found that the boys were characterized by statistically significant large values of length, body weight and chest circumference by 10,8 cm, 16,0 kg and 8,2 cm, lung capacity (by 32,8 %), strength of the right (by 36,7 %) and left (by 36,2 %) hands. The upper values of diastolic pressure and heart rate went beyond the reference the borders. Systolic pressure in young men was significantly higher by 5,19 %; DBP – by 0,13 %, heart rate – by 1,1 %, did not differ significantly. Body weight was assessed as normal. The groups were dominated by individuals with mesosomatic somatotype with a general predominance of micro over macrosomatic by 31,04 %. Almost three quarters of boys and girls are harmoniously developed, the rest are disharmonious.

A slow pace of physical development of students was revealed. Evidence of the tension of the body's adaptation mechanisms is an increase in heart rate and DBP, more pronounced in young men.

The authors came to the conclusion that the most important indicators characterizing the adequacy of human growth and development are functional indicators of the organism, which are similarly modified both in the process of maturation and responsive to the conditions of exo-environmental habitat. In our sample, high heart rate indicators testified to the predominance of sympathetic influences in the autonomic provision of regulation processes and the tone of the autonomic nervous system in response to the intensive academic load of students. High heart rate is associated with insufficient cardiorespiratory

function, negatively affects the progression of cardiac pathologies: coronary atherosclerosis, myocardial ischemia, ventricular arrhythmias and other disorders.

Keywords: students, somatotype, anthropometric indicators, hemodynamic parameters, morphofunctional development, age-sex patterns.

References

1. Grekova A. R. *Anthropometry* (Krasnoyarsk, SFU, 2011).
2. Kuchma V. R. *Hygiene of children and adolescents: textbook*. (Moscow: GEOTAR-Media, 2015).
3. Barzylovych A., Ursakii Y., Nadezhdenko A., Mamatova T. The influence of medical services public management on the population' life quality, *WSEAS Transactions on Environment and Development*, **17**, 619 (2021).
4. Setko A. G., Trishina S. P., Kudisov S. A. Features of the learning conditions of medical university students. *Public health and habitat*, **7**, 280, 17 (2016).
5. Ibragimova E. E., Prospects of using methods of biological control of environmental quality, *Scientific notes of the Crimean Engineering and Pedagogical University series: biological sciences*, **2**, 9 (2023).
6. Artyukhov I. P., Kaskayeva D. S., Assessment of the state of health of students of higher educational institutions of the city of Krasnoyarsk, *Siberian Medical Review*, **6**, 90, 61 (2014)
7. Lyapin V. A., Flanku I. P., Lyuboshenko T. M., The state of health and lifestyle of students during their studies at the university, *Scientific Medical Bulletin*, **1**, 1, 29 (2015).
8. Abraham S., Noriega B. R., Shin J. Y., College students eating habits and knowledge of nutritional requirements, *Journal of Nutrition and Human Health*, **2**, 13 (2018).
9. Shester A. A., Sabirova K. M., Kiku P. F., Kaerova E. V., Hygienic aspects of health of undergraduate students of the medical University, *Public health and habitat*, **3**, 336, 18 (2021).
10. Luchkevich V. S., Samodova I. L., Figurovsky A. P., etc., Medical, social and hygienic features of the educational process and conditions of students' education in the junior courses of a medical university, *Bulletin of the I.I. Mechnikov Northwestern State Medical University*, **6**, 1, 98 (2014).
11. Nagirnaya L. N., Titova Yu. V., Skvarnik V. V., On the formation of hygienic knowledge among students of institutions of higher and secondary professional medical education in Vladivostok, *Public health and habitat*, **12**, 333, 30 (2020).
12. Ibragimova E. E., Monitoring the stress level of students as an approach to preventing violations of regulatory mechanisms, *Scientific notes of the V.I. Vernadsky Crimean Federal University. Sociology. Pedagogy. Psychology*, **5**, 71, 83 (2019).
13. Milushkina O. Yu., Skoblina N. A., Markelova S. V. and others, Hygienic characteristics of the lifestyle of modern students. *Youth Health: new Challenges and Prospects. Moscow*, 32 (2019).
14. Estimated centile tables of standards of physiological indicators, physical and psychological development of children, adolescents, conscripts, youth, and adults of the Nizhny Novgorod region, *Approved by Order of the Minister of Health of the Nizhny Novgorod region*, 315 (2022).
15. Glants S., *Medico-biological statistics* (Moscow, Praktika, 1998).
16. Bavrina A. P., Modern rules for the use of descriptive statistics methods in biomedical research, *Medical almanac*, **2**, 63, 95 (2020).
17. Potekhina Yu. P., Kournikova A. A., Stelnikova I. G., Edeleva N. K., Melnikov A. A., Features of the musculoskeletal system in students, *Morphology*, **155**, 2, 234 (2019).
18. Blum M., Estimating male and female height inequality, *Economics & Human Biology*, **14**, 103 (2014).
19. Gruzieva T. S., Galiienko L. I., Pelo I. M., Omelchuk S. T., Antonuk O. Y., Health and lifestyle of students' youth: status, problems and ways of solution, *Wiadomości Lekarskie*, **71**, 9, 1753 (2018).
20. Ibragimova E. E., Kalyuzhny E. A., Features of regulatory mechanisms and hemodynamic parameters of modern students of higher education in the middle zone and the south of Russia, *Scientific notes of the V.I. Vernadsky Crimean Federal University. Biology. Chemistry*, **7**, 2, 69 (2021).
21. Kalyuzhny E. A. *Morphofunctional state and adaptive capabilities of students of educational institutions in modern conditions: monograph* (Arzamas: AF UNN, 2020).

УДК 616.831-008.6+612.821+159.91

DOI 10.29039/2413-1725-2024-10-4-103-110

СВЯЗЬ РЕАКТИВНОСТИ СЕНСОМОТОРНЫХ РИТМОВ ЭЭГ С ПОКАЗАТЕЛЯМИ ТЕСТОВ У ДЕТЕЙ С ДЦП ПОСЛЕ ПРОХОЖДЕНИЯ ТРЕНИНГОВ С ПРИМЕНЕНИЕМ КОМПЛЕКСА «ЭКЗОКИСТЬ-2»

Кезик Е. В.¹, Власенко С. В.², Кайда А. И.¹, Орехова Л. С.¹, Бирюкова Е. А.¹

¹ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет им. В. И. Вернадского, Симферополь,
Республика Крым, Россия

²Научно-исследовательский институт детской курортологии, физиотерапии и
медицинской реабилитации, Евпатория, Республика Крым, Россия
E-mail: vlasenko65@rambler.ru

Целью настоящего исследования явился анализ связи между реактивностью сенсомоторных мю- (8–13 Гц) и бета- (15–25 Гц) ритмов ЭЭГ с показателями тестов у детей с ДЦП в результате комплексного санаторно-курортного лечения, включающего сеансы нейрореабилитации. В исследовании приняли участие 50 детей в возрасте 7–15 лет (35 мальчиков и 15 девочек) с диагнозом ДЦП и нарушением двигательных функций правой руки. Результаты корреляционного анализа показали наличие статистически значимых связей между реактивностью мю- и бета-ритмов ЭЭГ при представлении движения правой руки и спастичностью мышц левой руки по шкале Эшворта, а также показателей речевых навыков, таких как «оральный праксис и артикуляция» и способность составлять предложения по картинкам. Полученные данные могут быть использованы при разработке новых методов коррекции двигательной и когнитивной сферы детей с ДЦП.

Ключевые слова: дети, детский церебральный паралич, электроэнцефалограмма, мю- и бета-ритм, интерфейс мозг-компьютер, биологическая обратная связь, нейрореабилитация, речь.

ВВЕДЕНИЕ

Детский церебральный паралич (ДЦП) – заболевание, вызванное повреждением головного мозга, сопровождающееся нарушением движения и осанки, когнитивными, сенсорно-перцептивными нарушениями [1] и расстройствами речи [2]. Дети с односторонним церебральным параличом, при котором поражается преимущественно одна сторона тела, составляют 39 % от общей численности населения с ДЦП. В таких случаях верхняя конечность обычно поражается сильнее, чем нижняя и повседневная деятельность, которая преимущественно осуществляется обеими руками, может быть серьезно нарушена [3, 4].

Особенности течения заболевания у детей с ДЦП исследуют с помощью функциональных или структурных методов визуализации мозга. Функциональные методы нейровизуализации используются для изучения сетей головного мозга посредством анализа нейрофизиологических сигналов, которые можно зарегистрировать посредством электроэнцефалографии (ЭЭГ) или

магнитоэнцефалографии (МЭГ), которые напрямую отражают нейронную активность [5].

В последнее десятилетие особое внимание уделяется динамике сенсомоторных ритмов ЭЭГ, которые регистрируются над центральными областями неокортекса и состоят из двух частотных диапазонов: мю- (8–13 Гц) и бета- (15–25 Гц) ритмов [6].

Были обнаружены различия в характеристиках ЭЭГ у двух детей 12 лет с разной степенью двигательных нарушений при ДЦП. У ребенка с правосторонним гемипарезом наблюдалась десинхронизация сенсомоторного мю-ритма в момент начала движения, тогда как у ребенка с левосторонним гемипарезом десинхронизация наблюдалась за несколько мгновений до начала движения, что указывает на лучшую способность к планированию движений у ребенка с левосторонним гемипарезом [7].

Также было показано, что при ДЦП в случае одностороннего поражения, в недоминантном полушарии менее выраженное снижение индекса реактивности (ИР) мю-ритма коррелирует с высокой степенью двигательных нарушений [8]. В случае двусторонней формы ДЦП десинхронизация мю-ритма при выполнении движений у детей 5–17 лет была больше, чем у контрольной группы здоровых сверстников [9].

В настоящее время для реабилитации двигательных функций у пациентов с ДЦП все чаще используют методы, основанные на применении неинвазивных интерфейсов «мозг-компьютер» (ИМК) и принципов биологической обратной связи (БОС) [10, 11]. Данный подход к двигательному обучению основывается на воображении движений, т. е. внутреннем моделировании движения без его реального выполнения [12].

Однако лишь единичные исследования посвящены анализу изменения двигательных и речевых функций пациентов до и после комплексного лечения с применением неинвазивных ИМК. В связи с этим, целью настоящей работы явился анализ связи между реактивностью сенсомоторных мю- (8–13 Гц) и бета- (15–25 Гц) ритмов ЭЭГ с показателями тестов у детей с ДЦП в результате комплексного санаторно-курортного лечения, включающего применение комплекса «Экзокисть-2».

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В исследовании приняли участие 50 детей в возрасте 7–15 лет (35 мальчиков и 15 девочек) с диагнозом ДЦП и нарушением двигательных функций правой руки. Исследования проводились на базе центра «Технологии здоровья и реабилитации» Крымского федерального университета им. В. И. Вернадского, а также Государственного бюджетного учреждения Республики Крым «Санаторий для детей и детей с родителями «Чайка» им. Гелиловичей» для детей с неврологическими нарушениями.

Дети проходили комплексное санаторно-курортное лечение с курсом нейрореабилитации из 10 сеансов с применением комплекса, включающего неинвазивный ИМК и экзоскелет кисти «Экзокисть-2» (производства ООО «Экзопласт», г. Москва). Регистрация ЭЭГ осуществлялась по общепринятой методике с помощью электроэнцефалографа Нейровизор БММ-52 («Медицинские

Компьютерные Системы»; Россия). ЭЭГ-потенциалы отводили монополярно в 32 отведениях, которые были расположены по неполной международной схеме 10–10. Частоты среза фильтров высоких и низких частот составляли, соответственно, 5 и 30 Гц, частота оцифровки ЭЭГ-сигналов – 500 Гц. В качестве референтного использовался усредненный электрод.

Дети проходили по 10 сеансов БОС, во время которых сидели в кресле перед компьютером и получали визуальные инструкции: расслабиться, кинестетически вообразить движение разгибания кисти левой или правой руки, воздерживаясь от их реального выполнения. При успешном выполнении пациентом задания на представление движения фиксирующая взор метка окрашивалась в зеленый цвет, экзоскелет выполнял соответствующее движение, и кисть руки пассивно разгибалась. Таким образом, генерировался комбинированный зрительный и кинестетический сигнал обратной связи (подробнее [13]).

Для оценки изменений биоэлектрической активности головного мозга пациентов при прохождении курса нейрореабилитации анализировали изменения амплитуды мю- и бета-ритмов ЭЭГ в частотных диапазонах 8-13 и 15-25 Гц, соответственно, в следующих отведениях: F3, Fz, F4, FC3, FCz, FC4, C3, Cz, C4, CP3, CPz, CP4, P3, Pz, P4. Временные отрезки ЭЭГ, использованные для анализа, соответствовали времени предъявления пациенту визуальной инструкции о представлении движения правой рукой и составляли 10 с. Артефакты исключались из обработки на основании визуального анализа. Безартефактные отрезки ЭЭГ разбивали на эпохи по 5 сек с перекрытием 30% и подвергали быстрому преобразованию Фурье. Анализировали не менее 10 безартефактных эпох (общая продолжительность ЭЭГ не менее 50 с) с использованием программного обеспечения фирмы «Нейрософт» (Россия).

Рассчитывали индексы реактивности (ИР) сенсомоторных ритмов при представлении детьми движений правой рукой в соответствии с формулой $ИР = \ln(B / A)$ [14], где B – амплитуда ритма на последнем сеансе, A – амплитуда ритма на первом сеансе. Данные подвергали логарифмированию для нормализации распределения. Значения $ИР > 0$ свидетельствуют об увеличении амплитуды ритма на последнем сеансе по сравнению с первым (синхронизация), а $ИР < 0$ – о снижении амплитуды ритма (десинхронизация).

У детей оценивали объем движений верхних конечностей с использованием следующих шкал:

1. Индекс Бартел, характеризующий способность к самообслуживанию пациента на основе результатов заполнения соответствующего опросника [15]. Чем выше возможности, тем выше балл (диапазон от 0 до 100 баллов).
2. Модифицированная шкала спастичности Эшворта (Modified Ashworth Scale, MAS) для оценки уровня спастичности при определении степени сопротивления пассивным движениям по 5-ти балльной шкале (от 0 до 4).
3. Шкала «Возможности кисти-дети» (ABILHANDKids) – тест оценки родителями двигательной функции верхней конечности ребенка в быту (3 степени возможности выполнения навыка: «невозможно», «трудно», «легко») [16].

Также проводили нейропсихологическую диагностику речевой патологии у детей, оценивая уровень моторной реализации высказывания по трем методикам [17].

1. Исследование орального праксиса и артикуляционной моторики (оценка движений губ, языка, надувания щек по инструкции или по образцу). Максимальная оценка – 30 баллов.

2. Исследование звукопроизнесения (повторение слов). Максимальная оценка – 30 баллов

3. Составление предложений по картинкам (ребенку демонстрируется ряд картинок, например, «мальчик моет руки», которые ему необходимо описать одним предложением). Максимальная оценка – 45 баллов.

Данные электрофизиологического исследования и показатели психологических тестов количественно обрабатывались посредством стандартных методов вариационной статистики с помощью программы Statistica 12 (StatSoft Inc., США). Для расчета корреляций использовали коэффициент корреляции Спирмена. Коэффициенты корреляции считались статистически значимыми при уровне $p < 0,05$.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Результаты корреляционного анализа показали наличие статистически значимых связей между индексом реактивности сенсомоторных ритмов ЭЭГ во время представления движения разгибания кисти правой руки и показателями тестов у детей с ДЦП после прохождения курса нейрореабилитации. Так, было выявлено, что после прохождения курса тренировок БОС большим значениям ИР сенсомоторного мю-ритма в отведении СР4 при воображении движений правой рукой соответствовала более низкая спастичность мышц левой руки по шкале Эшворта: локтя ($r = -0,43$; $p = 0,019$), запястья ($r = -0,48$; $p = 0,008$) и пальцев ($r = -0,43$; $p = 0,019$). Чем больше был процент падения мю-ритма в отведении Сz в данной экспериментальной ситуации, тем ниже был тонус локтя правой руки по шкале Эшворта ($r = 0,39$; $p = 0,038$).

Также, чем больше снижалась амплитуда мю-ритма ЭЭГ в отведении Рz при представлении движений правой рукой, тем были лучше показатели двигательной функции верхней конечности ребенка в быту по Шкале «Возможности кисти – дети» ($r = 0,58$; $p = 0,038$). В данной экспериментальной ситуации росту амплитуды мю-ритма в отведении СР4 соответствовал более высокий уровень моторной реализации высказывания (Оральный праксис и артикуляция ($r = 0,4$; $p = 0,03$)), а также лучшая способность составлять предложения по картинкам ($r = 0,51$; $p = 0,005$).

Расчет коэффициентов корреляции по Спирмену для сенсомоторного бета-ритма ЭЭГ выявил, что большим значениям ИР данного ритма в отведении СР4 при воображении движений правой рукой, соответствовали более низкие показатели спастичности мышц левой руки по шкале Эшворта (локоть ($r = -0,45$; $p = 0,015$), запястье ($r = -0,48$; $p = 0,008$), пальцы ($r = -0,45$; $p = 0,015$)). Чем больше росла амплитуда бета-ритма в отведении Р4 при выполнении детьми движений правой рукой, тем были выше показатели способности к самообслуживанию по Шкале Бартел ($r = 0,57$; $p = 0,02$). Также, росту амплитуды бета-ритма в отведении СР4 соответствовали более высокие баллы при тестировании орального праксиса и артикуляции ($r = 0,41$; $p = 0,03$), а также при составлении предложений по картинкам ($r = 0,51$; $p = 0,005$).

В проводимом исследовании используемая в ИМК программа обеспечивает выявление намерения выполнить движение на основе анализа паттерна сенсомоторных ритмов ЭЭГ, генерацию визуального сигнала обратной связи и формирование команд управления экзоскелетом кисти руки. Анализ взаимосвязей динамики амплитуды сенсомоторных ритмов ЭЭГ и показателей двигательных и речевых функций у детей с ДЦП после прохождения курса нейротерапии показал, что синхронизация мю- и бета-ритмов ЭЭГ в отведении СР4 при представлении движения правой руки связана с более низкой спастичностью мышц левой руки по шкале Эшворта. При этом, большая десинхронизация мю-ритма в отведении Cz связана со снижением тонуса локтя правой руки по данной шкале. Известно, что рост синхронизации сенсомоторных мю- и бета-ритмов рассматривают как отражение процессов торможения в областях неокортекса, контролирующих моторные функции [5, 18], что необходимо при планировании и более точном выполнении движения. Мы предполагаем, что выявленный рост амплитуды сенсомоторных ритмов может лежать в основе наблюдаемых у детей благоприятных изменений подвижности верхних конечностей.

Нами получены данные, свидетельствующие о связи реактивности сенсомоторных ритмов ЭЭГ и показателей речевых навыков, таких как «оральный праксис и артикуляция» и способность составлять предложения по картинкам. Результаты исследования подтверждают теорию о том, что улучшение функций рук детей с ДЦП после серии сеансов нейрореабилитации сопровождается ростом показателей речевых навыков. Основой таких изменений может быть усиления процессов пластичности нейронных цепей моторных и сенсомоторных зон неокортекса и находящихся рядом речевых зон [19].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенное исследование подтвердило наличие связи между реактивностью сенсомоторных мю- и бета-ритмов ЭЭГ при представлении движений правой рукой с показателями двигательных функций и речевых навыков у детей с ДЦП в результате комплексного санаторно-курортного лечения, включающего применение комплекса «Экзокисть-2».

В настоящем исследовании вновь показана эффективность комплексного санаторно-курортного лечения ДЦП с курсом нейрореабилитации на основе применения неинвазивного интерфейса «мозг–компьютер–экзоскелет кисти», а полученные данные могут быть использованы при разработке новых методов коррекции двигательной и когнитивной сферы детей с ДЦП.

Данная работа финансировалась за счет средств гранта Российского научного фонда и Республики Крым № 22-15-20035, <https://rscf.ru/project/22-15-20035/>.

Список литературы

1. Fluss J. Cognitive and academic profiles in children with cerebral palsy: A narrative review / J. Fluss, K. Lidzba // Ann Phys Rehabil Med. – 2020. – Vol. 63, Is. 5. – P. 447–456 <https://doi.org/10.1016/j.rehab.2020.01.005>.

2. Немкова С. А. Речевые нарушения при детском церебральном параличе: диагностика и коррекция / С. А. Немкова // Журнал неврологии и психиатрии им. С. С. Корсакова. – 2019. – Т. 119, № 5. – С. 112–119 <https://doi.org/10.17116/jnevro2019119051112>.
3. Cioni G. MRI and clinical characteristics of children with hemiplegic cerebral palsy / G. Cioni, B. Sales, P. B. Paolicelli [et al.] // *Neuropediatrics*. – 1999. – Vol. 30. – P. 249–255 <https://doi.org/10.1055/s-2007-973499>.
4. Errante A. Mirror neuron system activation in children with unilateral cerebral palsy during observation of actions performed by a pathological model / A. Errante, G. Di Cesare, C. Pinardi [et al.] // *Neurorehabil Neural Repair*. – 2019. – Vol. 33, Is. 6. – P. 419–431 <https://doi.org/10.1177/1545968319847964>.
5. Démas J. Mu rhythm: State of the art with special focus on cerebral palsy / J. Démas, M. Bourguignon, M. Périer [et al.] // *Ann Phys Rehabil Med*. – 2020. – Vol. 63, Is. 5. – P. 439–446 <https://doi.org/10.1016/j.rehab.2019.06.007>.
6. Jenson D. The Application of EEG mu rhythm measures to neurophysiological research in stuttering / D. Jenson, A. L. Bowers, D. Hudock, T. Saltuklaroglu // *Front Hum Neurosci*. – 2020. – Vol. 10, Is. 13. – P. 458 <https://doi.org/10.3389/fnhum.2019.00458>.
7. Miziara I. M. Comparison of mu rhythm desynchronisation between children with right-side and left-side hemiparetic cerebral palsy during a voluntary movement: case study / I. M. Miziara, J. B. P. Lopes, R. D. Lazzari [et al.] // *Gait & Posture*. – 2019. – Vol. 73, Is. 1. – P. 306–307 <https://doi.org/10.1016/j.gaitpost.2019.07.176>.
8. Inuggi A. Ipsilesional functional recruitment within lower mu band in children with unilateral cerebral palsy, an event-related desynchronization study / A. Inuggi, M. Bassolino, C. Tacchino [et al.] // *Exp Brain Res*. – 2018. – Vol. 236, Is. 2. – P. 517–527 <https://doi.org/10.1007/s00221-017-5149-3>.
9. Hinchberger V. Investigation of brain mechanisms underlying upper limb function in bilateral cerebral palsy using EEG / V. Hinchberger, S. H. Kang, J. Kline [et al.] // *Clin Neurophysiol*. – 2023. – Vol. 151. – P. 116–127 <https://doi.org/10.1016/j.clinph.2023.04.006>.
10. Ларина Н. В. Комплекс «Экзокисть-2» в реабилитации верхней конечности при детском церебральном параличе с использованием неинвазивного интерфейса «мозг-компьютер» / Н. В. Ларина, Л. Л. Корсунская, С. В. Власенко // *Нервно-мышечные болезни*. – 2019. – Т. 11, № 4. – С. 12–20 <https://doi.org/10.17650/2222-8721-2019-9-4-44-50>.
11. Xie J. Rehabilitation of motor function in children with cerebral palsy based on motor imagery / J. Xie, L. Jiang, Y. Li [et al.] // *Cogn Neurodyn*. – 2021. – Vol. 15, Is. 6. – P. 939–948 <https://doi.org/10.1007/s11571-021-09672-3>.
12. Fedotova I. R. Foundation and aspects of using motor imagery and brain computer interfaces in rehabilitation of children with cerebral palsy / I. R. Fedotova, P. D. Bobrov // *IP Pavlov J Higher Nervous Activity*. – 2022. – Vol. 72, Is. 1. – P. 87–99 <https://doi.org/10.31857/S004446772201004X>.
13. Pavlenko V. B. Speech improvement in children with cerebral palsy by "brain-computer-hand exoskeleton" neurointerface rehabilitation / V. B. Pavlenko, S. V. Vlasenko, L. S. Orekhova, E. A. Biryukova // *Bulletin of RSMU*. – 2023. – Is. 4. – P. 62–67 <https://doi.org/10.24075/brsmu.2023.026>.
14. Raymaekers R. EEG study of the mirror neuron system in children with high functioning autism / R. Raymaekers, J. R. Wiersema, H. Roeyers // *Brain Res*. – 2009. – Vol. 1304. – P. 113–121 <https://doi.org/10.1016/j.brainres.2009.09.068>.
15. Mahoney F. I. Functional evaluation: The Barthel index / F. I. Mahoney, D. W. Barthel // *Md State Med J*. – 1965. – Vol. 14. – P. 61–65.
16. Bleyenheuft Y. Measuring changes of manual ability with ABILHAND-Kids following intensive training for children with unilateral cerebral palsy / Y. Bleyenheuft, A. M. Gordon, E. Rameckers [et al.] // *Dev Med Child Neurol*. – 2017. – Vol. 59, Is. 5. – P. 505–511 <https://doi.org/10.1111/dmcn.13338>.
17. Фотекова Т. А. Нейропсихологическая диагностика речевой патологии у детей / Т. А. Фотекова, Т. В. Ахутина // *Школьный психолог*. – 2001. – № 37. – С. 3–14.
18. Larionova E. V. Mu-rhythm in contemporary research: theoretical and methodological aspects / E. V. Larionova, Zh. V. Garakh, Y. S. Zaytseva // *IP Pavlov J Higher Nervous Activity*. – 2022. – Vol. 72, Is. 1. – P. 11–35 <https://doi.org/10.31857/S0044467722010051>.
19. Hodgson J. C. Hemispheric speech lateralisation in the developing brain is related to motor praxis ability / J. C. Hodgson, R. J. Hirst, J. M. Hudson // *Dev Cogn Neurosci*. – 2016. – Vol. 22. – P. 9–17 <https://doi.org/10.1016/j.dcn.2016.09.005>.

THE LINK BETWEEN SENSORIMOTOR RHYTHMS REACTIVITY OF THE EEG WITH TEST SCORES IN CHILDREN WITH CEREBRAL PALSY AFTER COMPLETING BIOFEEDBACK WITH AN EXTERNAL BRAIN COMPUTER INTERFACE "EXOKIST'-2"

Kezik E. V.¹, Vlasenko S. V.², Kaida A. I.¹, Orekhova L. S.¹, Birukova E. A.¹

¹*V. I. Vernadsky Crimean Federal University, Simferopol, Russia*

²*Research Institute of Children's Balneology, Physiotherapy and Medical Rehabilitation, Yevpatoria, Russia*

E-mail: vlasenko65@rambler.ru

The purpose of this study was to analyze the relationship between the reactivity of sensorimotor mu (8–13 Hz) and beta (15–25 Hz) EEG rhythms with test scores in children with cerebral palsy as a result of complex sanatorium treatment, including the use of the Exokist-2 complex. The study involved 50 children aged 7–15 years (35 boys and 15 girls) diagnosed with cerebral palsy and impaired motor functions of the right hand. In the current study, the program used in the IMC provides the identification of the intention to perform a movement based on the analysis of the pattern of sensorimotor rhythms of the EEG, the generation of a visual feedback signal and the formation of commands to control the exoskeleton of the hand.

The results of the correlation analysis showed the presence of statistically significant links between the index of EEG sensorimotor rhythms reactivity during the presentation of the right hand extension movement and test scores in children with cerebral palsy after undergoing a course of neurorehabilitation. EEG mu- and beta-rhythms synchronization in the C4 lead when representing the movement of the right arm is associated with lower spasticity of the muscles of the left arm on the Ashworth scale. At the same time, a large desynchronization of the mu-rhythm in the Cz lead is associated with a decrease in the tone of the right elbow on this scale. It is known that the increase in synchronization of sensorimotor mu- and beta-rhythms is considered as a reflection of the processes of inhibition in the areas of the neocortex that control motor functions, which is necessary for planning and more accurate execution of movement. We suggest that the revealed increase in the amplitude of sensorimotor rhythms may underlie the favorable changes in the mobility of the upper extremities observed in children.

We have obtained data indicating the relationship between the reactivity of sensorimotor rhythms of the EEG and indicators of speech skills, such as "oral praxis and articulation" and the ability to make sentences based on pictures. The results of the study confirm the theory that the improvement of hand functions in children with cerebral palsy after a series of neurorehabilitation sessions is accompanied by an increase in speech skills. The obtained data can be used in the development of new methods of correction of the motor and cognitive sphere of children with cerebral palsy.

Keywords: children, cerebral palsy, electroencephalogram, mu- and beta-rhythm, brain-computer interface, biofeedback, neurorehabilitation, speech.

References

1. Fluss J., Lidzba K. Cognitive and academic profiles in children with cerebral palsy: A narrative review. *Ann Phys Rehabil Med*, **63(5)**, 447 (2020).
2. Nemkova S. A. Speech disorders in infantile cerebral palsy: diagnosis and correction. *Journal of neurology and psychiatry named after. S.S. Korsakov*, **119(5)**, 112 (2019).
3. Cioni G., Sales B., Paolicelli P. B., Petacchi E., Scusa M. F., Canapicchi R. MRI and clinical characteristics of children with hemiplegic cerebral palsy. *Neuropediatrics*, **30**, 249 (1999).
4. Errante A., Di Cesare G., Pinardi C., Fasano F., Sghedoni S., Costi S., Ferrari A., Fogassi L. Mirror neuron system activation in children with unilateral cerebral palsy during observation of actions performed by a pathological model. *Neurorehabil Neural Repair*, **33(6)**, 419 (2019).
5. Démas J., Bourguignon M., Périer M., De Tiège X., Dinomais M., Van Bogaert P. Mu rhythm: State of the art with special focus on cerebral palsy. *Ann Phys Rehabil Med*, **63(5)**, 439 (2020).
6. Jensen D., Bowers A. L., Hudock D., Saltuklaroglu T. The Application of EEG mu rhythm measures to neurophysiological research in stuttering. *Front Hum Neuroscience*, **10(13)**, 458 (2020).
7. Mizlira I. M., Lopes J. B. P., Lazzari R. D., de Moura R. C. F., Albuquerque M. B., Oliveira C., Naves A. E. L. M. Comparison of mu rhythm desynchronization between children with right-side and left-side hemiparetic cerebral palsy during a voluntary movement: case study. *Gait & Posture*, **73(1)**, 306 (2019).
8. Inuggi A., Bassolino M., Tacchino C., Pippo V., Bergamaschi V., Campus C., De Franchis V., Pozzo T., Moretti P. Ipsilesional functional recruitment within lower mu band in children with unilateral cerebral palsy, an event-related desynchronization study. *Exp Brain Res*, **236(2)**, 517 (2018).
9. Hinchberger V., Kang S. H., Kline J., Stanley C. J., Bulea T. C., Damiano D. L. Investigation of brain mechanisms underlying upper limb function in bilateral cerebral palsy using EEG. *Clin Neurophysiology*, **151**, 116 (2023).
10. Larina N. V., Korsunskaya L. L., Vlasenko S. V. The "Exo hand-2" complex in the rehabilitation of the upper limb in cerebral palsy using the non-invasive interface "brain-computer". *Neuromuscular Diseases*, **9(4)**, 44 (2019).
11. Xie J., Jiang L., Li Y., Chen B., Li F., Jiang Y., Gao D., Deng L., Lv X., Ma X., Yin G., Yao D., Xu P. Rehabilitation of motor function in children with cerebral palsy based on motor imagery. *Cogn Neurodyn*, **15(6)**, 939 (2021).
12. Fedotova I. R., Bobrov P. D. Foundation and aspects of using motor imagery and brain computer interfaces in rehabilitation of children with cerebral palsy. *IP Pavlov J Higher Nervous Activity*, **72(1)**, 87 (2022).
13. Pavlenko V. B., Vlasenko S. V., Orekhova L. S., Biryukova E. A. Speech improvement in children with cerebral palsy by "brain-computer-hand exoskeleton" neurointerface rehabilitation. *Bulletin of RSMU*, **4**, 62 (2023).
14. Raymaekers R., Wiersema J. R., Roeyers H. EEG study of the mirror neuron system in children with high functioning autism. *Brain Res*, **1304**, 113 (2009).
15. Mahoney F. I., Barthel D. W. Functional evaluation: The Barthel index. *Md State Med J*, **14**, 61 (1965).
16. Bleyenheuft Y., Gordon A. M., Rameckers E., Thonnard J. L., Arnould C. Measuring changes of manual ability with ABILHAND-Kids following intensive training for children with unilateral cerebral palsy. *Dev Med Child Neurol*, **59(5)**, 505 (2017).
17. Fotekova T. A., Ahutina T. V. Neuropsychological diagnosis of the speeches of children. *Shkol'nyj psiholog*, **37**, 3 (2001).
18. Larionova E. V., Garakh Zh. V., Zaytseva Y. S. Mu-rhythm in contemporary research: theoretical and methodological aspects. *IP Pavlov J Higher Nervous Activity*, **72(1)**, 11 (2022).
19. Hodgson J. C., Hirst R. J., Hudson J. M. Hemispheric speech lateralisation in the developing brain is related to motor praxis ability. *Dev Cogn Neurosci*, **22**, 9 (2016).

УДК 572.087

DOI 10.29039/2413-1725-2024-10-4-111-121

АНТРОПОМЕТРИЧЕСКИЕ И КАРДИОВАСКУЛЯРНЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ ДЕВУШЕК НОВОСИБИРСКА В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ТИПА КОНСТИТУЦИИ

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

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

Приводятся данные исследования морфофункциональных показателей у девушек 18 лет разных типов конституции (82 девушки, распределенные по типам: астенический, нормостенический и гиперстенический). Изучали следующие морфофункциональные показатели: длину и массу тела, обхват грудной клетки, обхват талии, обхват бедер. Осуществляли расчёт индексов: Кетле, Пинье, стени, Эрисмана, Рорера, «талия/бедро», Кердо, функциональных изменений, а также рассчитывали пульсовое давление, двойное произведение, систолический объем крови, минутный объем кровообращения, среднединамическое давление, общее периферическое сосудистое сопротивление, жировую массу тела, активную клеточную массу тела. По результатам исследования сформирован морфофункциональный индивидуально-типологический «портрет» каждого типа конституции.

Ключевые слова: девушки, тип конституции, индивидуально-типологический морфофункциональный «портрет».

ВВЕДЕНИЕ

Изучение конституции человека имеет многовековую историю [1]. Физическое развитие рассматривается как один из важнейших показателей физического здоровья человека, а тип конституции человека отражает уровень и гармоничность физического развития.

Конституция определяет компонентный состав организма человека (жировой, мышечный, костный) и такие физические показатели, как индекс массы тела, длина тела (рост), обхват грудной клетки и др., а также особенности развития и закономерности изменения под действием различных факторов [2–4].

Тип телосложения определяет предрасположенность к возникновению различных типов заболеваний [5]. Так, патологии психоэмоционального характера, заболевания дыхательной или пищеварительной систем больше свойственны астеникам. Нормостеники склонны к заболеваниям верхних дыхательных путей и опорно-двигательного аппарата. У гиперстеников имеется высокий риск развития различных типов ожирения.

Тип конституции человека влияет на функциональное состояние системы кровообращения, а также на адаптационный потенциал системы кровообращения к условиям обучения в вузе [6]. Тип конституции также определяет особенности

микроциркуляции крови и механизмы регуляции данного процесса (доминирование вазомоторной, метаболической, нейрогенной регуляции или их сбалансированность) [7].

Обменные процессы в организме также находятся в зависимости от типа конституции, что в свою очередь может служить фактором развития различных заболеваний.

Часть исследований посвящена реакции организма девушек разных типов конституций на различные факторы. Так, исследование студенток Красноярского медицинского университета [8] показало, что представительницы разных типов конституции по-разному реагируют на пищевую нагрузку. Исследование Alvero-Stuz J. R. с соавт. [9] выявило склонность девушек разных соматотипов к определенным формам расстройства пищевого поведения.

Люди разных соматотипов имеют разные пищевые потребности, т.е. конституция конкретного человека влияет на характер его питания. Исследование студенток в возрасте от 16 до 20 лет [10] продемонстрировало, например, склонность к разному потреблению жиров у девушек разных соматотипов.

Другие работы показывают, что физические показатели и компонентный состав тела не в последнюю очередь зависят от географических и климатических условий, а также от численности населенного пункта, в котором проживает человек [11, 12].

Тип телосложения влияет и на подвижные качества организма, его готовность выполнять различные физические упражнения, реакцию на физические нагрузки разной степени [13–15]. Особенности конституции могут быть фактором мышечного дисбаланса [16], что негативно влияет на здоровье человека. Все это важно учитывать, например, при организации занятий по физической культуре: требования должны соответствовать особенностям телосложения студенток, их физическим и физиологическим показателям.

Данная тематика остаётся открытой для дальнейших исследований с целью формирования индивидуальной нормы и понимания интегральных основ формирования типа конституции [17]. Необходимость изучения этого вопроса является причиной выбора темы исследования. Целью настоящего исследования явился анализ антропометрических и кардиоваскулярных показателей у девушек г. Новосибирска в зависимости от типа конституции. Для реализации поставленной цели необходимо было решить следующие задачи:

1. Изучить морфофункциональные показатели у девушек 18 лет разных типов конституции;
2. Сформировать морфофункциональный индивидуально-типологический «портрет» каждого типа конституции.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В исследовании приняли участие 82 здоровые девушки 18 лет (студентки ФГБОУ ВО «Новосибирский государственный педагогический университет»). На проведение исследования получено разрешение этического комитета Новосибирского государственного педагогического университета (№ 34 от

24. 04. 2019 г.). Отбор обследуемых проводили сплошной выборкой среди здоровых девушек после получения информированного добровольного согласия.

Для выделения типа конституции были использованы следующие антропометрические показатели: длина (ДТ), масса тела (МТ), обхват грудной клетки (ОГК), которые измеряли по унифицированным методикам. Индекс Пинье (ИП) служил для оценки типа конституции по Черноруцкому М. В.: $ИП = ДТ - (МТ + ОГК)$. Девушки, имеющие ИП более 30, были отнесены к астеническому типу конституции (А), при ИП от 10 до 30 – к нормостеническому типу (Н) и при ИП менее 10 – к гиперстеническому типу.

Исследование морфофункциональных параметров проводили по следующим показателям: ДТ и МТ, ОГК, обхват талии (ОТ), обхват бедер (ОБ). Осуществляли расчет индексов: Кетле [$ИК = МТ (кг) / ДТ (м^2)$]; Пинье [$ИП = ДТ (см) - (МТ (кг) + ОГК (см))$]; стени [$ИС = ДТ (см) / (2 \times МТ (кг) + ОГК (см))$]; Эрисмана [$ИЭ = (ОГК (см) - ДТ (см)) / 2$]; Рорера [$ИР = М (кг) / ДТ (м^3)$]; «талия/бедро» [$ИТБ = ОТ / ОБ$]; Кердо [$ИК = (1 - ДАД / ЧСС) \times 100$]; функциональных изменений [$ИФИ = 0,011ЧСС + 0,014САД + 0,008ДАД + 0,014В + 0,009МТ - 0,009ДТ - 0,27$], а также рассчитывали пульсовое давление [$ПД = САД - ДАД$]; двойное произведение [$ДП = (ЧСС \times САД) / 100$]; систолический объем крови [$СОК = 100 + 0,5ПД - 0,6ДАД - 0,6В$]; минутный объем кровообращения [$МОК = СОК \times ЧСС$]; среднединамическое давление [$СДД = ДАД + 0,42ПД$]; общее периферическое сосудистое сопротивление [$ОПСС = (СДД \times 1330) \times 60 / МОК$]; жировую массу тела [$ЖМТ = (МТ \times \% \text{ жира}) / 100$]; активную клеточную массу тела [$АКМ = МТ - ЖМТ$].

Компонентный состав тела оценивали методом биоимпедансного анализа на анализаторе Omron BF-508 и определяли количество общего и висцерального жира. Артериальное давление определяли осциллометрическим методом на автоматическом электронном анализаторе Omron-907.

Полученный материал обработан общепринятыми методами статистики. Статистическая обработка данных 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 правилом трёх сигм.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Сравнительный анализ антропометрических параметров у девушек в зависимости от типа конституции выявил значимые различия по исследуемым показателям (табл. 1).

ДТ как генетически детерминированный параметр характеризует состояние пластических процессов в организме. Анализ данного показателя не выявил статистически значимых отличий между исследуемыми группами, что свидетельствует об окончании роста в данном возрастном периоде. МТ, как показатель, характеризующий конституциональные особенности развития костной и мышечной систем организма, является более лабильным параметром. Установлено, что МТ, ОГК, ОТ, ОБ, индекс Кетле, индекс Рорера и индекс Эрисмана статистически значимо увеличивались в ряду от астенического к гиперстеническому

типу конституции, что свидетельствует о менее плотном телосложении у девушек астенического типа и более плотном у девушек гиперстенического типа.

Таблица 1
Антропометрический статус девушек в зависимости от типа конституции (M±m)

Показатели	А (n=16, 19%)	Н (n=45, 55%)	Г (n=21, 26%)	Достоверность
Длина тела, см	163,2±1,0	163,9±0,9	162,7±1,0	
Масса тела, кг	48,9±1,2	57,1±0,7	79,5±2,2	А-Н***, А-Г***, Н-Г***
ОГК, см	77,7±0,8	84,5±0,4	98,0±1,4	А-Н***, А-Г***, Н-Г***
ОТ, см	62,8±0,8	67,9±0,5	86,1±1,9	А-Н***, А-Г***, Н-Г***
ОБ, см	89,3±0,8	94,4±0,5	110,3±1,5	А-Н***, А-Г***, Н-Г***
Индекс Кетле, баллы	18,3±0,3	21,2±0,2	30,0±0,7	А-Н***, А-Г***, Н-Г***
Индекс Рорера, кг/м ³	11,2±0,1	13,0±0,13	18,5±0,5	А-Н***, А-Г***, Н-Г***
Индекс Эрисмана, баллы	-3,9±0,8	2,6±0,4	16,6±1,3	А-Н***, А-Г***, Н-Г***
Индекс стени	0,9±0,01	0,83±0,01	0,6±0,01	А-Н***, А-Г***, Н-Г***
ИТБ	0,7±0,01	0,7±0,004	0,8±0,01	А-Н*, А-Г***, Н-Г***
% общего жира	22,2±0,8	31,3±0,5	45,0±1,0	А-Н***, А-Г***, Н-Г***
% внутреннего жира	2,0±0,1	3,0±0,1	5,4±0,2	А-Н***, А-Г***, Н-Г***
ЖМТ, кг	11,0±0,6	18,0±0,4	36,3±1,7	А-Н***, А-Г***, Н-Г***
АКМ, %	37,9±0,7	39,1±0,7	43,2±0,7	А-Г***, Н-Г***

Примечание. А – астеники; Н – нормостеники; Г – гиперстеники; * различия значимы при $p \leq 0,05$; ** при $p \leq 0,01$; *** при $p \leq 0,001$.

Индекс стени характеризует интенсивность ростовых процессов и тип телосложения человека. Более высокий индекс стени был выявлен в группе девушек астенического типа, а низкий – у девушек гиперстенического типа конституции.

Конституциональные особенности организма адекватным образом отражают также показатели, полученные методом биоимпедансометрии [18]. Так, % общего жира, % внутреннего жира, жировая масса тела статистически значимо увеличивались в ряду А-Н-Г. Активная клеточная масса тела (клетки мышц и органов, нервные клетки) была выше у девушек гиперстенического типа по сравнению с другими группами.

Таким образом, индексы Кетле, Рорера, ИТБ, Эрисмана и стении являются линейными конституционально-зависимыми и отражают индивидуально-типологические особенности физического развития девушек 18 лет.

На следующем этапе работы были оценены кардиоваскулярные показатели девушек разных типов конституции (табл. 2).

Таблица 2

Кардиоваскулярный статус девушек в зависимости от типа конституции (M±m)

Показатели	А (n=16, 19%)	Н (n=45, 55%)	Г (n=21, 26%)	Достоверность
ЧСС, уд/мин	74,2±3,2	74,5±1,3	74,0±1,4	
САД, мм рт. ст.	105,9±2,2	105,8±1,1	116,4±2,2	А-Г**, Н-Г***
ДАД, мм рт. ст.	63,6±1,7	63,3±0,9	71,9±1,5	А-Г**, Н-Г***
СОК, мл	72,1±1,2	72,4±0,8	68,0±1,2	А-Г*, Н-Г*
МОК, л	5,3±0,2	5,4±0,1	5,0±0,1	Н-Г*
ОПСС, дин*см/см ⁵	1253,8±43	1227,4±25,6	1467,7±48,8	А-Г***, Н-Г***
Среднединамическое давление	81,4±1,7	81,1±0,5	90,6±1,5	А-Г**, Н-Г***
ИФИ	1,4±0,06	1,3±0,03	1,6±0,04	А-Г**, Н-Г***
Индекс Робинсона, у.е.	79,3±4,6	79,0±1,8	86,3±2,5	Н-Г*
ПД, мм.рт.ст.	42,3±1,3	42,5±0,9	44,5±1,8	
Индекс Кердо	-17,1±4,3	-18,6±2,1	-4±2,6	А-Г*, Н-Г***

Примечание: А – астеники; Н – нормостеники; Г – гиперстеники; * различия значимы при $p \leq 0,05$; ** при $p \leq 0,01$; *** при $p \leq 0,001$.

Сердечно-сосудистая система является индикатором адаптационно-приспособительной деятельности организма, обеспечивая функционирование всех органов и систем за счет доставки кислорода, питательных веществ. Для определения выраженности адаптационных реакций используют различные гемодинамические показатели и их динамику: систолический объем крови (СОК), минутный объем крови (МОК), частота сердечных сокращений (ЧСС), артериальное давление (АД) [19].

Установлено, что ЧСС достоверно не отличалась между обследуемыми группами, в то время как САД и ДАД было выше у представителей гиперстенического типа конституции, что может свидетельствовать об их предрасположенности к нейроциркуляторной дистонии по гипертоническому типу. СОК и МОК статистически значимо ниже у девушек гиперстенического типа конституции по сравнению с другими типами, что может быть обусловлено повышением общего периферического сосудистого сопротивления. Следует отметить, что во всех группах данный показатель был ниже $2000 \text{ дин} \cdot \text{с} \cdot \text{см}^{-5}$. Это свидетельствует о состоянии высокой степени адаптации обследуемых девушек [20].

Для оценки уровня функционирования системы кровообращения и определения ее адаптационного потенциала был использован индекс функциональных изменений. Количественная оценка адаптационного потенциала характеризует связь между миокардиально-гемодинамическим и структурно-метаболическим гомеостазом. В основе данного подхода лежит концепция о сердечно-сосудистой системе как индикаторе общих адаптационных реакций целостного организма [21]. Установлено, что у девушек гиперстенического типа конституции данный показатель статистически значимо выше по сравнению с аналогичными показателями других типов, что свидетельствует об их более низких адаптационных возможностях системы кровообращения. При этом, согласно данным Нифонтовой Л. Н., Павловой Г. В. [22], у всех обследуемых функциональные возможности системы кровообращения были достаточными.

Показатель двойного произведения (индекс Робинсона) отражает работу левого желудочка и косвенно коронарный кровоток. По данному показателю можно судить об экономичности деятельности сердечно-сосудистой системы. Меньшая величина двойного произведения свидетельствует о более экономичном использовании ресурсов сердечной мышцы. Меньший показатель двойного произведения выявлен у девушек нормостенического типа конституции, что свидетельствует о большем уровне экономичности деятельности сердечно-сосудистой системы по сравнению с представителями гиперстенического типа. Полученные данные отражают закономерность, выявленную ранее на юношеском этапе онтогенеза у представителей мужского пола [17].

Пульсовое давление определяется по разности величин систолического и диастолического. Пульсовое давление вызывает живой интерес исследователей: появились убедительные факты прогностического значения его повышения для оценки риска сердечно-сосудистых исходов [23, 24]. Анализ полученных результатов не выявил статистически значимых отличий между обследуемыми группами.

Сердечно-сосудистая система, участвуя в процессах адаптации, подвергается существенному влиянию автономной нервной системы. Оценка соотношения вегетативных влияний на функциональное состояние миокарда осуществлялась по индексу Кердо. Анализ позволил выявить, что у девушек гиперстенического типа данный показатель был статистически выше по сравнению с другими типами, что

свидетельствует о большем преобладании симпатических влияний в деятельности вегетативной нервной системы.

В результате исследования выявлены значимые морфофункциональные различия у девушек 18 лет в зависимости от типа конституции, что позволило сформировать морфофункциональный индивидуально-типологический «портрет» (табл. 3). Полученные данные могут быть использованы в прикладных профессиональных сферах: спортивная ориентация, психолого-педагогическая и лечебно-профилактическая деятельность и пр.

Таблица 3
Индивидуально-типологический морфофункциональный «портрет» девушек разных типов конституции

Показатели	Конституциональные типы		
	А	Н	Г
Антропометрический статус	Низкая плотность телосложения	Средняя плотность телосложения	Высокая плотность телосложения
Кардиоваскулярный статус	Высокий уровень адаптационных возможностей системы кровообращения	Высокий уровень адаптационных возможностей системы кровообращения	Низкий уровень адаптационных возможностей системы кровообращения
	Высокий уровень экономичности деятельности сердечно-сосудистой системы	Высокий уровень экономичности деятельности сердечно-сосудистой системы	Низкий уровень экономичности деятельности сердечно-сосудистой системы Высокий показатель АД

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

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

1. У девушек разных типов конституции выявлены статистически значимые различия по большинству морфофункциональных показателей.
2. Составлен индивидуально-типологический морфофункциональный «портрет» девушек 18 лет, позволяющий охарактеризовать особенности физического здоровья представителей каждого типа конституции.

Список литературы

1. 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. – doi: 10.25629/НС.2024.01.02
2. Колокольцев М. М. Особенности физического развития студенток вуза с учетом типа конституции / М. М. Колокольцев // Вестник Иркутского государственного технического университета. – 2015. – № 4(99). – С. 287–292.
3. Перепелкин А. И. Морфофункциональное состояние стоп девушек 16–20 лет при дозированной нагрузке в зависимости от соматотипа / А. И. Перепелкин, В. Б. Мандриков, А. И. Краюшкин, А. С. Пикалов // Вестник новых медицинских технологий. – 2012. – Т. 19, № 2. – С. 190–192.
4. Клочкова С. В. Особенности жировой составляющей тела девушек в связи с конституциональной спецификой / С. В. Клочкова, И. В. Погонченкова, Е. А. Рожкова [и др.] // Журнал анатомии и гистопатологии. – 2018. – Т. 7, № 2. – С. 34–38.
5. Коледаева Е. В. Гендерные особенности антропометрических параметров у студентов медиков разных соматотипов / Е. В. Коледаева, С. Б. Петров, С. В. Потехина [и др.] // Вятский медицинский вестник. – 2021. – № 2(70). – С. 39–42. – doi: 10.24411/2220-7880-2021-10173
6. Тимофеева А. В. Функциональное состояние сердечно-сосудистой системы студенток I курса СВФУ им. М. К. Аммосова / А. В. Тимофеева, А. Е. Михайлова, Р. Н. Захарова [и др.] // Якутский медицинский журнал. – 2015. – № 4(52). – С. 18–20.
7. Цехмистренко Т. А. Индивидуально-типологические особенности состояния микроциркуляции крови у девушек / Т. А. Цехмистренко, Т. И. Станишевская // Регионарное кровообращение и микроциркуляция. – 2006. – Т. 5, № 1(19). – С. 51–57.
8. Фефелова Ю. А. Изменение активности кислой фосфатазы в лимфоцитах и гранулоцитах периферической крови у девушек разных соматотипов в ответ на пищевую нагрузку / Ю. А. Фефелова, В. Г. Николаев, Л. А. Нагирная [и др.] // Байкальский медицинский журнал. – 2008. – Т. 80, № 5. – С. 46–49.
9. Alvero-Cruz J. R. Somatotype Components as Useful Predictors of Disordered Eating Attitudes in Young Female Ballet Dance Students / J. R. Alvero-Cruz, V. P. Mathias, J. C. García-Romero // Journal of Clinical Medicine. – 2020. – Vol. 9, No 7. – P. 2024. – doi: 10.3390/jcm9072024
10. Фефелова В. В. Особенности потребления макронутриентов и энергии у девушек разных соматотипов с различным содержанием жирового, мышечного и костного компонентов тела / В. В. Фефелова, Ю. А. Фефелова, Т. П. Колоскова [и др.] // Вопросы питания. – 2016. – Т. 85, № 2. – С. 24–30.
11. Гайворонский И. В. Сравнительная характеристика индекса массы тела лиц молодого возраста в различных регионах России / И. В. Гайворонский, А. А. Семенов, В. В. Криштоп // Морфология. – 2022. – Т. 160, № 2. – С. 101–110. – doi: 10.17816/morph.112394
12. Пашкова И. Г. Характеристика анатомических компонентов тела и распределения соматотипов у девушек в условиях Карелии / И. Г. Пашкова // Экология человека. – 2011. – № 5. – С. 24–30.
13. Godoy-Cumillaf A. Somatotipo y rangos de movilidad articular de cadera y rodilla en estudiantes universitarios [Somatotype joint mobility and ranges of hip and knee of college students] / A. Godoy-Cumillaf, P. Valdés-Badilla, A. García Sandoval [et al.] // Nutricion Hospitalaria. – 2015. – Vol. 32, No 6. – P. 2903–2909. Spanish. – doi: 10.3305/nh.2015.32.6.9808
14. Марков К. К. Особенности двигательных качеств студенток вуза с учетом соматотипов конституции их организма / К. К. Марков // Современные наукоемкие технологии. – 2016. – № 3-2. – С. 377–381.
15. Скляренко А. В. Исследование особенностей морфофункционального состояния и физической подготовленности студенток специальной медицинской группы различных соматотипов с учетом заболеваемости / А. В. Скляренко, О. А. Немова, М. В. Котова // Ученые записки университета им. П. Ф. Лесгафта. – 2020. – № 5(183). – С. 407–411. – doi: 10.34835/issn.2308-1961.2020.5.p407-411
16. Krzykała M. Morphological asymmetry, sex and dominant somatotype among Polish youth / M. Krzykała, M. Karpowicz, R. Strzelczyk [et al.] // PLoS One. – 2020. – Vol. 15, No 9. – P. e0238706. – doi: 10.1371/journal.pone.0238706

17. Суботьялов М. А. Морфофункциональные и психофизиологические особенности юношей г. Новосибирска в зависимости от типа конституции / М. А. Суботьялов // Морфология. – 2020. – Т. 158, № 4-5. – С. 87–92. – doi: 10.34922/AE.2020.158.4.013
18. Гайворонский И. В. Биоимпедансометрия как метод оценки компонентного состава тела человека (обзор литературы) / И. В. Гайворонский, Г. И. Ничипорук, И. Н. Гайворонский, Н. Г. Ничипорук // Вестник Санкт-Петербургского университета. Медицина. – 2017. – № 12(4). – С. 365–384.
19. Радышевская Т. Н. Анализ показателей вегетативной регуляции и системной гемодинамики у студентов на различных этапах адаптации к учебному процессу / Т. Н. Радышевская, И. В. Старикова, Н. В. Питерская // Вестник Волгоградского государственного медицинского университета. – 2020. – № 1(73). – С. 102–105. – doi: 10.19163/1994-9480-2020-1(73)-102-105
20. Рубанович В. Б. Морфофункциональное развитие детей и подростков разных конституциональных типов в зависимости от двигательной активности: специальность 03.00.13: автореферат диссертации на соискание ученой степени доктора медицинских наук / Рубанович Виктор Борисович. – Томск, 2004. – 50 с.
21. Баевский Р. М. Оценка адаптационных возможностей организма и риск развития заболеваний / Р. М. Баевский, А. П. Берсенева. – М.: Медицина, 1997. – 234 с.
22. Нифонтова Л. Н. Физическая культура для людей, занятых малоподвижным трудом / Л. Н. Нифонтова, Г. В. Павлова. – М.: Советский спорт, 1993. – 46 с.
23. Mancia G. 2007 Guidelines for the management of arterial hypertension: The Task Force for the Management of Arterial Hypertension of the European Society of Hypertension (ESH) and of the European Society of Cardiology (ESC) / G. Mancia, G. De Backer, A. Dominiczak [et al.] // Eur. Heart. J. – 2007. – Vol. 28, No 12. – P. 1462–1536. – doi: 10.1093/eurheartj/ehm236
24. Weiss A. Pulse pressure predicts mortality in elderly patients / A. Weiss, M. Boaz, Y. Beloosesky [et al.] // J. Gen. Intern. Med. – 2009. – Vol. 24(8). – P. 893–896. – doi: 10.1007/s11606-009-1008-7

ANTHROPOMETRIC AND CARDIOVASCULAR INDICATORS OF GIRLS IN NOVOSIBIRSK DEPENDING ON THE TYPE OF CONSTITUTION

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

*Novosibirsk state pedagogical University, Novosibirsk, Russia
E-mail: subotyalov@yandex.ru*

The decrease in the indicators of physical health of young people in our country has increased the need for scientific and analytical work on integral issues of medical anthropology. In this regard, the relevance of the individual typological (constitutional) approach in the comprehensive study of the body is scientifically justified and demanded by time. The purpose of this study was to analyze anthropometric and cardiovascular parameters in Novosibirsk girls depending on the type of constitution.

Material and methods of research. The data of the study of morphofunctional indicators in girls aged 18 years of different types of constitution (82 girls, distributed by types: asthenic, normosthenic and hypersthenic) are presented. The following morphofunctional parameters were studied: body length and weight, chest circumference, waist circumference, hip circumference. The indices were calculated: Quetelet index, Pinier index, stenia index, Erisman index, Rohrer index, waist/hip index, Kerdo index, pulse pressure, double product, systolic blood volume, minute circulation volume, average

dynamic pressure, total peripheral vascular resistance, index of functional changes, body fat mass, active the cellular mass of the body.

Results and discussion. According to the results of the study, a morphofunctional individual typological "portrait" of each type of constitution was formed.

Characteristics of asthenics: low body mass index, chest girth, waist and hip girth, Quetelet, Rohrer and Erisman indices, % total fat, % internal fat, body fat mass, high index of stenia, adaptive capabilities of the circulatory system and efficiency of the cardiovascular system.

Characteristics of normosthenics: average body weight, chest circumference, waist and hip circumference, Quetelet, Rohrer and Erisman indices, % total fat, % internal fat, body fat mass, average stenia index, high level of adaptive capabilities of the circulatory system and efficiency of the cardiovascular system.

Characteristics of hypersthenics: high body mass index, chest girth, waist and hip girth, Quetelet, Rohrer and Erisman indices, % total fat, % internal fat, body fat mass, low index of stenia, high index of active cellular body mass, low level of adaptive capabilities of the circulatory system and efficiency of cardiovascular activity systems, high blood pressure.

Conclusions. As a result of the study, significant morphofunctional differences were revealed in girls aged 18 years, depending on the type of constitution, which made it possible to form a morphofunctional individual typological "portrait" that allows us to characterize the features of the physical health of representatives of each type of constitution. The obtained data can be used in applied professional fields: sports orientation, psychological, pedagogical, therapeutic and preventive activities, etc.

Keywords: girls, type of constitution, individual typological morphofunctional "portrait."

References

1. Subotyalova A. M., Kozlova A. P., Subotyalov M. A. Development of ideas about constitutional human features, *Chelovecheskij Kapital*, **1(181)**, 18 (2024). doi: 10.25629/HC.2024.01.02
2. Kolokoltsev M. Physical development features of university female students considering their constitution type, *Proceedings of Irkutsk State Technical University*, **4(99)**, 287 (2015).
3. Perepyolkin A. I., Mandrikov V. B., Krayuschkin A. I., Pikalov A. S. The morphofunctional state of girl feet of 16–20 years during dosed loading depending on somatotype, *Journal of new medical technologies*, **19(2)**, 190 (2012).
4. Klochkova S. V., Pogonchenkova I. V., Rozhkova E. A. [et al.] Features of the fat component of the body of girls depending on the constitutional specifics, *Journal of Anatomy and Histopathology*, **7(2)**, 34 (2018).
5. Koledaeva E. V., Petrov S. V., Potekhina S. V. [et al.] Anthropometric and somatotype characteristics of male and female medical students, *Medical Newsletter of Vyatka*, **2(70)**, 39 (2021). doi: 10.24411/2220-7880-2021-10173
6. Timofeeva A. V., Mikhailova A. E., Zakharova R. N. [et al.] The functional state of the cardiovascular system of the NEFU named after M. K. Ammosov the I course students – girls, *Yakut Medical Journal*, **4(52)**, 18 (2015).
7. Tsekhmistrenko T. A., Stanishevskaya T. I. Individual typological features of the state of blood microcirculation in girls, *Regional Blood Circulation and Microcirculation*, **5(1(19))**, 51 (2006).

8. Fefelova Y. A., Nikolaev V. G., Nagirnaya L. A. [et al.] The changes in the activity of acid phosphatase in lymphocytes and granulocytes in peripheral blood in girls of different somatotypes as a response to food load, *Siberian Medical Journal (Irkutsk)*, **80(5)**, 46 (2008).
9. Alvero-Cruz J. R., Mathias V. P., García-Romero J. C. Somatotype Components as Useful Predictors of Disordered Eating Attitudes in Young Female Ballet Dance Students, *Journal of Clinical Medicine*, **9(7)**, 2024 (2020). doi: 10.3390/jcm9072024
10. Fefelova V. V., Fefelova Yu. A., Koloskova T. P. [et al.] Daily calorie and macronutrient consumption in girls of different somatotypes with different shares of body fat, muscle and bone components, *Problems of nutrition*, **85(2)**, 24 (2016).
11. Gaivoronsky I. V., Semenov A. A., Chrisstop V. V. Comparative characteristics of the body mass index of young persons in different regions of Russia, *Morphology*, **160(2)**, 101 (2022). doi: 10.17816/morph.112394
12. Pashkova I. G. Characteristics of the anatomical components of the body and the distribution of somatotypes in girls in Karelia, *Human Ecology*, **5**, 24 (2011).
13. Godoy-Cumillaf A., Valdés-Badilla P., García Sandoval A. [et al.] Somatotipo y rangos de movilidad articular de cadera y rodilla en estudiantes universitarios [Somatotype joint mobility and ranges of hip and knee of college students], *Nutricion Hospitalaria*, **32(6)**, 2903 (2015). Spanish. doi: 10.3305/nh.2015.32.6.9808
14. Markov K. K. Special features of the motor qualities of higher education institute students taking into account somatotypes of their organism constitution, *Modern high technologies*, **3-2**, 377 (2016).
15. Sklyarenko A. V., Nemova O. A., Kotova M. V. Investigation of the morphofunctional state and physical fitness of students of special medical group of various somatotypes considering the disease rate, *Uchenye Zapiski Universiteta imeni P.F. Lesgafta*, **5(183)**, 407 (2020). doi: 10.34835/issn.2308-1961.2020.5.p407-411
16. Krzykała M., Karpowicz M., Strzelczyk R. [et al.] Morphological asymmetry, sex and dominant somatotype among Polish youth, *PLoS One*, **15(9)**, e0238706 (2020). doi: 10.1371/journal.pone.0238706
17. Subotyalov M. A. Morpho-functional and psychophysiological characteristics of young men of Novosibirsk depending on the type of constitution, *Morphology*, **158(4-5)**, 87 (2020). doi: 10.34922/AE.2020.158.4.013
18. Gaivoronskiy I. V., Nichiporuk G. I., Gaivoronskiy I. N., Nichiporuk N. G. Bioimpedansometry as a method of the component bodystructure assessment (review), *Vestnik of Saint Petersburg University. Medicine*, **12(4)**, 365 (2017).
19. Radyshevskaja T. N., Starikova I. V., Pitserskaja N. V. Analysis of indices of autonomic nervous regulation and system hemodynamics in students at various stages of adaptation to the educational process, *Journal of Volgograd State Medical University*, **1(73)**, 102 (2020). doi: 10.19163/1994-9480-2020-1(73)-102-105
20. Rubanovich V. B. Morphofunctional development of children and adolescents of different constitutional types depending on motor activity: abstract of the dissertation for the degree of Doctor of Medical Sciences. Tomsk, 2004. 50 p.
21. Baevskii R. M., Berseneva A. P., *Assessment of the body's adaptive capabilities and the risk of developing diseases* (Moscow: Medicine, 1997).
22. Nifontova L. N., Pavlova G. V., *Physical education for people engaged in sedentary work* (Moscow: Soviet Sport, 1993).
23. Mancia G., De Backer G., Dominiczak A. [et al.] 2007 Guidelines for the management of arterial hypertension: The Task Force for the Management of Arterial Hypertension of the European Society of Hypertension (ESH) and of the European Society of Cardiology (ESC), *Eur. Heart. J.*, **28(12)**, 1462 (2007). doi: 10.1093/eurheartj/ehm236
24. Weiss A., Boaz M., Beloosesky Y. [et al.] Pulse pressure predicts mortality in elderly patients, *J. Gen. Intern. Med.*, **24(8)**, 893 (2009). doi: 10.1007/s11606-009-1008-7

УДК 574.24 (581.5)

DOI 10.29039/2413-1725-2024-10-4-122-131

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ СОДЕРЖАНИЯ ХИМИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ В НЕКОТОРЫХ ВИДАХ МАКРОФИТОВ ВОЛГО- КАСПИЙСКОГО БАССЕЙНА

Куанова А. С.¹, Ершова Т. С.¹, Чаплыгин В. А.¹, Зайцев В. Ф.¹, Матвеева А. А.¹,
Литвинова Н. В.², Шабоянц Н. Г.³

¹Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Астраханский государственный технический университет», Астрахань, Россия
²Федеральное государственное бюджетное учреждение «Астраханский ордена Трудового Красного Знамени государственный природный биосферный заповедник», Астрахань, Россия
³Федеральное государственное бюджетное учреждение высшего образования «Астраханский государственный медицинский университет» Министерства здравоохранения Российской Федерации, Астрахань, Россия
E-mail: ershova_ts@mail.ru

Выявление особенностей накопления химических элементов в макрофитах является важной задачей для оценки биогеохимического фона Волго-Каспийского бассейна. Объектами исследования являлись *Spirodela polyrhiza* и *Ceratophyllum demersum*. Отбор проб растений производился в Астраханском государственном заповеднике. Определение концентрации химических элементов осуществлялось с помощью метода атомно – абсорбционной спектрометрии. В макрофитах определялось содержание Fe, Mn, Ni, Zn, Pb, Cu, Cr, Co, Cd. В результате проведенных исследований отмечено, что железо и марганец исследованные виды растений аккумулируют в большей мере, а содержание кадмия в них минимально. У обоих видов растений обнаружена аналогичная закономерность распределения химических элементов. Сравнительный анализ содержания химических элементов в исследованных видах макрофитов показал, что *Ceratophyllum demersum* обладает способностью более эффективно концентрировать некоторые химические элементы.

Ключевые слова: *Spirodela polyrhiza*, *Ceratophyllum demersum*, Волго-Каспийский бассейн, аккумуляция, химические элементы.

ВВЕДЕНИЕ

Дельта реки Волга является концентратором большого количества минеральных, органических и загрязняющих веществ, в том числе и тяжелых металлов, поступающих со всего бассейна [1].

Эти металлы могут накапливаться в тканях и клетках растений, что приводит к различным негативным последствиям, таким как ингибирование роста, нарушение фотосинтеза и функционирования клеточных механизмов, и т. д. [2].

Дельта реки Волга представляет собой уникальный объект для исследования процессов трансформации загрязняющих веществ. Дельтовые водотоки и устьевые

отмели характеризуются небольшой глубиной (1,5–2,5 м) и высокой степенью зарастания высшей водной растительностью [1].

Высшие водные растения поглощают из воды биогенные элементы, тяжелые металлы, фенолы и др., тем самым снижая загрязненность водной среды [3]. Макрофиты обладают рядом качеств, делающих их идеальными биоиндикаторами: они широко распространены, удобны для сбора и обработки, а также имеют относительно крупные размеры. Водные растения, обитающие в прибрежной зоне водоемов, выполняют роль барьера, предотвращающего проникновение недостаточно очищенных сточных вод в водоемы и водотоки [4].

Изучению содержания химических элементов в высших водных растениях дельты Волги посвящены работы многих исследователей. Так, в 2004 году В. Ф. Бреховских, З. В. Волкова и А. В. Савенко [5] провели исследование концентрации тяжелых металлов в некоторых видах макрофитов, в том числе и в *Ceratophyllum demersum*, произрастающих в водотоках дельты Волги (Ахтуба, Бузан, Кривая Болда, Кизань). Д. В. Воробьев, Т. Д. Искра, В. Н. Кириллов [6] изучили динамику содержания микроэлементов (цинк, марганец и медь) в рогозе, рдесте, гречихе и тростнике в зависимости от стадии вегетации. Э. И. Мелякина, Ю. Т. Пименов, М. А. Мусаев, А. В. Махлун [7] выявили особенности распределения рассеянных металлов в рдестах и водорослях Северо-Западного Каспия. В 2018–2019 гг. А. Б. Имантаев и Н. Ю. Чеснокова изучали содержание тяжелых металлов в высших водных растениях морской среды Северного Каспия [8].

Несмотря на многочисленные исследования, вопрос о концентрации тяжелых металлов в макрофитах остается открытым по нескольким причинам:

- разнообразие видов и условий их произрастания. Известно, что макрофиты представляют собой обширную группу растений, обитающих в различных средах. Их способность накапливать тяжелые металлы сильно варьируется в зависимости от вида, возраста, условий произрастания (например, уровень загрязнения, рН воды, доступность питательных веществ) и других факторов.

- сложные механизмы накопления. Высшие водные растения могут накапливать тяжелые металлы как путем поглощения из воды, так и через пищевую цепь. Механизмы поглощения и накопления различаются у разных видов и могут быть связаны с биологическими процессами, такими как транслокация, метаболизм и образование комплексов.

- недостаток данных. Несмотря на проведенные ранее исследования, данные о концентрации тяжелых металлов в макрофитах по-прежнему ограничены, особенно для многих видов и регионов.

Необходимо продолжать исследования, чтобы улучшить понимание механизмов накопления тяжелых металлов в высших водных растениях, разработать эффективные методы оценки и мониторинга загрязнения тяжелыми металлами в водных экосистемах, создать базы данных о концентрации тяжелых металлов в различных видах макрофитов, разработать стратегии управления водными ресурсами, которые минимизируют в них риск загрязнения тяжелыми металлами.

Открытый характер вопроса о концентрации тяжелых металлов в высших водных растениях подчеркивает важность дальнейших исследований в этой области.

Данное исследование является частью мониторинговых работ, направленных на изучение микроэлементного состава макрофитов дельты Волги, с целью выявления индикаторных видов накопления химических элементов.

Spirodela polyrhiza и *Ceratophyllum demersum* являются представителями высшей водной растительности, играющие важную роль в очистке воды и поддержании биологического разнообразия и структуры водных сообществ.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Объектами изучения являлись представители высшей водной растительности дельты Волги: многокоренник обыкновенный (*Spirodela polyrhiza* L.) и роголистник темно-зеленый (*Ceratophyllum demersum* L.).

Отбор проб растений осуществлялся в водотоках дельты Волги на территории Дамчикского участка Астраханского государственного заповедника.

Работу осуществляли на кафедре «Гидробиология и общая экология» ФГБОУ ВО «Астраханский государственный технический университет».

При определении концентрации химических элементов в объектах исследования использовали метод атомно-абсорбционной спектроскопии согласно ГОСТ 30178-96. В макрофитах определялось содержание Fe, Mn, Ni, Zn, Pb, Cu, Cr, Co, Cd.

Содержание химических элементов выражали в мг/кг сухого вещества.

Результаты исследования обработаны статистически при помощи программного продукта Microsoft Excel 2010.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

При исследовании содержания химических элементов в *Spirodela polyrhiza* отмечено, что в наибольшем количестве аккумулировались железо и марганец (рис. 1).

Содержание железа составляло $201,43 \pm 12,5$ мг/кг, а марганца – $198,87 \pm 8,3$ мг/кг сухого вещества. Выявленные различия в значениях концентрации железа и марганца в многокореннике обыкновенном статистически незначимы ($p > 0,05$).

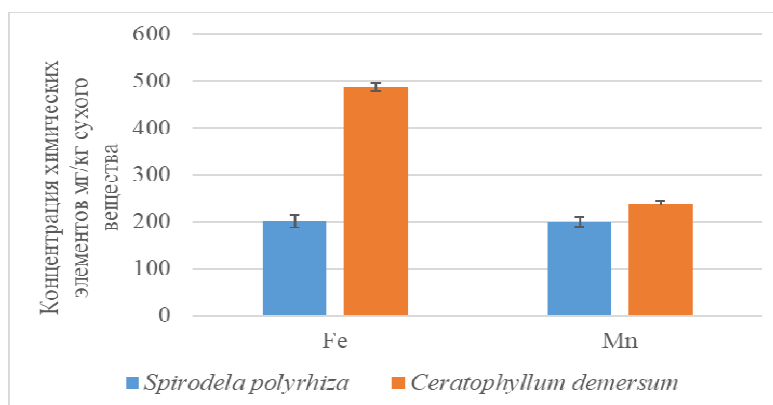


Рис. 1. Содержание Fe и Mn в *Spirodela polyrhiza* и *Ceratophyllum demersum*, мг/кг сухого вещества.

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ СОДЕРЖАНИЯ ХИМИЧЕСКИХ ...

Содержание Ni, Zn и Pb в *Spirodela polyrhiza* составляли $11,75 \pm 2,5$, $5,33 \pm 0,8$ и $4,93 \pm 0,3$ мг/кг сухого вещества соответственно (рис. 2).

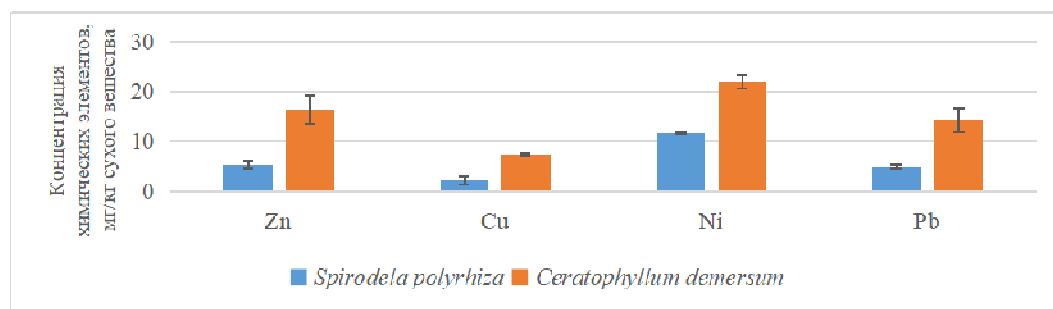


Рис. 2. Содержание химических элементов в *Spirodela polyrhiza* и *Ceratophyllum demersum*, мг/кг сухого вещества.

Концентрация кадмия составляла $0,23 \pm 0,01$ мг/кг сухого вещества, а содержание кобальта и хрома обнаружено в следовых количествах (рис. 3).

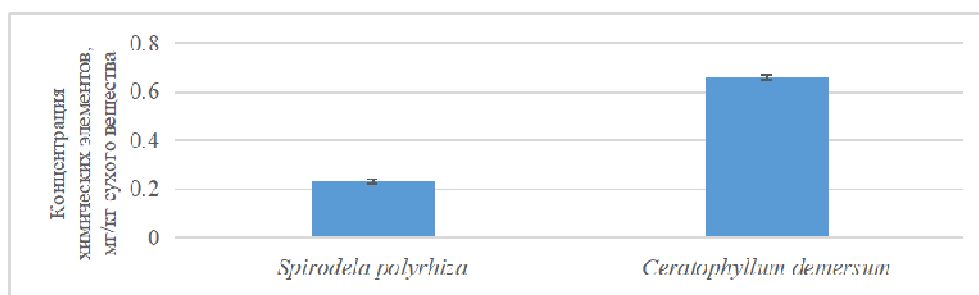


Рис. 3. Содержание кадмия в *Spirodela polyrhiza* и *Ceratophyllum demersum*, мг/кг сухого вещества.

По концентрации в *Spirodela polyrhiza* химические элементы распределялись в следующем убывающем ряду: $Fe \geq Mn > Ni > Zn \geq Pb > Cu > Cd > Cr \geq Co$.

В *Ceratophyllum demersum* в наибольшем количестве выявлено содержание железа ($486,57 \pm 9,3$ мг/кг сухого вещества), а содержание марганца составляло $240,13 \pm 4,7$ мг/кг сухого вещества, что в 2 раза меньше, чем железа (см. рис. 1). Как и у многокоренника обыкновенного у роголистника темно-зеленого концентрации остальных исследованных химических элементов на порядок ниже, чем марганца и железа. Так, концентрации Ni, Zn и Pb составляли $21,98 \pm 0,3$; $16,42 \pm 2,8$ и $14,27 \pm 2,4$ мг/кг сухого вещества соответственно (см. рис. 2). Статистических различий в значениях накопления Cu, Cr в роголистнике не отмечено ($p > 0,05$). Концентрации выше отмеченных химических элементов составляли $7,42 \pm 0,2$; $6,74 \pm 2,1$; $4,75 \pm 0,2$ его меньше всего мг/кг сухого вещества соответственно. В наименьшем количестве в растениях обнаружен кадмий, концентрация которого составляла $0,66 \pm 0,1$ мг/кг сухого вещества (рис. 3).

Средние концентрации изученных металлов в *Ceratophyllum demersum* представляют собой следующий убывающий ряд:

$Fe > Mn > Ni > Zn \geq Pb > Cu \geq Cr \geq Co > Cd$.

Сравнительный анализ содержания химических элементов в *Spirodela polyrhiza* и *Ceratophyllum demersum* показал некоторые сходства в накоплении металлов. Так, железо и марганец исследованные виды растений аккумулируют в большей мере, а содержание кадмия в них минимально. Кроме того, у обоих видов растений обнаружена аналогичная закономерность распределения химических элементов по значениям концентрации в убывающих рядах.

На основе полученных данных отмечено, что в исследованных видах макрофитов максимально присутствуют Fe, Mn, Ni, а минимально Co, Cu, Cd. Подобную закономерность у других видов высших водных растений дельты Волги ранее описали А. Ф. Бреховских, З. В. Волкова и А. В. Савенко [5]. Высокие значения железа в растениях можно объяснить тем, что железо является одним из важнейших микроэлементов, необходимых растениям для нормального роста и развития, оно участвует в процессе фотосинтеза и дыхания, т.к. оно входит в состав ферментов, отвечающих за перенос электронов в митохондриях и хлоропластах [1]. Марганец является не менее важным микроэлементом, чем железо необходимым также для фотосинтеза и других метаболических процессов у растений, поэтому растения имеют специальные механизмы поглощения и транспорта марганца из почвы или воды в свои ткани. В отличие от животных, растения не имеют эффективных механизмов выведения избыточных количеств марганца и других микроэлементов [9]. Возможно именно этим можно объяснить и высокие значения марганца в *Spirodela polyrhiza* и *Ceratophyllum demersum*. При этом растения могут накапливать большие количества марганца в своих тканях [9]. Высокие концентрации марганца могут негативно отразиться на процессах метаболизма в растениях.

Отмечено, что на одном и том же участке при одинаковых условиях произрастания в водоёмах, способность к накоплению металлов разными видами растений отличается, что связано с их специфичностью.

По сравнению с *Spirodela polyrhiza* в *Ceratophyllum demersum* выявлено более высокое содержание химических элементов. Так, в роголистнике темно-зеленом концентрация Fe, Cu и Ni выше в 2 раза, а Zn, Pb и Cd в 3 раза, чем в многокореннике обыкновенном. *Spirodela polyrhiza* – это многолетник с округлым видоизменённым побегом –листецом, плавающим на поверхности воды, обладает более сложной структурой и медленным ростом [10]. Е. В. Островская с соавторами [10] отмечали, что из-за плотной структуры и меньшей площади поверхности многокоренник обыкновенный имеет ограниченную способность к поглощению тяжелых металлов. *Ceratophyllum demersum* полностью погружен в воду и занимает большую площадь поверхности, чем многокоренник обыкновенный, что способствует большему поглощению тяжелых металлов из воды. По мнению А. П. Садчикова [4], погруженные растения накапливают тяжелые металлы в 10 раз интенсивнее прибрежно-водных и плавающих на поверхности.

Существенные отличия в концентрациях химических элементов в растениях заключается в их метаболизме. По мнению О. В. Королевой и А. Н. Королева [11], многокоренник обыкновенный, будучи высшим растением, обладает более сложным метаболизмом и способностью расщеплять и выводить некоторые токсичные вещества [11]. *Ceratophyllum demersum*, наоборот, известен более примитивной формой диссимиляционных процессов. Он не способен эффективно расщеплять и выводить токсичные вещества, в том числе тяжелые металлы. В результате, они накапливаются в тканях растений. Доказательства того, что *Ceratophyllum demersum* имеет более высокую эффективность поглощения тяжелых металлов приведены в работе А. В. Петрова [12], который показал, что *Ceratophyllum demersum* содержит в себе больше таких биосорбентов как полифенолы и лигнины, которые способствуют поглощению микроэлементов [4, 10].

Сравнивая наши данные по содержанию железа и марганца в роголистнике темно-зеленом с данными, полученными ранее А. Ф. Бреховских и Е. В. Островской [1], было выявлено, что концентрации железа и марганца в *Ceratophyllum demersum* возросли в 10 раз. Полученные нами данные относительно других исследованных химических элементов сопоставимы с данными А. Ф. Бреховских и соавторов в дельте Волги [5]. Так, концентрация Ni и Co в роголистнике темно-зеленом в наших исследованиях составила $21,98 \pm 0,3$ мг/кг и $4,75 \pm 0,2$ мг/кг сухого вещества соответственно. Согласно результатам исследования А. Ф. Бреховских, З. В. Волковой и А. В. Савенко [5] концентрация Ni составляла 20,60 мг/кг, а Co – 4,70 мг/кг сухого вещества. Это свидетельствует о том, что за последние 20 лет значительных изменений в концентрации данных металлов этими видами растений не произошло.

Сравнивая полученные нами результаты исследования по содержанию химических элементов в *Ceratophyllum demersum* дельты Волги с данными А. Б. Имантаева и Н. Ю. Чесноковой [8], которые проводили подобные исследования с этим видом растения Каспийского моря обнаружена следующая тенденция: содержание Fe, Mn, Ni, Pb, Co, Cr *Ceratophyllum demersum* в Северном Каспии в разы меньше, чем в дельте Волги. Так, например, концентрация Mn в роголистнике Северного Каспия в 4 раза меньше, а значение содержания свинца, никеля и кобальта в 2 раза меньше, чем *Ceratophyllum demersum* дельты Волги. Концентрации Zn и Cd в *Ceratophyllum demersum* дельты Волги сопоставимы с данными по концентрации этих химических элементов в растениях морской среды.

Возможно, причинами более высоких концентраций химических элементов в роголистнике темно-зеленом, обитающем в дельте Волги, является более высокое воздействие тяжелых металлов, чем в районе Северного Каспия [13].

Кроме того, дельта Волги имеет более сложную гидрологическую структуру, чем Каспийское море, с многочисленными рукавами, протоками и лагунами. Это создает условия для медленного водообмена и накопления загрязняющих веществ в дельте. В результате, роголистник темно-зеленый имеет больше времени для поглощения и накопления тяжелых металлов из речной воды, чем из морской воды Северного Каспия [11, 13].

По мнению В. Ф. Бреховских с соавторами [5] *Ceratophyllum demersum* имеет биологические особенности, которые делают его более эффективным в концентрировании металлов, чем многие другие виды растений. Поэтому даже при более низких уровнях загрязнения Северного Каспия роголистник темно-зеленый может содержать более высокие концентрации тяжелых металлов [2, 14].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, в силу биологических особенностей и широкому распространению на всех участках дельты Волги *Ceratophyllum demersum* обладает способностью более эффективно концентрировать химические элементы, такие как железо, никель, свинец и цинк из окружающей среды, чем *Spirodela polyrhiza*. В связи с этим, роголистник темно-зеленый рекомендован в качестве индикаторного вида в мониторинге загрязнения водных экосистем. В то же время комбинация антропогенных нагрузок, гидрологических условий и все тех же биологических особенностей этого вида растения приводит к более высокому содержанию в нем тяжелых металлов, если он произрастает в дельте Волги, чем в Северном Каспии.

Исследования проводились при финансовой поддержке гранта РФФИ № 23-24-10043.

Список литературы

1. Бреховских В. Ф. О влиянии стока на распределение тяжелых металлов в ее устьевом взморье / В. Ф. Бреховских, Е. В. Островская, Д. В. Катунин, З. В. Волкова // Метеорология и гидрология. – 2006. – № 2. – С. 88–97.
2. Сеницкая А. М. Сравнительный анализ токсичности соединений тяжелых металлов и источников их возникновения / А. М. Сеницкая, Е. А. Семенов, А. Ю. Олефиренко, П. А. Козуб, Г. И. Гринь // Труды международной научно-методической конференции «Экология – образование, наука и промышленность», Белгород. – 2002. – С. 213–217.
3. Фомина Е. С. Влияние высшей водной растительности на доочистку сточных вод / Е. С. Фомина, Е. А. Трошина // Сборник статей межвузовской III конференции «Современные проблемы экологии». – Житомир, 2006. – С. 150–154.
4. Садчиков А. П. Гидробиотика: прибрежно-водная растительность / А. П. Садчиков, М. А. Кудряшов – М.: Юрайт, 2022. – 254 с.
5. Бреховских В. Ф. Высшая водная растительность и накопительные процессы в дельте р. Волги / В. Ф. Бреховских, З. В. Волкова, А. В. Савенко // Аридные экосистемы. – 2009. – Т. 15, Вып. 3(39). – С. 34–45.
6. Воробьев Д. В. Физиолого-биологические и экологические основы применения микроэлементов в аквакультуре / Воробьев Д. В., Искра Т. Д., Кириллов В. Н. // ООО «Центр полиграфии по распространению научно-технической, экономической и экологической документации». – 2008. – С. 58–68.
7. Мелякина Э. И. Особенности распределения рассеянных металлов в бентосных сообществах Северо-Западного Каспия / Э. И. Мелякина, Ю. Т. Пименов, М. А. Мусаев, А. В. Махлун // Вестник АГТУ. Серия: Рыбное хозяйство. – 2013. – № 2. – С. 106–110.
8. Иммантаев А. Б. Содержание тяжелых металлов в высших водных растениях Северного Каспия / Иммантаев А. Б., Чеснокова Н. Ю. // Водное хозяйство России: проблемы, технологии, управление. – 2022. – № 1. – С. 87–96. DOI: 10.35567/19994508_2022_1_6.
9. Рогачева С. М. Влияние растворимых соединений марганца на высшие водные растения и оценка фитоэкстракционной способности растений / С. М. Рогачева, А. Ф. Каменец, Н. А. Шилова //

- Известия Самарского научного центра Российской академии наук. – 2016. – Т. 18, № 5(3). – С. 484–488.
10. Островская Е. В. Тяжелые металлы в системе «Дельта Волги – Северный Каспий» / Е. В. Островская, В. Ф. Бреховских, З. В. Волкова, С. К. Монахов, А. А. Курапов, А. Г. Кочарян // Юг России: экология, развитие. – 2008. – № 4. – С. 133–140.
 11. Королёва О. В. Метаболизм аминокислот у многокоренника (*Spirodela polyrhiza* L.) при действии хлорида меди / О. В. Королёва, А. Н. Королёв // Ботанический журнал. – 2008. – № 95(5). – С. 73–80.
 12. Петров А. В. Использование высших водных растений для очистки сточных вод от тяжелых металлов: автореф. дис. ... канд. биол. наук: 03.00.16 – экология / Петров А. В. – Москва: МГУ им. М. В. Ломоносова, 2013. – 24 с.
 13. Савенко А. В. Макро- и микроэлементный состав макрофитов пресноводной части устьевой области Волги / А. В. Савенко, В. Ф. Бреховских, О. С. Покровский // Аридные экосистемы. – 2020. – Т. 26, № 3(84). – С. 93–102.
 14. Христофорова Н. К. Биоиндикация и мониторинг загрязнения морских вод тяжелыми металлами / Н. К. Христофорова. – Л.: Наука, 1989. – 192 с.
 15. Winkels H. J. Geochronology of priority pollutants in sedimentation zones of the Volga and Danube delta in comparison with the Rhone delta / H. J. Winkels, S. B. Kroonenberg, M. Y. Lychagin // Applied Geochem. – 1998. – V. 13. – P. 581–591.

COMPARATIVE ANALYSIS OF THE CONTENT OF CHEMICAL ELEMENTS IN SOME TYPES OF MACROPHYTES OF THE VOLGA-CASPIAN BASIN

Kuanova A. S.¹, Ershova T. S.¹, Chaplygin V. A.¹, Zaitsev V. F.¹, Matveeva A. A.¹, Litvinova N. V.², Shabayants N. G.³

¹*Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Astrakhan State Technical University", Astrakhan, Russian Federation*

²*Federal State Budgetary Institution "Astrakhan Order of the Red Banner of Labor State Nature Biosphere Reserve", Astrakhan, Russian Federation*

³*Federal State Budgetary Institution of Higher Education "Astrakhan State Medical University" of the Ministry of Health of the Russian Federation, Astrakhan, Russian Federation*

E-mail: alina29-94@mail.ru

The Volga River Delta is a concentrator of a large number of mineral, organic and polluting substances, including heavy metals, coming from the entire basin. These metals can accumulate in plant tissues and cells, which leads to various negative consequences, such as growth inhibition, disruption of photosynthesis and functioning of cellular mechanisms, etc. Higher aquatic plants absorb biogenic elements, heavy metals, phenols, etc. from water, thereby reducing pollution of the aquatic environment. The objects of study were representatives of the higher aquatic vegetation of the Volga Delta: common polyrhiza (*Spirodela polyrhiza* L.) and dark green hornwort (*Ceratophyllum demersum* L.). Plant samples were collected in the watercourses of the Volga Delta on the territory of the Damchiksky section of the Astrakhan State Nature Reserve. The work was carried out at the Department of Hydrobiology and General Ecology of the Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education Astrakhan State Technical University. Atomic absorption spectrometry was used to determine the concentration of

chemical elements in the objects of study. The content of Fe, Mn, Ni, Zn, Pb, Cu, Cr, Co, Cd was determined in macrophytes. The content of chemical elements was expressed in mg/kg of dry matter.

When comparing the concentration values of chemical elements in *Spirodela polyrhiza* and *Ceratophyllum demersum*, a similarity in their accumulation was noted: Fe and Mn were found in the greatest quantities in plants, and Cd in the smallest. In addition, a similar pattern of metal distribution by concentration in descending series was found in both plant species: Fe > Mn > Ni > Zn ≥ Pb > Cu ≥ Cr ≥ Co > Cd. Based on the data obtained, it was noted that the studied macrophyte species contain the maximum amount of Fe, Mn, Ni, and the minimum amount of Co, Cu, Cd. High values of iron and manganese in plants can be explained by the fact that they are among the most important microelements necessary for normal growth and development of plants. Growing in the same area under the same conditions in water bodies, different types of macrophytes differ in species specificity in the accumulation of chemical elements. *Ceratophyllum demersum* is completely submerged in water and occupies a larger surface area than *Spirodela polyrhiza*, which contributes to greater absorption of heavy metals from water. Significant differences in the concentrations of chemical elements in plants lie in their metabolism. *Ceratophyllum demersum*, compared to *Spirodela polyrhiza*, has a more primitive form of dissimilation processes, therefore it is not able to effectively break down and remove metals, and they accumulate in its tissues. The content of Fe, Mn, Ni, Pb, Co, Cr in *Ceratophyllum demersum* in the Northern Caspian is several times lower than in the Volga Delta, and the concentrations of Zn and Cd are comparable with the data on the concentration of these chemical elements in plants of the river and marine environment. The Volga Delta has a more complex hydrological structure than the Caspian Sea, with numerous branches, channels and lagoons. This creates conditions for slow water exchange and accumulation of pollutants in the delta.

Thus, due to its biological characteristics and wide distribution in all areas of the Volga Delta, *Ceratophyllum demersum* has the ability to more effectively concentrate chemical elements such as iron, nickel, lead and zinc from the environment than *Spirodela polyrhiza*. In this regard, dark green hornwort is recommended as an indicator species in monitoring the pollution of aquatic ecosystems.

Keywords: *Spirodela polyrhiza*, *Ceratophyllum demersum*, Volga-Caspian basin, accumulation, chemical elements.

The research was carried out with the financial support of the Russian Science Foundation grant No. 23-24-10043.

References

1. Brekhovskikh V. F., Ostrovskaya E. V., Katunin D. V., Volkova Z. V. On the effect of runoff on the distribution of heavy metals in its estuarine coast, *Meteorology and hydrology*, **2**, 88 (2006).
2. Sinitskaya A. M., Semenov E. A., Olefirenko A. Yu., Kozub P. A., Grin G. I., Comparative analysis of the toxicity of heavy metal compounds and their Sources, *Proceedings of the International Scientific and Methodological Conference. the conference "Ecology - Education, science and industry"* (Belgorod, 2002), 213.

3. Fomina E. S., Troshina E. A., The influence of higher aquatic vegetation on wastewater treatment, *Collection of articles of the interuniversity III conference "Modern problems of ecology"*, (Zhytomyr, 2006), 150.
4. Sadchikov A. P., Kudryashov M. A., *Hydrobotany: coastal aquatic vegetation.*, 254 p. (Yurait, Moscow, 2022)
5. Brekhovskikh V. F., Volkova Z. V., Savenko A. V., Higher aquatic vegetation and accumulation processes in the delta of the river Volga, *Arid ecosystems*, **15**, 34 (2009)
6. Vorobyov D. V., Iskra T. D., Kirillov V. N. Physiological, biological and ecological bases of the application of trace elements in aquaculture, *ООО "Center of Printing for the dissemination of scientific, technical, economic and environmental documentation"*, 2008. pp. 58-68.
7. Melyakina E. I., Pimenov Yu. T., Musaev M. A., Makhnun A.V., Features of the distribution of scattered metals in benthic communities of the Northwestern Caspian Sea, *Bulletin of the AGTU. Series: Fisheries*, **2**, 106 (2013).
8. Imantaev A. B., Chesnokova N. Yu., The content of heavy metals in higher aquatic plants of the Northern Caspian Sea, *Water management in Russia: problems, technologies, management*, **1**, 87 (2022). DOI: 10.35567/19994508_2022_1_6.
9. Rogacheva S. M., Kamenets A. F., Shilova N. A., Effect of soluble manganese compounds on higher aquatic plants and assessment of phytoextractive ability of plants, *Proceedings of the Samara Scientific Center of the Russian Academy of Sciences*, **18**, 484 (2016)
10. Ostrovskaya E. V., Brekhovskikh V. F., Volkova Z. V., Monakhov S. K., Kurapov A. A., Kocharyan A. G., Heavy metals in the Volga Delta – Northern Caspian system, *South of Russia: ecology, development*, **4**, 133 (2008).
11. Koroleva O. V., Korolev A. N., Metabolism of amino acids in a multicore (*Spirodela polyrhiza* L.) under the action of copper chloride, *The Botanical journal*, **95**, 73 (2008).
12. Petrov A. V. *The use of higher aquatic plants for wastewater treatment from heavy metals*: abstract of thesis dis. ...cand. biol. Sciences: 03.00.16 – ecology, 24 p. (Moscow, Lomonosov Moscow State University. 2013)
13. Savenko A. V., Brekhovskikh V. F., Pokrovsky O. S., Macro- and microelement composition of macrophytes of the freshwater part of the estuary region of the Volga, *Arid ecosystems*, **26**, 93 (2020).
14. Khristoforova N. K. *Bioindication and monitoring of marine pollution by heavy metals*, 192 p. (L.: Nauka, 1989)
15. Winkels H. J., Kroonenberg S. B., Lychagin M. Y., Geochronology of priority pollutants in sedimentation zones of the Volga and Danube delta in comparison with the Rhone delta, *Applied Geochem*, **13**, 581 (1998).

УДК 591.524.11(282.247.34)

DOI 10.29039/2413-1725-2024-10-4-132-143

ДОННАЯ МАКРОФАУНА НЕКОТОРЫХ РЕК СЕВЕРО-ЗАПАДНЫХ СКЛОНОВ КРЫМСКИХ ГОР

Макаров М. В., Витер Т. В., Ковалёва М. А.

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

Приведены данные по таксономическому составу, численности, биомассе и распределению макрозообентоса в реках Чёрная, Бельбек (с притоком Коккозка) и Кача (с притоком Марта) в 2021–2022 гг. Всего обнаружено 32 таксона донной макрофауны, относящихся к типам Annelida (5), Mollusca (6) и Arthropoda (21), с максимумом в реке Чёрная – 15. Только в этой реке встречены моллюски. Наибольшая численность макрозообентоса отмечена в реке Коккозка – 900 ± 39 экз./м² с преобладанием Chironomidae lar. Максимальная биомасса приурочена к реке Чёрная ($8,862 \pm 0,269$ г/м²) с доминированием Noteridae lar. Донная макрофауна в реках распределена неравномерно.

Ключевые слова: таксон, численность, биомасса, распределение, сравнительный аспект.

ВВЕДЕНИЕ

Малые реки – самые многочисленные среди водоёмов и водотоков. Благодаря их небольшому размеру, развивающиеся в них сообщества очень чувствительны к изменению условий среды [1]. На территории Крыма протекает 1657 рек и временных водотоков. Их общая длина составляет 5996 км. В горах берут начало почти все реки Крыма, кроме малых водотоков и балок северной и восточной частей полуострова. На плоских вершинах Крымских гор вследствие развития карста поверхностные водотоки отсутствуют. 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 (Западный Булганак, Альма, Кача, Бельбек, Чёрная); южного берега Крыма (Учан-Су, Дерекойка, Авунда, Улу-Узень, Демерджи и др.); юго-восточной части и Керченского полуострова (Мелек-Чесме, Чорох-Су, Индол и др.); северных склонов гор (бассейн Салгира) [4]. Организмы макрозообентоса играют особую роль в условиях горных рек. Они активно участвуют в процессах передачи вещества и энергии, играя существенную роль в переработке органического материала, главным образом аллохтонного происхождения [5]. Бентосную фауну некоторых крымских рек северо-западных склонов Крымских гор хотя и изучали ранее, но достаточно давно, иногда только

отдельные группы животных, поэтому она по-прежнему остаётся относительно малоисследованной [6–13].

Цель нашей работы – исследовать донную макрофауну рек северо-западных склонов Крымских гор (Чёрная, Бельбек и Кача с их притоками).

Задачи: изучить таксономический состав макрозообентоса, его численность и биомассу; исследовать распределение донной макрофауны внутри рек и провести её сравнение между реками.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Пробы макрозообентоса отбирали с мая 2021 по май 2022 гг. в различных участках акватории рек Чёрная, Бельбек (с притоком Коккозка) и Кача (с притоком Марта) на глубинах около 0,1–0,2 м на рыхлых и галечниковых субстратах ручным дночерпателем площадью 0,04 м² преимущественно в двух повторностях. Данные реки находятся в юго-западном Крыму. Всего отобрано 40 проб (35 количественных и 5 качественных), из них на р. Чёрная взято 18 проб, на р. Бельбек – 8 проб (на р. Коккозка – 4 пробы), на р. Кача – 9 проб (р. Марта – 1 проба). В лабораторных условиях донную макрофауну разбирали по группам: Annelida, Mollusca и Arthropoda. Брюхоногих моллюсков (Gastropoda) разбирали живыми, остальные фиксировали 4 % раствором нейтрализованного формалина (Annelida) и 75 % спиртом (Bivalvia, Arthropoda). Определяли по [14–16]. Затем подсчитывали количество экз. в каждой пробе, взвешивали на торсионных весах с точностью до 0,001 г. Рассчитывали численность (экз.) и биомассу (г) животных на единицу площади дна (м²). Для средней численности и средней биомассы моллюсков на различных реках приведён доверительный интервал [17]. Для сравнения общности фаун в различных реках применяли коэффициент общности Чекановского-Серенсена [18]. У некоторых брюхоногих моллюсков измеряли высоту раковины (мм) штангенциркулем. Также измеряли температуру (t) воды (°C) термометром.

Характеристика рек. Река Чёрная (длина – 41 км, площадь бассейна – 436 км²) берет начало в Байдарской долине. Верховья Чёрной составляет р. Узунджа началом которой служит источник Суук-Су, расположенный у подножия склонов в 3 км выше с. Колхозного, на высоте 768 м над уровнем моря. Вода источника течет по речному руслу открытым потоком, а затем скрывается в наносах. Здесь же быстро поглощается и значительная часть поверхностного стока в паводки, и только часть воды достигает с. Родниковское, расположенного у границы гор. Река Чёрная начинается у с. Родниковское. Мощный Скульский источник дает главную часть стока реки. Кроме главного выхода подземных вод, образующего Скульский источник, вдоль русла на протяжении около полукилометра выходит ряд более мелких источников, также питающих Черную. Возле с. Родниковское средний многолетний расход составляет 1,4 м³/с. У р. Чёрная смешанное питание: родниковое, дождевое и снеговое. Она почти никогда не пересыхает, а иногда, после сильных ливней, выходит из берегов [19, 20]. В данной реке пробы макрозообентоса отбирали в мае (среднее течение, с. Хмельницкое-с. Штурмовое), июле (нижнее течение, с. Штурмовое-Инкерман), сентябре (среднее течение, с. Черноречье) 2021 г., а также в апреле 2022 г. (верхнее течение, каньон).

Река Бельбек. Длина 63 км, площадь водосборного бассейна – 505 км², уклон реки 6 м/км [21]. Здесь пробы брали в июле (с. Верхнесадовое, среднее течение) и сентябре (с. Куйбышево и окр. с. Счастливое, верхнее течение) 2021 г.

Река Коккозка – левый приток реки Бельбек. Длина 18 км, площадь водосбора 83,8 км² [21]. Пробы брали в сентябре 2021 г. выше с. Соколиное (верховье) и в с. Аромат (район устья).

Река Кача. Длина реки – 69 км, площадь водосборного бассейна – 573 км². Среднемноголетний расход воды (у с. Суворово) – 1,24 м³/с, что составляет 39 млн. м³ в год, уклон реки 8,6 м/км [21]. Пробы собирали в апреле (с. Железнодорожное, с. Фурмановка и с. Орловка – среднее и нижнее течение) и мае (Качи-Кальон и с. Верхоречье – верхнее течение) 2022 г.

Река Марта. Правый приток реки Кача, длиной 19 км и площадью бассейна 76 км² [21]. Качественная проба с камня взята в мае 2022 г. в окрестностях с. Верхоречье вблизи устья.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Всего в исследованных реках в 2021–2022 гг. отмечено 32 таксона, из них 5 относятся к Annelida, 21 – к Arthropoda, 6 – к Mollusca (Gastropoda – 4 и Bivalvia – 2) (табл. 1).

Таблица 1

Таксономический состав, средняя численность (экз./м², над чертой) и средняя биомасса (г/м², под чертой) макрозообентоса в реках северо-западных склонов Крымских гор

Таксон, река	Чёрная	Бельбек	Коккозка	Кача	Марта
1	2	3	4	5	6
ANNELIDA					
Enchytraeidae gen. sp.	<u>7</u> 0,043	<u>6</u> 0,007	<u>6</u> 0,001	<u>13</u> 0,043	<u>0</u> 0
Naididae gen. sp.	<u>3</u> 0,001	<u>0</u> 0	<u>0</u> 0	<u>38</u> 0,008	<u>0</u> 0
Aeolosomatidae gen. sp.	<u>10</u> 0,007	<u>0</u> 0	<u>0</u> 0	<u>0</u> 0	<u>0</u> 0
Lumbricidae gen. sp.	<u>0</u> 0	<u>0</u> 0	<u>0</u> 0	<u>3</u> 0,021	<u>0</u> 0
Nereididae gen. sp.	<u>0</u> 0	<u>0</u> 0	<u>0</u> 0	<u>13</u> 0,124	<u>0</u> 0
MOLLUSCA					
Pisidium sp.	<u>15</u> 1,485	<u>0</u> 0	<u>0</u> 0	<u>0</u> 0	<u>0</u> 0
Unio sp.	<u>5</u> 1,333	<u>0</u> 0	<u>0</u> 0	<u>0</u> 0	<u>0</u> 0

ДОННАЯ МАКРОФАУНА НЕКОТОРЫХ РЕК СЕВЕРО-ЗАПАДНЫХ ...

Продолжение таблицы 1

1	2	3	4	5	6
<i>Limnaea stagnalis</i> (Linnaeus, 1758)	$\frac{3}{0,755}$	$\frac{0}{0}$	$\frac{0}{0}$	$\frac{0}{0}$	$\frac{0}{0}$
Nudibranchia gen. sp.	$\frac{2}{0,002}$	$\frac{0}{0}$	$\frac{0}{0}$	$\frac{0}{0}$	$\frac{0}{0}$
<i>Planorbis</i> sp.	$\frac{2}{0,002}$	$\frac{0}{0}$	$\frac{0}{0}$	$\frac{0}{0}$	$\frac{0}{0}$
<i>Theodoxus fluviatilis</i> Linnaeus, 1758	$\frac{77}{2,38}$	$\frac{0}{0}$	$\frac{0}{0}$	$\frac{0}{0}$	$\frac{0}{0}$
ARTHROPODA					
Hydraenidae gen. sp. lar.	$\frac{0}{0}$	$\frac{31}{0,008}$	$\frac{106}{0,006}$	$\frac{0}{0}$	$\frac{0}{0}$
Haliplidae gen. sp. lar.	$\frac{0}{0}$	$\frac{69}{0}$	$\frac{0}{0}$	$\frac{0}{0}$	$\frac{0}{0}$
Hydrochidae gen. sp. lar.	$\frac{0}{0}$	$\frac{0}{0}$	$\frac{6}{0,004}$	$\frac{0}{0}$	$\frac{0}{0}$
Noteridae gen. sp. lar.	$\frac{10}{3,619}$	$\frac{0}{0}$	$\frac{0}{0}$	$\frac{0}{0}$	$\frac{0}{0}$
Caenidae gen. sp. lar.	$\frac{0}{0}$	$\frac{50}{0,022}$	$\frac{44}{0,002}$	$\frac{3}{0,003}$	$\frac{0}{0}$
Ephemeridae gen. sp. lar.	$\frac{0}{0}$	$\frac{3}{0,002}$	$\frac{0}{0}$	+	$\frac{0}{0}$
Leptophlebiidae gen. sp. lar.	$\frac{0}{0}$	$\frac{31}{0,002}$	$\frac{0}{0}$	$\frac{0}{0}$	$\frac{0}{0}$
Chironomidae gen. sp. lar.	$\frac{2}{0,005}$	$\frac{350}{0,038}$	$\frac{644}{0,071}$	$\frac{44}{0,011}$	+
Chironomidae gen. sp. pupae	$\frac{0}{0}$	$\frac{16}{0,016}$	$\frac{75}{0,022}$	$\frac{13}{0,003}$	+
Tanypodinae gen. sp. lar.	$\frac{0}{0}$	$\frac{56}{0,012}$	$\frac{0}{0}$	$\frac{0}{0}$	$\frac{0}{0}$
Stratiomyidae gen. sp. lar.	$\frac{0}{0}$	$\frac{0}{0}$	$\frac{0}{0}$	$\frac{3}{0,001}$	$\frac{0}{0}$
Simuliidae gen. sp. lar.	$\frac{0}{0}$	$\frac{0}{0}$	$\frac{0}{0}$	+	$\frac{0}{0}$
Lestidae gen. sp. lar.	$\frac{0}{0}$	$\frac{13}{0,004}$	$\frac{0}{0}$	$\frac{0}{0}$	$\frac{0}{0}$
Gomphidae gen. sp. lar.	$\frac{0}{0}$	$\frac{16}{0,004}$	$\frac{0}{0}$	$\frac{0}{0}$	$\frac{0}{0}$
Nemouridae gen. sp. lar.	$\frac{0}{0}$	$\frac{0}{0}$	$\frac{0}{0}$	$\frac{0}{0}$	+

Продолжение таблицы 1

1	2	3	4	5	6
<i>Amphibalanus improvisus</i> (Darwin, 1854)	$\frac{3}{0,001}$	$\frac{0}{0}$	$\frac{0}{0}$	$\frac{0}{0}$	$\frac{0}{0}$
<i>Asellus aquaticus</i> (Linnaeus, 1758)	$\frac{77}{0,245}$	$\frac{0}{0}$	$\frac{0}{0}$	$\frac{6}{0,013}$	$\frac{0}{0}$
Gammaridae gen. sp.	$\frac{0}{0}$	$\frac{150}{0,091}$	$\frac{6}{0,005}$	$\frac{0}{0}$	$\frac{0}{0}$
<i>Gammarus pulex</i> Linnaeus, 1758	$\frac{50}{0,274}$	$\frac{0}{0}$	$\frac{0}{0}$	$\frac{44}{0,113}$	$\frac{0}{0}$
<i>Dikerogammarus</i> sp.	$\frac{0}{0}$	$\frac{0}{0}$	$\frac{0}{0}$	$\frac{25}{0,006}$	$\frac{0}{0}$
<i>Stygobromus</i> sp.	$\frac{3}{0,046}$	$\frac{0}{0}$	$\frac{0}{0}$	$\frac{0}{0}$	$\frac{0}{0}$
Acariformes gen. sp.	$\frac{0}{0}$	$\frac{0}{0}$	$\frac{13}{0,001}$	$\frac{3}{0,001}$	$\frac{0}{0}$
Всего	$\frac{269\pm 7}{8,9\pm 0,3}$	$\frac{791\pm 23}{0,2\pm 0,01}$	$\frac{900\pm 39}{0,1\pm 0,01}$	$\frac{209\pm 4}{0,35\pm 0,01}$	

Примечание: + качественные

Помимо этих таксонов, в наших пробах были отмечены также Naupacticoida, но поскольку это мейобентосные животные, а статья по макрофауне, то мы их здесь не учитываем.

Таксономический состав в различных реках неоднороден. Максимум отмечен в реке Чёрная – 15, преимущественно благодаря Mollusca, обнаруженными только в данной реке. Это представители *Bivalvia* (*Pisidium* sp., скорее всего, *Pisidium* sp. и перловица *Unio* sp.) и *Gastropoda*. Прудовики *L. stagnalis*, голожаберник и катушки *Planorbis* sp. (вероятно, *P. planorbis* Linnaeus, 1758) отмечены только в среднем течении реки между сёлами Хмельницкое и Штурмовое, а лунки *Th. fluviatilis* – в среднем и верхнем течении (в Чернореченском каньоне). Прудовик большой *L. stagnalis* – представитель семейства Limnaeidae, относится к стенобатным мелководным видам и стагнофилам, а также предпочитает заиленные субстраты. Молодые особи данного моллюска служат кормовой базой для бентосоядных рыб, водоплавающих, околородных и болотных птиц [22]. Весной 2021 г. он был отмечен в р. Чёрная на ст. Шт. 1 возле с. Штурмовое на глубине 0,2 м на рыхлом грунте при t воды + 19 °С. Моллюск *Th. fluviatilis* скорее всего, занесён при акклиматизации в бассейне реки Чёрная фауны Днепровско-Бугского лимана [5]. В 2021–2022 гг. он обнаружен между с. Хмельницкое и с. Штурмовое, на окраине с. Черноречье и в каньоне.

В р. Коккозка визуально наблюдались пресноводные крабы, однако, в пробах они не встретились и поэтому в список видов не включены. По литературным

данным, в бассейне р. Бельбек пресноводный краб *Potamon ibericum* (Bieberstein, 1809) был отмечен, в частности в 2021–2022 гг. [6].

Меньше всего таксонов отмечено в низовье р. Марта (3), однако, только в ней осенью 2021 г. найден *Nemouridae* lar., относящийся к отряду *Plescoptera* (веснянки).

Проведено сравнение сходства состава донной макрофауны исследованных рек (табл. 2).

Таблица 2
Коэффициент общности фаун Чекановского-Серенсена в различных реках

Река	Чёрная	Бельбек	Коккозка	Кача	Марта
Чёрная		0,16	0,18	0,38	0,12
Бельбек	0,16		0,63	0,26	0,29
Коккозка	0,18	0,63		0,5	0,37
Кача	0,38	0,26	0,5		0,27
Марта	0,12	0,29	0,37	0,27	

В сравнительном аспекте наиболее сходны по составу макрозообентоса между собой реки Бельбек и Коккозка, что можно объяснить тем, что Коккозка является притоком Бельбека. Наименее сходны между собой макрофауны рек Чёрная и Марта, находящиеся друг от друга достаточно далеко.

Средняя численность макрозообентоса колебалась в пределах от 209 экз./м² в р. Кача до 900 экз./м² в р. Коккозка. Такая высокая численность в р. Коккозка обусловлена преимущественно большим количеством личинок *Chironomidae* gen. sp. (максимум в сентябре 2021 г. на песчано-каменистом грунте при t + 17 °С на ст. 5 в районе устья в с. Аромат – 1113 экз./м²). Их высокая численность отмечена и в р. Бельбек (максимум ранней осенью 2021 г. в среднем течении на окраине с. Красный мак на ст. 2 – 975 экз./м² при средней численности всего макрозообентоса 1850 экз./м²). Личинки *Chironomidae* являются чувствительными индикаторами загрязнения [23], а также важнейшим объектом питания бентосоядных промысловых рыб и их молоди [24, 25]. В стадии личинки хирономиды проводят наиболее длительный период жизни, который составляет от нескольких недель до двух лет [26]. Личинки комаров-звонцов живут в придонном иле. Личинки питаются детритом и микроорганизмами, некоторые являются хищниками [27]. Ниже по течению, в с. Верхнесадовое летом 2021 г. численность всего макрозообентоса в среднем была лишь 88 экз./м², выше по течению, в районе с. Куйбышево, составляла осенью 2021 г. в среднем 675 экз./м², еще выше по течению – 550 экз./м². Следует отметить, что в с. Верхнесадовое пробы брали после паводка, что, возможно, отрицательно повлияло на численность донной макрофауны.

В р. Чёрная по численности преобладали брюхоногие моллюски *Th. fluviatilis* и водяные ослики *A. aquaticus*. Моллюск *Th. fluviatilis* впервые был отмечен в данной реке в 2000 г. с численностью 50 экз./м² [10]. В 2002–2003 гг. в среднем течении на выходе из каньона численность теодоксусов была 116 экз./м² [13]. По нашим данным, максимальная численность вида зафиксирована на ст. Шт. 3 в среднем

течении между с. Хмельницкое и с. Штурмовое в мае 2021 г. – 513 экз./м². В р. Чёрная наибольшая численность донной макрофауны (в среднем 650 экз./м²) зафиксирована летом 2021 г. на песчаном субстрате в нижнем течении на ст. И 1 между с. Штурмовое и Инкерманом за счёт *A. aquaticus* (475 экз./м²). Водяной ослик *A. aquaticus* относится к отряду Isopoda. Он населяет стоячие или слабопроточные внутренние водоёмы, питается разлагающимися частями растений, неприхотлив к качеству воды и очень вынослив, может прожить некоторое время в воде при очень незначительных концентрациях кислорода или даже в анаэробных условиях [28]. Наименьшая численность донной макрофауны приурочена к западной части каньона весной 2022 г. (50 экз./м²) при температуре воды + 12 °С и высокой прозрачности воды. Возможно, низкая численность макрозообентоса в каньоне обусловлена быстрым течением реки и преимущественно каменистым грунтом.

В р. Кача максимальная численность отмечена весной 2022 г. ближе к верховью в Качи-Кальоне (438 экз./м²) на песчано-каменистом грунте при температуре воды +9 °С за счёт бокоплавов *G. pulex*, минимальная – в среднем течении возле с. Железнодорожное (38 экз./м²). По всему своему ареалу *G. pulex* является обычным обитателем среднего и нижнего течения ручьев и рек, где скорости потока умеренные или низкие. Часто также встречается в районах источников небольших потоков, где скорости потока низкие и колебания температуры ограничены. Из-за чувствительности к содержанию в воде кислорода не живет в заиленных и загрязненных водоёмах [29].

Средняя биомасса макрозообентоса была в пределах от 0,1 г/м² в р. Кача до 7,7 г/м² в р. Чёрная. Такая относительно высокая биомасса отмечена преимущественно благодаря личинкам Noteridae gen. sp. и Mollusca, особенно *Th. fluviatilis*, у которых достаточно большой вес. Максимальный показатель биомассы донной макрофауны во всех исследованных реках был на р. Чёрная в мае 2021 г. на ст. Шт. 3 (грунт: ил с примесью камней) в среднем 14,81 г/м², из них теодокусов – 14,79 г/м². Температура воды составляла + 18 °С. В остальных реках биомасса была значительно ниже из-за небольшого веса встреченных там Annelida и Arthropoda.

Минимальные показатели численности и биомассы в р. Кача, возможно, связаны с тем, что эта река в среднем течении (по авторским визуальным наблюдениям) в 2020 г. была пересохшей и фауна в ней, вероятно, еще не восстановилась.

Определена размерная структура двух видов брюхоногих моллюсков. Высота раковины *L. stagnalis* в мае 2021 г. была в пределах 5,1–14,2 мм с преобладанием особей размером более 11 мм (63 %). По данным [22], высота раковины прудовика большого может достигать 70 мм. Таким образом, в р. Чёрная весной 2021 г. обитали ювенильные особи.

Размер моллюсков *Th. fluviatilis* в мае 2021 г. колебался в пределах от 2,2 до 5,7 мм. Значительно (87 %) доминировали особи размером менее 5 мм. В апреле 2022 г. в Чернореченском каньоне преобладали моллюски размером 5,1–7 мм (67 %).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В реках Чёрная, Бельбек с Коккозкой и Кача с Мартой в период с мая 2021 г. по май 2022 г. обнаружено 32 таксона донной макрофауны, относящихся к типам Annelida (5), Mollusca (6) и Arthropoda (21), с максимумом в реке Чёрная – 15. Только в этой реке встречены моллюски. Наиболее сходны между собой макрофауны в реках Бельбек и Коккозка, наименее – в реках Чёрная и Марта. Максимальная численность макрозообентоса отмечена в реке Коккозка – 900 ± 39 экз./м² с преобладанием личинок Chironomidae gen. sp., минимальная – в реке Кача (209 экз./м²). Наибольшая биомасса приурочена к реке Чёрная ($8,9 \pm 0,3$ г/м²) с доминированием Mollusca и личинок Noteridae gen. sp., минимальная – на р. Кача ($0,1$ г/м²). Донная макрофауна распределена неравномерно. В различных реках наибольшие и наименьшие численность и биомасса макрозообентоса приурочены к разным участкам, что, возможно, связано с неодинаковыми субстратом, сезоном (температурой воды) и течением. Так, в р. Чёрная максимальная численность отмечена в низовье реки, минимальная – в верховье; в р. Бельбек наибольшая численность была в среднем течении реки, наименьшая – ближе к низовью; в р. Кача максимум численности был в верховье реки, минимум – в среднем течении. По биомассе на р. Чёрная максимум отмечен в среднем течении, минимум – в низовье, на р. Бельбек максимум был в верховье, минимум – в среднем течении; на р. Кача максимум также приурочен к верховью, минимум – тоже к среднему течению реки. В р. Чёрная весной 2021 г. обитали ювенильные брюхоногие моллюски *L. stagnalis* с преобладанием особей размером более 11 мм (63 %). Размер моллюсков *Th. fluviatilis* в мае 2021 г. был в пределах от 2,2 до 5,7 мм. Существенно (87 %) доминировали экземпляры размером менее 5 мм. В апреле 2022 г. в каньоне преобладали моллюски размером 5,1–7 мм (67 %).

БЛАГОДАРНОСТЬ

Авторы Благодарят к.б.н., с.н.с. Копий В. Г., к.б.н., с.н.с. Тимофеева В. А., м.н.с. Подзорову Д. В. (все отдел Экологии бентоса ФИЦ ИнБЮМ) и к.б.н., с.н.с. отдела Экологической паразитологии ФИЦ ИнБЮМ Ляха А. М. за участие в экспедициях, в которых был собран материал для данной статьи.

Работа выполнена в рамках госзадания ФИЦ ИнБЮМ по темам «Биоразнообразие как основа устойчивого функционирования морских экосистем, критерии и научные принципы его сохранения» (№ гос. регистрации 124022400148-4) и «Изучение биогеохимических закономерностей радиоэкологических и хемэкологических процессов в экосистемах водоемов Азово-Черноморского бассейна в сравнении с другими акваториями Мирового океана и отдельными водными экосистемами их водосборных бассейнов для обеспечения устойчивого развития на южных морях России (№ гос. регистрации 124030100127-7).

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. – 34. – С. 156–162.
5. Прокопов Г. А. 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.
6. Статкевич С. В. Некоторые популяционные характеристики охраняемого вида – *Potamon ibericum* (Bieberstein, 1809) реки Бельбек / С. В. Статкевич, В. В. Узлова // Экосистемы. – 2023. – 34. – С. 168–173.
7. 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.
8. Петров А. Н. Экологическая характеристика и функциональное зонирование водоемов общегосударственного ландшафтного заказника «Байдарский» / А. Н. Петров, С. М. Игнатъев // Актуальные вопросы экологии Азово-Черноморского региона и Средиземноморья: Сборник трудов научной конференции. – Симферополь, 1993. – С. 169–173.
9. Болтачева О. А. Закономерности распределения перловицы Стевена *Unio stevenianus* (Krenichki) в среднем течении реки Чёрная / О. А. Болтачева // Понт Эвксинский-II: Проблемы экологии Азово-Черноморского бассейна: современное состояние и прогноз: Тезисы докладов конференции молодых ученых, 18–20 сентября 2001 г. – Севастополь, 2001. – С. 101–102.
10. Миронов С. С. Новые виды моллюсков в морских и континентальных водах Крыма / С. С. Миронов, Н. В. Шадрин, В. А. Гринцов // Экология моря. – 2002. – Вып. 61. – С. 43.
11. Прокопов Г. А. б. К познанию распределения гидрофауны реки Альма в пределах Крымского природного заповедника / Г. А. Прокопов // Ученые записки ТНУ. Серия: Биология. – 2003. – Т. 16 (55), № 3. – С. 177–186.
12. Прокопов Г. А. Трофические взаимодействия в сообществах макрозообентоса эпитриали рек Крыма / Г. А. Прокопов // Ученые записки ТНУ. Серия: География. – 2004. – Т. 17 (56), № 3 – С. 91–98.
13. Оскольская О. И. К вопросу о распределении *Theodoxus fluviatilis* в реке Черной (Западный Крым) / О. И. Оскольская, Л. В. Бонадренко // Эколого-функціональні та фауністичні аспекти дослідження моллюсків, їх роль у біоіндикації стану навколишнього середовища. – Житомир, 2004. – С. 126–129.
14. 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.
15. Кутикова Л. А. Определитель пресноводных беспозвоночных Европейской части СССР: планктон и бентос / Л. А. Кутикова, Я. И. Старобогатов. – Л.: Гидрометеоиздат. – 1977. – 511 с.
16. Чертопруд М. В. Краткий определитель беспозвоночных пресных вод центра Европейской России / М. В. Чертопруд, Е. С. Чертопруд. – М.: Изд-во КМК. – 4-е изд. 2011. – 220 с.
17. Холодов В. И. Планирование экспериментов в гидробиологических исследованиях / В. И. Холодов. – Симферополь: Н. Орианда, 2016. – 196 с.
18. Сёмкин Б. И. Об оценке сходства и различия в серии флористических и фитоценологических описаний / Б. И. Сёмкин, М. В. Горшков // Комаровские чтения. – 2010. – Вып. 57. – С. 203–220.
19. Олиферов А. Н. Реки и озера / А. Н. Олиферов, Б. М. Гольдин. – Симферополь: Крым, 1966. – 51 с.

20. Шутов Ю. И. Воды Крыма: Научно-популярный очерк / Ю. И. Шутов. – Симферополь: Таврия, 1979. – 96 с.
21. 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.
22. 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.
23. Андрианова А. В. Биотические индексы и метрики в оценке качества воды малых рек на территории природного парка «Ергаки» (юг Красноярского края) / А. В. Андрианова // Сибирский экологический журнал. – 2015. – № 3. – С. 439–451.
24. Константинов А. С. Хиროномиды бассейна р. Амур / А. С. Константинов // Тр. Амурск. ихтиол. экспедиции (1945-1949). – Т. 1. – 1950. – С. 145–286.
25. Леванидов В. Я. Воспроизводство амурских лососей и кормовая база их молоди в притоках Амура / В. Я. Леванидов // Изв. ТИНРО. – Т. 67. – 1969. – 243 с.
26. Ferrington Jr. L. C. Global diversity of non-biting midges (Chironomidae; Insecta-Diptera) in freshwater / L. C. Ferrington Jr. // Hydrobiologia. – 2008. – 595. – P. 447–455.
27. Brutt E. T. Feeding and sexual dimorphism in adult midges (Diptera: Chironomidae) / E. T. Brutt, R. J. O. Perry, A. J. McLachlan. // Ecography. – 1986. – 9 (1). – P. 27–32.
28. Hervant F. Behavioral, ventilatory and metabolic responses of the hypogean *Niphargus virei* (Crustacea: Amphipoda) and the epigeal *Asellus aquaticus* (Crustacea: Isopoda) to severe hypoxia and subsequent recovery / F. Hervant, J. Mathieu, D. Garin und A. Freminet // Physiological Zoology. – 1996. – 69 (6). – S. 1277–1300.
29. Karaman G. S. Freshwater *Gammarus* species from Europe, North Africa and adjacent regions of Asia (Crustacea – Amphipoda). Part I. *Gammarus pulex* – group and related species. / G. S. Karaman, S. Pinkster // Bijdragen tot de Dierkunde. – 1977. – 47 (1). – P. 1–97.

BOTTOM MACROFAUNA OF SOME RIVERS OF THE NORTH-WESTERN SLOPES OF THE CRIMEAN MOUNTAINS

Makarov M. V., Viter T. V., Kovaleva M. A.

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

The data on taxonomic composition, abundance, biomass and distribution of macrozoobenthos in the rivers Chernaya, Belbek (with tributary Kokkozka) and Kacha (with tributary Marta) in the period from May 2021 to May 2022 were presented. These rivers are located in southwestern Crimea and belong to the rivers of the northwestern slopes of the Crimean Mountains. A total of 32 taxa of benthic macrofauna belonging to the types Annelida (5), Mollusca (6) and Arthropoda (21) were found, with a maximum of 14 in the Chernaya River. Molluscs (Bivalvia and Gastropoda) were found only in this river. The highest abundance of macrozoobenthos was observed in the Kokkozka River – 900 ± 39 ind./m² with predominance of Chironomidae lar., the lowest – in Kacha River (209 ind./m²). The maximum biomass was confined to the Chyornaya River (7.862 ± 0.269 g/m²) with the dominance of Noteridae lar. and Mollusca, especially

gastropods *Th. fluviatilis*; minimum – 0.1 g/m² in Kacha River. The minimal abundance and biomass in the Kacha River may be due to the fact that the river in the middle reaches (according to the author's visual observations) was dry in 2020 and the fauna in it has not yet recovered. The benthic macrofauna is unevenly distributed in the rivers. In different rivers, the highest and lowest abundance and biomass were confined to different sites, possibly due to different substrate, season (water temperature) and flow. Thus, in the Chyornaya River, the highest abundance of benthic macrofauna (650 ind./m² on average) was recorded in the summer of 2021 on the sandy substrate in the lower reaches at station I 1 between Shturmovoje and Inkerman at the expense of isopods *A. aquaticus* (475 ind./m²). The lowest abundance of benthic macrofauna in this river was confined to the west side of the canyon in the spring of 2022 (50 ind./m² on average). In river Belbek maximum abundance (1850 ind./m²) was in the middle reaches (Krasniy mak village) in September 2021 due to Chironomidae gen. sp. lar. In the Kacha River, the maximum abundance was recorded in the spring of 2022 in the upper reaches in Kacha-Kalion (438 ind./m²) due to *G. pulex*. The maximum biomass of bottom macrofauna in the studied rivers was in the middle reaches of Chernaya River in May 2021 – on average 4.2 g/m² due to *Th. fluviatilis*. Juvenile individuals of *L. stagnalis* were present in the Chyornaya River in spring 2021. The size of *Th. fluviatilis* in May 2021 ranged from 2.2 to 5.7 mm. Individuals less than 5 mm in size were significantly (87 %) dominant. In April 2022, this species 5.1 to 7 mm in size (67 %) dominated the canyon.

Keywords: taxon, abundance, biomass, distribution, comparative aspect.

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. 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.).
6. Statkevich S. V., Uzlova V. V. Some population characteristics of protected species – *Potamon ibericum* (Bieberstein, 1809) of the Belbek River. *Ecosystems*. **34**, 177 (2023). (In Russ.).
7. Stadnichenko A. P. Characterization of freshwater malacofauna of Crimea. *Molluscs. Their system, evolution and role in nature* (Leningrad: Nauka, 1975), 67. (In Russ.).
8. Petrov A. N., Ignatyev S. M. Ecological characterization and functional zoning of water bodies of the Baidarsky State Landscape Preserve. *Proceedings of the scientific conference: Current issues of ecology of the Azov-Black Sea and Mediterranean regions* (Simferopol, 1993), 169 (In Russ.).
9. Boltacheva O. A. Distribution patterns of Steven's pearl *Unio stevenianus* (Krenichki) in the middle reaches of the Chyornaya River. *Theses of reports of the conference of young scientists: Pontus Euxinus II: Environmental Problems of the Azov-Black Sea Basin: Current State and Prognosis* (Sevastopol, september, 18-20, 2001), 101. (In Russ.).
10. Shadrin N. V., Mironov S. S., Grintsov V. A. New species of molluscs in marine and continental waters of Crimea. *Ecology of the sea*. **61**, 43 (2002). (In Russ.).

11. Prokopov G. A. Toward knowledge of the distribution of hydrofauna of the Alma River within the Crimean Nature Reserve. *Scientific Notes of V.I. Vernadsky Tavrida National University. Biology*, **16 (55), 3**, 177 (2003). (In Russ.).
12. 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.).
13. Oskolskaya O. I., Bondarenko L. V. On the distribution of *Theodoxus fluviatilis* in the Chernaya River (Western Crimea). *Ecological and functional aspects of mollusk research, their role in bioindication of environmental conditions* (Zhitomir, 2004), 126. (In Russ.).
14. Zhadin V. I. *Molluscs 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.).
15. Chertoprud M. V., Chertoprud E. S. *Short identification guide of freshwater macroinvertebrates of central European Russia*. 220 p. (Moscow, Russia, KMK, 2011). (In Russ.).
16. Kutikova A. A., Starobogatov Ya. I. *Identification guide of freshwater invertebrates of the European part of the USSR. Plankton and benthos*. 511 p. (Moscow-Leningrad, 1977). (In Russ.).
17. Holodov V. I. *Planning of experiments in hydrobiological research*, 196 p. (Simferopol, N. Orianda, 2016). (In Russ.).
18. Syomkin B. I., Gorshkov M. V. On the assessment of similarity and difference in a series of floristic and phytocenotic descriptions. *Komarov Readings*, **57**, 203 (2010). (In Russ.).
19. Oliferov A. N., Goldin B. M. *Rivers and lakes*, 51 p. (Simferopol, Crimea, 1966). (In Russ.).
20. Shutov Yu. I. *Waters of the Crimea: Popular Science Essay*, 96 p. (Simferopol, Tavriya, 1979). (In Russ.).
21. Lisovsky A. A. A., Novik V. A., Timchenko Z. V., Mustafaeva Z. R. *Surface water bodies of Crimea (reference book)*, 114 p. (Simferopol: Reskomvodkhoz ARC, 2004). (In Russ.).
22. 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.).
23. Andrianova A. V. Biotic indices and metrics in the assessment of water quality of small rivers in the territory of the natural park "Yergaki" (south of Krasnoyarsk region), *Siberian ecological journal*, **3**, 439 (2015). (In Russ.).
24. Konstantinov A. S. The chironomids of Amur basin. *Publications of Amur ichthyological expedition (1945-1949)*, **1**, 145 (1950). (In Russ.).
25. Levanidov V. Y. Reproduction of Amur salmon and the food supply of their juveniles in the tributaries of the Amur. *Izvestiya TINRO*, **67**, 242 (1969). (In Russ.).
26. Ferrington Jr. L. C. Global diversity of non-biting midges (Chironomidae; Insecta-Diptera) in freshwater. *Hydrobiologia*, **595**, 447 (2008).
27. Burt E. T., Perry R. J. O., McLachlan A. J. Feeding and sexual dimorphism in adult midges (Diptera: Chironomidae). *Ecography*, **9 (1)**, 27 (1976).
28. Hervant F., Mathieu J., Garin D. und Freminet A. Behavioral, ventilatory and metabolic responses of the hypogean *Niphargus virei* (Crustacea: Amphipoda) and the epigean *Asellus aquaticus* (Crustacea: Isopoda) to severe hypoxia and subsequent recovery. *Physiological Zoology*. **69 (6)**, 1277 (1996).
29. Karaman G. S., Pinkster S. Freshwater *Gammarus* species from Europe, North Africa and adjacent regions of Asia (Crustacea-Amphipoda). Part I. *Gammarus pulex* – group and related species. *Bijdragen tot de Dierkunde*, **47 (1)**, 1 (1977).

УДК 574.34:599.6/.73

DOI 10.29039/2413-1725-2024-10-4-144-158

**ПРОБЛЕМЫ ОЦЕНКИ ЧИСЛЕННОСТИ КОПЫТНЫХ НА ПРИМЕРЕ
УЧЁТА БЛАГОРОДНОГО ОЛЕНЯ (*CERVUS ELAPHUS L.*) В
ВОРОНЕЖСКОМ ЗАПОВЕДНИКЕ**

Мишин А. С.

*Воронежский государственный природный биосферный заповедник им. В. М. Пескова,
Воронеж, Россия
E-mail: mishin.vrn@gmail.com*

Проведён обзор использовавшихся в Воронежском заповеднике методов учёта численности копытных. Основное внимание уделено особенностям учёта благородного оленя. Отражены особенности различных методик на фоне состояния его популяции: снижении численности и последующем её восстановлении. Проведён анализ современного подхода к учёту численности оленя в заповеднике – зимнего маршрутного учёта (ЗМУ) и комплексной оценки с использованием всех доступных материалов (данных ЗМУ, учёта на подкормочных площадках, анализа встреч, регистраций фотоловушками и следов). Показано что метод зимнего маршрутного учёта занижает реальную численность животных не менее чем на 50 %. Результаты комплексной оценки хорошо согласуются с данными осеннего учёта самцов на реву.

Ключевые слова: копытные, благородный олень, *Cervus elaphus*, учёт численности, зимний маршрутный учёт.

ВВЕДЕНИЕ

Учёт численности животных – это один из важнейших полевых методов изучения экологии животных и источник данных о состоянии их популяций, на основе которого принимаются решения по охране и эксплуатации разных видов [1]. Для эффективного управления популяциями копытных необходимы максимально точные оценки их численности и абсолютные методы учёта значительно более информативны и их данные сопоставимы между собой [2]. Особенно усложняется задача оценки численности при работе с малочисленными группировками копытных, когда на результат существенно влияют ошибки учёта.

Европейский благородный олень – один из важнейших охотничьих видов копытных Юга России и Черноземья, способный обитать в антропогенно преобразованном ландшафте и в условиях пятнистого распределения местообитаний [3]. Проблемы устойчивой эксплуатации охотничьих ресурсов продолжают быть темой дискуссий в природоохранной сфере и охотничьем хозяйстве. Целью данной работы стало обобщение информации по методам учёта численности копытных, практиковавшимся в Воронежском заповеднике в разные

годы, в особенности благородного оленя, и их особенностям на фоне состояния его популяции. Основное внимание уделено анализу современного подхода к оценке численности оленя в заповеднике.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Воронежский государственный природный биосферный заповедник имени В. М. Пескова расположен в северной части Усманского бора, островного лесного массива на границе Воронежской и Липецкой областей (N51.9490, E039.5970). Его площадь составляет 31 тыс. га. Территория заповедника представляет собой слабоволнистую равнину с высотами 90–169 м над ур. м. Климат умеренно континентальный, с относительно жарким летом и умеренно холодной зимой [4]. В настоящее время леса занимают 93 % площади заповедника, основными лесообразующими породами являются сосна (35 %), дуб (33 %) и осина (18 %). Средний возраст насаждений составляет более 100 лет. Лишь 1,5 % лесов составляют молодняки [5].

Популяция европейского благородного оленя (*Cervus elephus* L.) Усманского бора относительно замкнутая, ближайшие точки обитания оленей располагаются в других островных лесах в Воронежской области на расстоянии не менее 80 км. Постоянно обитающих в агроландшафтах оленей нет. Воронежский государственный заповедник внёс значительный вклад в сохранение и расселение европейского благородного оленя на европейской части бывшего СССР [6]. В связи с масштабными биотехническими мероприятиями и работой по отлову животных, большое внимание уделялось разработке методов учёта численности оленя и практике их применения. При этом за долгие годы сменилось несколько методик. Также менялась и численность оленей – бурный рост с пиком численности в 1973 г. (более 1500 особей) сменился резким падением до 100 животных в начале 2000-х с дальнейшим её снижением [7, 8]. Помимо благородного оленя в заповеднике обитают ещё три вида копытных животных: лось (*Alces alces* L.), европейская косуля (*Capreolus capreolus* L.) и кабан (*Sus scrofa* L.).

На протяжении большей части истории заповедника для учёта численности оленя использовался метод прогона и подхода [9, 10]. Учётчиками по следам определялись лесные кварталы, где находились олени, затем в них проводился прогон. В некоторых случаях оленей не беспокоили и подсчитывали их количество при подходе. В 1960–70-х гг. практиковался авиаучёт копытных параллельно с наземным [11]. Формирование многовидового сообщества копытных животных в 1950-х гг. и рост их общей численности привёл к постепенной модификации метода. Сплошной «прогон» стали проводить по всей территории заповедника в марте, в период максимальной высоты снежного покрова и ограниченной подвижности копытных. По воспоминаниям старожилов, несколько бригад учётников последовательно обследовали участки заповедника в течение нескольких дней. Учётчики, перемещаясь по просекам и внутри кварталов фиксировали копытных визуально и в некоторых случаях по следам. После полевых работ руководители бригад анализировали полученные данные чтобы предотвратить повторный учёт

одних и тех же животных соседними учётчиками и не допустить переучёт. В итоге получались данные по количеству групп копытных каждого вида, численность групп, полу и возрасту животных, их территориальному распределению по местообитаниям [12]. Данный метод применялся до 2007 года.

В 2008–2011 гг. копытных учитывали по визуальным встречам на трансектах после схода снега. Всего использовалось 22 маршрута по просекам протяжённостью 4–10 км, учётчики проходили по ним до трёх раз и подсчитывали копытных в полосе шириной 100 м. За время учёта проходило около 500 км маршрутов. При обработке данных трансекта разбивалась на учётные площадки по 10 га (100×1000 м), далее рассчитывалась средняя плотность по всем площадкам, которая экстраполировалась на всю территорию заповедника [11]. В 2012–2014 гг. численность копытных устанавливалась экспертно по регистрациям следов и визуальных встреч в течение зимы на всей территории [13].

С 2015 г. проводится зимний маршрутный учёт (ЗМУ) по дополненной стандартной методике. ЗМУ в Воронежском заповеднике проводится в течение двух дней через сутки после пороши на 14 маршрутах общей протяжённостью 122 км. Учётчики фиксируют следы всех животных в первые сутки, проводят затирку и затем фиксируют свежие следы во вторые сутки. Расчёт численности проводится согласно текущим методическим рекомендациям с использованием стандартных пересчётных коэффициентов по данным собранным после затирки [14]. Регистрация следов животных при затирке позволяет собрать больше материала по распределению копытных при одинаковых трудозатратах. Подробнее особенности проведения ЗМУ в Воронежском заповеднике и обработке материалов описаны нами ранее [15].

Также с 2015 г. проводится учёт копытных на подкормочных площадках с помощью фотоловушек [16]. Дополнительно продолжают собираться данные по регистрации следов благородного оленя и визуальных встреч копытных в течение всего года. Итоговая зимняя численность благородного оленя с 2015 г. устанавливается после обработки материалов всех учётов и встреч животных, то есть используется комплекс методов.

Помимо зимних учётных работ, в заповеднике традиционно проводится осенний учёт самцов благородного оленя на реву. В публикациях и воспоминаниях не отражены подробности его проведения в советское время в период высокой численности оленей. Скорее всего он проводился похожим образом как в Беловежской пуще, путём ежедневных наблюдений и одновременным учётом по всей территории в дни наиболее интенсивного рёва [17].

В последние десятилетия учёт проводится в течение 2–3 недель во второй половине сентября-начале октября в период пика рёва. Учётчики обследуют территорию заповедника на утренних и вечерних зорях в ясную погоду по произвольно выбранным маршрутам. Количество и расположение ревущих самцов определяется на слух, также отмечаются визуальные встречи с оленями. В некоторых случаях для регистрации самцов используются фотоловушки, заранее выставленные на вероятных или известных в прошлые годы местах рёва. При обработке данных о местоположениях ревущих самцов, расстояния между

соседними точками свыше 1 км принимаются за двух разных ревущих самцов (если не удалось услышать их одновременно и точно определить количество самцов), поскольку перемещения самцов от своего гонного участка составляют не более 1 км, обычно меньше [18, 19]. Размеры индивидуальных участков оленей в конкретных условиях Воронежского заповедника и текущей плотности населения нами не изучались. По литературным данным известно, что осенние участки самцов в старовозрастных лесах могут быть значительными, в среднем до 2300 га [20], однако в данном случае не известен размер участка, где самец непосредственно ревет и метит. При этом участки разных самцов могут почти полностью перекрываться. По другим данным, размеры участков самцов в условиях леса во время гона небольшие, до нескольких десятков или первых сотен гектар [21, 22].

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Рассмотрим динамику численности оленя за последние 25 лет в контексте обсуждения применяемых методов учёта. Этот временной отрезок условно разделим на 4 периода, в которые использовались разные методы учёта численности копытных (рис. 1).

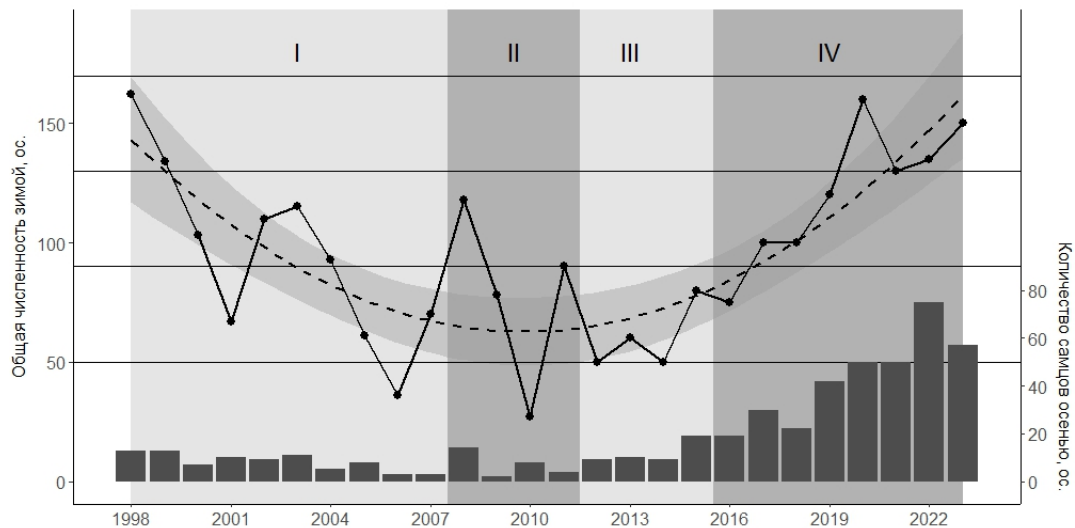


Рис. 1. Динамика численности благородного оленя (*Cervus elaphus*) в Воронежском заповеднике в 1998–2023 гг.

В I периоде (до 2007 г.) применялся традиционный для заповедника метод «прогона» по всей территории. Проведение такого масштабного учёта требовало значительных трудозатрат большого количества людей. В те годы ещё сохранялся многочисленный штат опытных сотрудников и традиции сбора научных данных инспекторами охраны. Большую роль играла и руководящая роль администрации заповедника, её заинтересованность в получении качественных данных о состоянии природного комплекса. Сеть лесных дорог и просек поддерживалась в проезде

состоянии, что значительно облегчало проведение учётных работ. Осенний учёт самцов на реву также проводился с привлечением большого количества квалифицированных учётчиков. Даже в условиях резкого снижения финансирования после распада СССР и других проблем, работы по учёту численности копытных продолжалась в том же объёме, что и раньше. В целом можно утверждать, что квалификация учётчиков и условия проведения учётов позволяли собирать максимально полные данные.

Средняя численность благородного оленя в I периоде составила $95,1 \pm 37,6$ особей ($\pm SD$ min: 36, max: 162) с трендом на её снижение. Уменьшение количества ревущих самцов дополнительно подтверждает результаты зимних учётов. С другой стороны, плотность животных достигла таких низких значений, когда самцы перестают слышать рёв соседей. В такой ситуации половозрелые самцы молча контролируют занятый гонный участок. Другие элементы брачного поведения (агрессия в отношении самцов-молчунов, заламывание мелких деревьев и кустарников, разбитые точки, валяние в песке) продолжали отмечаться учётчиками. Также необходимо отметить более низкую долю самцов в популяции в начале 2000-х гг. по сравнению с современными данными [11]. Этим объясняется различия в осенней численности самцов в I и IV периодах при сходной общей численности оленей.

Изменение методики во II периоде произошло из-за сложного комплекса причин. Ушли в прошлое егеря и лесные наблюдатели, проживавшие на кордонах непосредственно на территории и для которых ведение наблюдений за событиями в природе было одним из важнейших служебных обязанностей. Многие из них обладали высочайшей квалификацией, не уступавший научным сотрудникам. Среди нового поколения инспекторов охраны всё меньше людей проявляли интерес к наблюдениям в природе. Одновременно с этим отдел охраны всё больше сосредотачивался на борьбе с нарушениями режима и пожарами, появилась существенная текучка кадров, а впоследствии произошло и сокращение штата. Подача сведений о встречах с животными и других природных событиях стала в целом добровольной и никак не поощрялась администрацией. Организовать масштабную работу по учёту численности копытных в условиях нехватки квалифицированных и мотивированных кадров становилось всё сложнее. В то же время постепенно зарастали и заваливались дороги и просеки, осложняя перемещения учётчиков по лесному массиву. В этих условиях новым ответственным исполнителем учёта численности копытных была предложена новая методика – по визуальным встречам на трансектах.

Средняя численность благородного оленя в II периоде составила $78,25 \pm 38,1$ особей ($\pm SD$; min: 27, max: 118). Надо отметить, что эти результаты основаны на единичных встречах оленей, каждый год учётчиками отмечалось по 3–4 группы и только их размер влиял на итоговый результат. Для учёта настолько малочисленного и редко встречающегося животного этот метод оказался непригоден, что отмечалось самим исполнителем. В дополнение с 2010 года начали проводить экспертные экспресс-оценки численности благородного оленя (Летопись природы ВГЗ, 2010). Осенью отмечались единичные ревущие взрослые самцы. Популяция оленя в Воронежском заповеднике находилась на грани выживания.

Поскольку она является ценной в генетическом плане и гарантированно не смешивалась с другими подвидами [23, 24], то её спасение стало одной из основных задач заповедника в те годы. В частности, в 2011 г. после длительного перерыва была возобновлена зимняя подкормка копытных в местах пребывания оленей.

В III периоде численность копытных оценивалась только экспертным путём. Для анализа собирались данные по визуальным встречам и регистрации следов жизнедеятельности оленей по всему заповеднику в течение всей зимы. Основная часть материала собрана 1–2 научными сотрудниками, в том числе автором данной статьи. По нашему мнению, во II-III периоде численность благородного оленя составляла не более 50–60 особей. Количество учтённых осенью самцов также было минимальным.

Для проведения комплекса мероприятий по восстановлению популяции благородного оленя в заповеднике требовалась максимально точная оценка её численности. Было очевидно, что необходимо подобрать адекватный сложившимся условиям метод учёта копытных, а экспертная оценка может служить лишь дополнением к нему. Традиционный метод «прогона» восстановить уже не представлялось возможным по указанным выше причинам, которые только усугубились со временем. Такие же организационные трудности ожидалось при проведении полноценного многодневного оклада [25, 1]. Авиачёт не рассматривался всерьёз из-за его цены и сложности проведения в хвойных лесах, составляющих 30 % от площади заповедника.

Зимний маршрутный учёт проводился в заповеднике в 1995–2005 гг. только по одному маршруту и его данные не использовались для получения абсолютной численности животных [26]. В 2015 г. впервые провели ЗМУ по всей территории заповедника на основе методики 2014 г. [14]. Выбор ЗМУ как основного метода учёта копытных в заповеднике был обусловлен текущими возможностями по привлечению инспекторов охраны к полевым работам, необходимостью подавать результаты ЗМУ в отчётных документах и в конечном итоге поддержкой администрации заповедника.

Нами учитывались недостатки и критика ЗМУ, имеющаяся на тот момент [27], поэтому для контроля качества получаемых данных по благородному оленю, нами была продолжена практика сбора материалов по визуальным встречам благородного оленя и его следов в зимний период. Похожим образом дополняются данные ЗМУ по копытным в Хопёрском заповеднике с 2008 г., наилучшие результаты получены для оленей и лосей [28]. Позднее добавились данные о регистрациях оленей небольшой сетью фотоловушек на дорогах и просеках. Также в дополнение к ЗМУ с 2015 г. проводится учёт копытных на подкормочных площадках. Поскольку зимняя подкормка носит ограниченный характер и только в некоторых частях заповедника, то далеко не всех оленей возможно здесь подсчитать. Продолжается проведение ежегодного осеннего учёта на реву. Применение разных методов обосновано для их взаимной проверки и дополнения друг друга [29].

В первые годы проведения ЗМУ мы пришли к выводу о значительном недоучёте благородного оленя этим методом и итоговую численность определяли, используя все имеющиеся данные. Таким образом, можно говорить о комплексном

подходе к учёту численности благородного оленя в IV периоде. Итоговый результат выводится в результате анализа данных о пересечениях свежих следов во время ЗМУ, данных визуальных встреч и регистраций фотоловушками в течение зимы и учёта на подкормочных площадках. Надёжных критериев принадлежности разных точек визуальных встреч или регистраций следов разным животным нет. Это определяется нами в каждом случае индивидуально на основе расстояния между ними, знания особенностей территории и личного полевого опыта. Мы стараемся близко расположенные точки считать встречами одних и тех же животных, если нет других признаков (например, пол и возраст). Вероятнее всего имеет место некоторый недоучёт, и мы имеем минимальную оценку численности популяции. Комплексная оценка сходна с практиковавшейся в III периоде экспертной оценкой. Основное отличие в том, что в её основе мы используем материалы практически одновременной регистрации свежих следов оленей по всему заповеднику, а затем дополняем прочими данными в гораздо большем объёме, чем тогда.

Средняя численность благородного оленя в IV периоде составила $116,7 \pm 30$ особей ($\pm SD$; min: 75, max: 160). По сравнению с предыдущими периодами численность оленя значительно увеличилась. Рост количества взрослых самцов по данным осеннего учёта подтверждает выявленную динамику.

В последнее десятилетие мы ежегодно получаем данные о численности оленей тремя путями (ЗМУ, комплексная оценка, учёт на реву) и имеем возможность сравнить полученные результаты (табл. 1).

Таблица 1.

**Численность благородного оленя (*Cervus elaphus*) в 2015-2023 гг.
по данным комплексной оценки, зимнего маршрутного учёта и осеннего учёта
самцов на реву.**

Год	Численность	Численность по ЗМУ	Численность самцов
2015	80	36	19
2016	75	30	19
2017	100	56	30
2018	100	55	22
2019	120	29	42
2020	160	109	50
2021	130	95	50
2022	135	56	75
2023	150	77	57

Нами показано, что ЗМУ даёт значительно меньшую численность по сравнению с комплексной оценкой. Какой же из методов даёт более достоверные

данные? В качестве подтверждения того или иного результата нами использованы сведения о количестве самцов осенью. Активность ревущих самцов зависит от многих факторов – погодных и внутривидовых (плотность оленей, половозрастной состав, миграции) и может быть с большой осторожностью использована для оценки численности всей популяции на исследуемой территории [30, 31]. Имея данные о половом составе можно сделать более обоснованные выводы об общей численности оленей. По литературным данным доля взрослых самцов в популяции составляет 25–35 % при отсутствии пресса трофейной охоты [32]. Похожие данные получены нами в последние годы по материалам визуальных встреч и регистрации фотоловушками в Воронежском заповеднике [11]. Миграции между заповедным островным лесным массивом и прилегающими сельхозугодьями отсутствуют. Соответственно, можно отметить, что результаты комплексного учёта и осеннего на реву в целом сходны, причем уже на протяжении ряда лет, что является одним из главных критериев достоверности оценки численности. Исходя из этого надо признать комплексный учёт более достоверным и адекватным при современном состоянии популяции. ЗМУ даёт в среднем 50 % недоучёта, в отдельные годы до 75 %, причём тогда количество учтённых осенью самцов превышало общую численность по ЗМУ. Самые большие различия наблюдались в годы с глубоким снежным покровом и соответственно ограниченной подвижностью копытных, сильно влияющий на результат ЗМУ. И наоборот, наименьший недоучёт был в годы с минимальным снежным покровом, не ограничивающим перемещения животных.

Сходная величина недоучёта животных при использовании ЗМУ выявлена нами на примере кабана на фазе восстановления численности после эпизоотии АЧС [32]. Сравнения разных методов учёта при работе с сибирской косулей и благородным оленем в Иркутской области также выявили недоучёт по ЗМУ [34].

Информативность комплексного подхода, используемого нами, к сожалению, не отменяет его существенных недостатков. Главными из которых являются сильная зависимость от субъективности при анализе всех материалов и отсутствие математического аппарата. Вероятно, что другой ответственный исполнитель по-другому проанализирует исходные данные и проверить это будет невозможно. Поэтому проблема поиска и внедрения более независимых от исследователя методов учёта продолжает существовать.

Современная методика ЗМУ нарушает изначально заложенные в неё теоретические основы [1]. Многими исследователями и работниками охотничьего хозяйства она критикуется по разным аспектам, как методическим, так и практическим [35–37]. Предлагались усовершенствования ЗМУ и иные методики [38–41]. В настоящее время дискуссии относительно ЗМУ на страницах научных и охотничьих журналов продолжаются, однако применять её обязывают нормативные акты. В любом случае, для проведения качественных учётных работ требуется некоторое количество квалифицированных и заинтересованных учётчиков, найти которых как показывает практика, не всегда возможно.

В сложившихся условиях дефицита квалифицированных учётчиков наиболее перспективными могут стать методы с использованием современных технологий, не

требующими организации массовых учётных работ. Беспилотные летательные аппараты, оснащённые тепловизионными камерами, выводят на новый уровень авиаучёт [42]. Бурно развиваются методы учёта различных видов животных с помощью фотоловушек [43]. Оценка плотности животных на основе модели случайных столкновений (REM) предоставляет сходные с другими методами результаты, в том числе и для популяций с низкой плотностью [44, 45]. Обработка больших объёмов фото и видеоматериалов, ранее требовавшая больших трудозатрат, сейчас становится всё более доступной благодаря технологиям искусственного интеллекта [46, 47]. Преимуществом данных методов учёта является использование стандартных схем и мощный статистический аппарат.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Практика проведения учётов численности благородного оленя на территории Воронежского заповедника продемонстрировала особенности применения разных методов при разном состоянии популяции и разных возможностях их использования. В условиях малой плотности животных оказалось невозможно получить достоверную оценку численности, используя только один метод. Это позволило сделать комплексный подход. В сравнении с ним, ЗМУ даёт недоучёт оленей в среднем 50 %. Развитие современных методов учётов животных возможно решит проблему нехватки квалифицированных кадров и достоверности результатов учётов. Необходимо их тестирование в разных природных зонах на территориях с разной плотностью животных и сравнение с другими методами учёта.

Список литературы

1. Кузякин В. А. Учёт численности охотничьих животных / В. А. Кузякин. – М: Товарищество научных изданий КМК, 2017. – 320 с.
2. Acevedo P. A practical guidance on estimation of European wild ungulate population density / P. Acevedo, M. Apollonio, J. A. Blanco-Aguiar, C. Bevilacqua, F. Brivio, J. Casaer, E. Ferroglio, S. Grignolio, P. Jansen, S. Illanas, K. Kavčić, O. Keuling, P. Palencia, K. Plis, T. Podgórski, M. Rowcliffe, C. Ruiz, R. Soriguer, N. Šprem, G. Smith, M. Scandura, R. Vada, S. Zanet, Vicente. – ENETWILD Consortium, 2022. – 70 p.
3. Лихацкий Ю. П. Состояние ресурсов европейского благородного оленя и влияние биотехнических мероприятий на рост численности вида / Ю. П. Лихацкий, С. Г. Коломейцев, Е. Ю. Лихацкий, В. В. Куликов // Труды Ростовского ГООХ. – 2012. – Выпуск 1. – С. 120–153.
4. Лавров Л. С. Воронежский заповедник / Л. С. Лавров, В. А. Семенов, В. В. Трегубов // Заповедники европейской части РСФСР. Часть II. Под ред. В. В. Соколова, Е. Е. Сыроечковского. – М.: Мысль, 1989. – С. 164–187.
5. Гончарова Н. Л. Динамика структуры площадей Воронежского заповедника и основных характеристик древостоев (1937–2013 гг.) / Н. Л. Гончарова, Е. А. Стародубцева // Труды Воронежского государственного заповедника. – 2016. – Выпуск 28. – С. 328–359.
6. Лихацкий Ю. П. Ресурсовосстановительная роль Воронежского заповедника и современное состояние ресурсов европейского благородного оленя / Ю. П. Лихацкий, С. Г. Коломейцев, Н. В. Коськов // Труды Воронежского государственного заповедника. – 2007. – Выпуск 25. – С. 22–45.
7. Лихацкий Ю. П. Динамика сообществ копытных животных в условиях заповедания и эксплуатации / Ю. П. Лихацкий, С. Г. Коломейцев // Роль особо охраняемых природных

- территорий Центрального Черноземья в сохранении и изучении биоразнообразия лесостепи. – Воронеж: ООО «Кривичи», 2002. – С. 133–154.
8. Мишин А. С. Современное состояние популяции европейского благородного оленя в Воронежском заповеднике / А. С. Мишин // Сохранение разнообразия животных и охотничье хозяйство России. Материалы 6-й Международной научно-практической конференции. – 2015. – С. 286.
 9. Мертц П. А. Учет европейского оленя методом прогона и подхода в Воронежском заповеднике / П. А. Мертц, М. И. Крюков // Научно-методические записки. – 1940. – № 7.
 10. Жарков И. В. Основные методы учета диких копытных / И. В. Жарков // Методы учета численности и географического распределения наземных позвоночных. – М.: АН СССР, 1952. – С. 214–238.
 11. Летопись природы Воронежского государственного заповедника 1975, 1998–2023 гг.
 12. Лихацкий Ю. П. Экология сообществ копытных животных Русской лесостепи / Ю. П. Лихацкий. – Воронеж, 1997. – 172 с.
 13. Мишин А. С. Организация подкормочных площадок для копытных и проведение учётных работ по копытным и волку в Воронежском заповеднике в 2011–2012 годах / А. С. Мишин, В. В. Славгородский // Труды Воронежского государственного заповедника. – 2012. – Выпуск 27. – С. 214–220.
 14. Методика учета численности охотничьих ресурсов методом зимнего маршрутного учёта (Приказ Минприроды России от 11.01.2012, приложения к приказу ФГБУ «Центрохотконтроль» от 13.11.2014, приложения к приказам ФГБУ «ФНИЦ Охота» 2021–2023 гг.).
 15. Мишин А. С. Зимний маршрутный учёт в Воронежском заповеднике: опыт проведения и первичной обработки данных / А. С. Мишин // Вестник Тульского государственного университета. Всероссийская научная конференция «Изучение и сохранение биоразнообразия Тульской области и других регионов России», посвященная перспективам создания национального парка «Тульские засеки». (Тула, 23–26 ноября 2021 г.). – Тула: Изд-во ТулГУ, 2021. – С. 342–348.
 16. Мишин А. С. Опыт применения фотоловушек для учёта копытных на подкормочных площадках / А. С. Мишин // Труды Воронежского государственного заповедника. – 2016. – Выпуск 28. – С. 278–286.
 17. Шостак С. В. Учет благородного оленя на реве и динамика его численности в Беловежской пуше / С. В. Шостак, В. А. Вакула // Заповедники Белоруссии. – Минск: Ураджай, 1977. – Выпуск 1. – С. 79–87.
 18. Соломатин А. О. Гон у европейского благородного оленя / А. О. Соломатин // Бюлл. МОИП. – 1987. – Т. 92, № 1. – С. 24–31.
 19. Козорез А. И. Использование современных подходов в учетах самцов оленя в период гона / А. И. Козорез // Лесное и охотничье хозяйство. – 2009. – № 12. – С. 28–32.
 20. Kamler J. F. Home ranges of red deer in a European old-growth forest / J. F. Kamler, W. Jedrzejewski, B. Jedrzejewska // The American midland naturalist. – 2008. – Vol. 159, No 1. – P. 75–82.
 21. Carranza J. Territoriality as a mating strategy in red deer / J. Carranza, F. Alvarez, T. Redondo // Animal Behavior. – 1990. – Vol. 40, № 1. – P. 79–88.
 22. Jarnemo A. Home range sizes of red deer in relation to habitat composition: a review and implications for management in Sweden / A. Jarnemo, L. Nilsson, C. Wikenros // European Journal of Wildlife Research. – 2023. – Vol. 69, No 5. – P. 92. doi: 10.1007/s10344-023-01719-6
 23. Кузнецова М. В. Генетический статус благородных оленей (*Cervus elaphus*) Ростовской области и других регионов европейской части России: результаты анализа митохондриальной ДНК / М. В. Кузнецова, В. И. Сурьев, Ю. П. Лихацкий, С. Г. Коломейцев, Т. П. Сипко, М. В. Холодова // Вестник охотоведения. – 2013. – Т. 10, № 1. – С. 53–65.
 24. Golosova O. S. Vocal phenotype of male rutting roars and genetic markers delineate East European red deer (*Cervus elaphus*) from Central and West European populations / O. S. Golosova, M. V. Kholodova, I. A. Volodin, E. V. Volodina, E. Y. Likhatsky, A. Náhlik, T. Tari // The Science of Nature. – 2021. – No 108. – P. 1–18. doi: 10.1007/s00114-021-01742-0

25. Русанов Я. С. Учет численности животных методом повторного оклада / Я. С. Русанов // Труды Окского государственного заповедника. Методы учета охотничьих животных в лесной зоне. – 1973. – Выпуск 9. – С. 62–68.
26. Сапельников С. Ф. Численность млекопитающих. Зимний маршрутный учет. 1995–1996, 1996–1997 гг / С. Ф. Сапельников // Научные исследования в заповедниках и национальных парках России (Федеральный отчет за 1996–1997 годы). – 2001. – Вып. 2. – Часть 2.
27. Наумов П. П. Пути решения проблемы внедрения и применения методик зимнего маршрутного учета охотничьих животных (ЗМУ – 2001–2013 гг.) / П. П. Наумов // Климат, экология, сельское хозяйство Евразии: материалы III международной научно-практической конференции, посвященной 80-летию образования ИрГСХА (Иркутск, 29–31 мая 2014 года). – Иркутск: Иркутская государственная сельскохозяйственная академия, 2014. – С. 236–244.
28. Марченко Н. Ф. Млекопитающие Хопёрского заповедника. Повидовой обзор. Отряд Artiodactyla, Owen, 1848 – Парнопалые / Н. Ф. Марченко // Труды Хопёрского государственного заповедника. – Воронеж: «Научная книга», 2014. – Выпуск 9. – С. 137–172.
29. Червонный В. В. Сравнительный анализ разных методов учета копытных и оценка их результатов / В. В. Червонный // Региональные геосистемы. – 2014. – Т. 28, № 17 (188). – С. 86–94.
30. Ciucci P. Pitfalls in using counts of roaring stags to index red deer (*Cervus elaphus*) population size / P. Ciucci, G. Catullo, L. Boitani // Wildlife Research. – 2009. – Vol. 36, No 2. – P. 126–133.
31. Douhard M. Roaring counts are not suitable for the monitoring of red deer (*Cervus elaphus*) population abundance / M. Douhard, C. Bonenfant, J. Gaillard, J. L. Hamann, M. Garel, J. Michallet, F. Klein // Wildlife Biology. – 2013. – Vol. 19, No 1. – P. 94–101.
32. Данилкин А. А. Оленьи (*Cervidae*). Млекопитающие России и сопредельных регионов / А. А. Данилкин. – М.: ГЕОС, 1997. – 552 с.
33. Мишин А. С. Состояние популяции кабана (*Sus scrofa* L.) в Воронежском заповеднике после эпизоотии африканской чумы свиней. / А. С. Мишин, Б. В. Ромашов, Н. Б. Ромашова // Вестник охотоведения. – 2021. – Т. 18, № 4. – С. 216–225.
34. Швырев А. Д. Сравнение данных о численности оленей, полученных различными методами зимнего учёта / А. Д. Швырев, Ю. Е. Вашукевич // Научные исследования и разработки к внедрению в АПК. Материалы Всероссийской студенческой научно-практической конференции. – Молодежный, 2022. – С. 573–579.
35. Козорез А. И. Непреодолимые противоречия зимнего маршрутного учета диких животных / А. И. Козорез, А. В. Гуринович // Труды БГТУ. Серия 1: Лесное хозяйство, природопользование и переработка возобновляемых ресурсов. – 2019. – № 2 (222). – С. 149–155.
36. Сицко А. А. О новых методиках учета охотничьих ресурсов / А. А. Сицко // Вестник охотоведения. – 2022. – Т. 19, № 2. – С. 120–125.
37. Турушев А. А. ЗМУ, что это? Метод учета охотничьих ресурсов или инструмент давления на охотпользователей / А. А. Турушев // Ресурсы дичи и рыбы: использование и воспроизводство. Материалы III Всероссийской (национальной) научно-практической конференции, посвященной 70-летию Красноярского государственного аграрного университета (Красноярск, 09 декабря 2022 г.). – Красноярск: Красноярский государственный аграрный университет, 2023. – С. 172–181.
38. Кондратенков И. А. Некоторые аспекты теории зимнего маршрутного учета охотничьих животных / И. А. Кондратенков // Поволжский экологический журнал. – 2018. – Т. 1. – С. 26–48.
39. Наумов П. П. Методика площадного трансектного учета ресурсов охотничьих животных / П. П. Наумов // Современные проблемы охотоведения. Материалы международной научно-практической конференции, посвященной 60-летию учебно-опытного охотничьего хозяйства «Голоустное» имени О. В. Жарова в рамках X международной научно-практической конференции «Климат, экология, сельское хозяйство Евразии». – Молодежный, 2021. – С. 120–126.
40. Ромашин А. В. Перспективный метод маршрутного учета (метод Дистанций) для копытных и некоторых хищных животных в условиях Сочинского национального парка / А. В. Ромашин // Вестник охотоведения. – 2022. – Т. 19, № 2. – С. 115–119.
41. Глушков В. М. Технология стандартизации параметров зимнего маршрутного учета охотничьих животных / В. М. Глушков, В. А. Соловьев // Современные проблемы охотоведения и сохранения биоразнообразия. Материалы Международной научно-практической конференции, посвященной 25-летию образования УП «Белгосохота». – Минск, 2023. – С. 53.

42. Просеков А. Ю. Современные методы учета охотничьих животных / А. Ю. Просеков, А. П. Каледин, С. В. Бекетов, О. Н. Голубева, А. М. Остапчук // Успехи современной биологии. – 2023. – Т. 143, № 5. – С. 439–453. doi: 10.31857/S0042132423050058
43. Огурцов С. С. Оценка плотности населения млекопитающих с помощью фотоловушек на основе модели случайных столкновений: теоретические основы и практические рекомендации / С. С. Огурцов // Nature Conservation Research. Заповедная наука. – 2023. – Т. 8, № 1. – С. 1–23. doi: 10.24189/nrc.2023.007.
44. Loonam K. E. Estimating abundance of an unmarked, low-density species using cameras / K. E. Loonam, D. E. Ausband, P. M. Lukacs, M. S. Mitchell, H. S. Robinson // The Journal of Wildlife Management. – 2021 – Vol. 85, No 1. – P. 87–96. doi: 10.1002/jwmg.21950.
45. Palencia P. Random encounter model is a reliable method for estimating population density of multiple species using camera traps / P. Palencia, P. Barroso, J. Vicente, T. R. Hofmeester, J. Ferreres, P. Acevedo // Remote Sensing in Ecology and Conservation. – 2022. – Vol. 8, No 5. – P. 670–682. doi: 10.1002/rse2.269.
46. Lenzi J. Artificial intelligence for automated detection of large mammals creates path to upscale drone surveys / J. Lenzi, F. Andrew, Barnas, A. A. ElSaid, T. Desell, R. F. Rockwell, S. N. Ellis-Felege // Scientific Reports. – 2023. – Vol. 13, No 1. – P. 947. doi: 10.1038/s41598-023-28240-9.
47. Огурцов С. С. Применение технологий искусственного интеллекта при обработке изображений с фотоловушек: принципы, программы, подходы / С. С. Огурцов, В. А. Ефремов, А. В. Леус // Принципы экологии. – 2024. – Т. 1. – С. 4–37. doi: 10.15393/j1.art.2024.14662.

PROBLEMS OF THE NUMBER ESTIMATION OF UNGULATES BY EXAMPLE OF RED DEER (*CERVUS ELAPHUS L.*) IN THE VORONEZHSKY NATURE RESERVE

Mishin A. S.

*Voronezhsky State Nature Biosphere Reserve, Voronezh, Russian Federation
E-mail: mishin.vrn@gmail.com*

The article presents a review of the census methods of ungulates used in the Voronezhsky Reserve located in the northern part of the forest island among the agriculture landscapes (N51.9490, E039.5970). The nature protected area occupies 31 000 ha. Voronezhsky Reserve has a long history of ungulate surveys. We devoted the main attention to the peculiarities of red deer census. We reflected features of various methods over 20 years during a different population status: a decrease in numbers and its subsequent restoration. The main methods of census were block counts, drive counts and expert assessment. The change in census methods is mainly due to the lack of qualified field workers and nature conditions in the forest. The deer population fluctuated from over 1000 to 50 animals and the population was close to extinction. Then the population restored to 150 individuals.

An analysis of the modern approach to census of deer in the Reserve is carried out – winter route census and a complex assessment using all available materials (winter route census data, census at feeding points, analysis of encounters, registrations by camera traps and tracks. It is shown that the winter route census method underestimates the real number of animals by at least 50 %. We noted a similar value of underestimation in the comparing

data on the number of wild boar obtained using the winter route census and complex census methods. The results of the complex assessment are in good agreement with the data of the autumn census of stags during the roar.

The informativeness of the complex approach we use, unfortunately, does not cancel out its significant flaws. The main ones are the strong dependence on subjectivity in the analysis of all materials and the lack of a statistics data processing. Probably, another game manager will analyze the initial data differently and it will be impossible to verify this.

In the current conditions of lack of qualified field workers, the most promising methods may be modern technologies that do not require the organization of mass accounting work. Drones with thermal imaging cameras takes aerial surveys to a new level. Methods for surveying various animal using camera traps are rapidly developing. Animal density estimation based on the random encounter model (REM) provides similar results to other methods, including for low-density populations. Processing large volumes of photo and video materials, which previously required a lot of labor, is now becoming more accessible thanks to artificial intelligence technologies. The advantage of these accounting methods is the use of standard schemes and a powerful statistics.

Keywords: ungulates, red deer, *Cervus elaphus*, census, winter route census.

References

1. Kuzyakin V. A., *Census of game animal population*, 320 p. (Scientific press KMK, Moscow, 2017).
2. Acevedo P., Apollonio M., Blanco-Aguilar J. A., Bevilacqua C., Brivio F., Casaer J., Ferroglio E., Grignolio S., Jansen P., Illanas S., Kavčić K., Keuling O., Palencia P., Plis K., Podgórski T., Rowcliffe M., Ruiz C., Soriguer R., Šprem N., Smith G., Scandura M., Vada R., Zanet S., Vicente., *A practical guidance on estimation of European wild ungulate population density*, 70 p. (ENETWILD Consortium, 2022).
3. Lihatsky Y. P., Kolomeytcov S. G., Lihatsky E. Y., Kulikov V. V., The state of the European red deer resources and the impact of biotechnical measures on the growth of the species population, *Articles of the Rostov state hunting farm*, **1**, 120 (2012).
4. Lavrov L. S., Semenov V. A., Tregubov V. V., Voronezhsky Reserve, *Reserves of the European part of the RSFSR. Part II*. Edited by Sokolov V. V., Syroechkovsky E. E., 164. (Moscow 1989)
5. Goncharova N. L., Starodubceva E. A., Dynamics of the structure of the Voronezhsky Reserve and the main characteristics of forest stands (1937–2013), *Articles of the Voronezhsky State Reserve*, **28**, 328 (2016).
6. Lihatsky Y. P., Kolomeytcov S. G., Koskov N. V., The resource-restoring role of the Voronezhsky Reserve and the current state of European red deer resources, *Articles of the Voronezhsky State Reserve*, **25**, 22 (2007).
7. Lihatsky Y. P., Kolomeytcov S. G., Dynamics of ungulate communities under conservation and exploitation conditions, *The role of protected natural areas of the Central Black Earth Region in the conservation and study of forest-steppe biodiversity*, (Voronezh, 2002), p. 133.
8. Mishin A. S., Current status of the European red deer population in the Voronezhsky Reserve, *Conservation of animal diversity and hunting industry in Russia. Proceedings of the 6th International scientific and practical conference*, (Moscow, 2015), p. 286.
9. Mertc P. A., Krukov M. B., Census of European deer by the method of drive and approach in the Voronezhsky Reserve, *Scientific and methodological notes*, **8** (1940).
10. Zharkov I. V., Basic methods of census of wild ungulates, *Methods of census of numbers and geographical distribution of terrestrial vertebrates*. p. 214 (Academy of Sciences of the Soviet Union, Moscow, 1952).
11. Chronicle of Nature of Voronezhsky State Reserve. 1975, 1998–2023.

12. Lihatsky Y. P., *Ecology of ungulate communities of the Russian forest-steppe*, 172 p. (Voronezh, 1997).
13. Mishin A. S., Slavgorodsky V. V. Organization of feeding points for ungulates and conducting census on ungulates and wolves in the Voronezhsky Nature Reserve in 2011–2012, *Articles of the Voronezhsky State Reserve*, **27**, 214 (2012).
14. Methodology of the winter route census (Order of the Ministry of Natural Resources of Russia dated 11.01.2012, appendix to the order of the Federal State Budgetary Institution "Tsentrkhokontrol" dated 13.11.2014, appendices to the orders of the Federal State Budgetary Institution "Federal Research Center for Hunting" 2021-2023).
15. Mishin A. S., Winter route census in the Voronezhsky Nature Reserve: experience of conducting and primary data processing, *Bulletin of Tula State University. All-Russian scientific conference "Study and conservation of biodiversity of the Tula region and other regions of Russia, dedicated to the prospects for creating the Tula Zaseki national park*, p. 342 (Tula State University, Tula, 2021).
16. Mishin A. S., Experience of using camera traps to count ungulates at feeding points, *Articles of the Voronezhsky State Reserve*, **28**, 278 (2016).
17. Shostak S. V., Vakula S. V., Census of red deer at roaring and its population dynamics in Belovezhskaya Pushcha, *Belarus Reserves*, **1**, 79 (Uradzhay, Minsk, 1977).
18. Solomatin A. O., European red deer rut, *Bulletin of Moscow Society of Naturalists Biological Series*, **92** (1), 24 (1987).
19. Kozorez A. I., Using modern approaches to count for stags during the rutting season, *Forestry and hunting*, **12**, 28 (2009).
20. Kamler J. F., Jedrzejewski W., Jedrzejewska B., Home ranges of red deer in a European old-growth forest, *The American midland naturalist*, **159** (1), p. 75 (2008).
21. Carranza J., Alvarez F., Redondo T., Territoriality as a mating strategy in red deer, *Animal Behaviour*, **40** (1), 79 (1990).
22. Jarnemo A., Nilsson L., Wikenros C., Home range sizes of red deer in relation to habitat composition: a review and implications for management in Sweden, *European Journal of Wildlife Research*, **69** (5), 92 (2023). doi: 10.1007/s10344-023-01719-6
23. Kuznetsova M. V., Surjev V. I., Kolomejsev S. G., Likhatskiy Y. P., Sipko T. P., Kholodova M. V., Genetic status of red deer (*Cervus elaphus*) inhabiting Rostov region and some other regions of Europe part of Russia: results of a mitochondrial DNA investigation, *The herald of game management*, **10** (1), 53 (2013).
24. Golosova O. S., Kholodova M. V., Volodin I. A., Volodina E. V., Likhatsky E. Y., Náhlik A., Tari T., Vocal phenotype of male rutting roars and genetic markers delineate East European red deer (*Cervus elaphus*) from Central and West European populations, *The Science of Nature*, **108**, 1 (2021). doi: 10.1007/s00114-021-01742-0
25. Rusanov Y. S., Animal census by the method of repeated census, *Methods of census of game animals in the forest zone. Articles of the Oksky State Nature Reserve*, **9**, 62 (1973).
26. Sapelnikov S. F., Number of mammals. Winter route census. 1995-1996, 1996-1997. *Scientific researches in nature reserves and national parks of Russia (Federal report for 1996-1997*, **2** (2), (2001).
27. Naumov P. P., Ways to solve the problem of implementation and application of methods of winter route census of game animals (2001–2013), *Climate, ecology, agriculture of Eurasia: abstracts of the III International scientific and practical conference dedicated to the 80th anniversary of the formation of the Irkutsk State Agricultural Academy*, p. 236 (Irkutsk State Agricultural Academy, Irkutsk, 2014).
28. Marchenko N. F., Mammals of the Khopersky Reserve. A species review. Artiodactyla, Owen, 1848, *Articles of the Khopersky State Reserve*, **9**, 137 (2014).
29. Chervonnyi V. V., Comparative analysis of different methods of accounting ungulates and their evaluation, *Region geosystem*, **17** (188), 86 (2014).
30. Ciucci P., Catullo G., Boitani L., Pitfalls in using counts of roaring stags to index red deer (*Cervus elaphus*) population size, *Wildlife Research*, **36** (2), 126 (2009).
31. Douhard M., Bonenfant C., Gaillard J., Hamann J. L., Garel M., Michallet J., Klein F., Roaring counts are not suitable for the monitoring of red deer (*Cervus elaphus*) population abundance, *Wildlife Biology*, **19** (1), 94 (2013).
32. Danilkin A. A., *Deers (Cervidae)*, 552 p. (GEOS, Moscow, 1999).

33. Mishin A. S., Romashov B. V., Romashova N. B., Status of the wild boar (*Sus scrofa* L.) population in the Voronezhsky Reserve after African swine fever outbreak, *The herald of game management*, **18** (4), 216 (2021).
34. Shvyrev A. D., Vashukevich Y. E., Comparison of data on the number of deer obtained by various methods of winter accounting. *Scientific research and development for implementation in the agro-industrial complex. Proceedings of the All-Russian student scientific and practical conference.* (Molodezhny, 2022), p. 573.
35. Kozorez A. I., Gurinovich A. V., Insurmountable contradictions of winter route census of wild animals, *Proceedings of BSTU. Series 1: Forestry, nature management and processing of renewable resources*, **2** (222), 149 (2019).
36. Sitsko A. A., About new methods of game animals count, *The herald of game management*, **19** (2), 120 (2022).
37. Turushev A. A., Winter route census, what is it? Method of accounting of hunting resources or a tool of pressure on hunting users, *Game and fish resources: use and reproduction. Proceedings of the III All-Russian (national) scientific and practical conference dedicated to the 70th anniversary of the Krasnoyarsk State Agrarian University.* (Krasnoyarsk State Agrarian University, Krasnoyarsk, 2023), p. 172.
38. Kondratenkov I. A., Some aspects of the theory of winter route accounting of hunting animals, *Povolzhskiy Journal of Ecology*, **1**, 26 (2018).
39. Naumov P. P., Methodology of area transect accounting of game animal resources, *Modern problems of game management. Proceedings of the International scientific and practical conference dedicated to the 60th anniversary of the educational and experimental hunting farm "Goloustnoye" named after O.V. Zharov within the framework of the X International scientific and practical conference "Climate, ecology, agriculture of Eurasia".* (Molodezhny, 2021), p. 120.
40. Romashin A. V., Promising method of counting ungulates and some predatory animals for the Sochi national park conditions, *The herald of game management*, **19**(2), 115 (2022).
41. Glushkov V. M., Solov'ev V. A., Technology of standardization of parameters of winter route census of game animals. *Modern problems of game management and conservation of biodiversity. Abstracts of the International scientific and practical conference dedicated to the 25th anniversary of the formation of the UP "Belgosohota".* (Minsk, 2023) p. 53.
42. Prosekov A. Y., Kaledin A. P., Beketov S. V., Golubeva O. N., Ostapchuk A. M., Modern methods of account of game animals]. *Biology Bulletin Reviews*, **143** (5), 439 (2023). doi: 10.31857/S0042132423050058
43. Ogurtsov S. S., Mammal population density estimation using camera traps based on a random encounter model: theoretical basis and practical recommendations, *Nature Conservation Research*. **8** (1), 1 (2023). doi: 10.24189/ncr.2023.007
44. Loonam K. E., Ausband D. E., Lukacs P. M., Mitchell M. S., Robinson H. S., Estimating abundance of an unmarked, low-density species using cameras, *The Journal of Wildlife Management*, **85** (1), 87 (2021). doi: 10.1002/jwmg.21950
45. Palencia P., Barroso P., Vicente J., Hofmeester T. R., Ferreres J., Acevedo P., Random encounter model is a reliable method for estimating population density of multiple species using camera traps, *Remote Sensing in Ecology and Conservation*, **8** (5), p. 670 (2022). doi: 10.1002/rse2.269
46. Lenzi J., Barnas A. F., ElSaid A. A., Desell T., Rockwell R. F., Ellis-Felege S. N., Artificial intelligence for automated detection of large mammals creates path to upscale drone surveys, *Scientific Reports*, **13** (1), 947 (2023). doi: 10.1038/s41598-023-28240-9
47. Ogurtsov S. S., Efremov V. A., Leus A. V., Application of artificial intelligence technologies in processing images from camera traps: principles, software, approaches, *Principy èkologii*, **1**, 4 (2024). doi: 10.15393/j1.art.2024.14662

УДК 612.743

DOI 10.29039/2413-1725-2024-10-4-159-167

МОДИФИКАЦИЯ ЛОКОМОТОРНОЙ СИНЕРГИИ ПРИ БЕГЕ РАЗЛИЧНОЙ ИНТЕНСИВНОСТИ ПО ТРЕДБАНУ

Моисеев С. А., Михайлова Е. А., Еришов В. Ю.

*Великолукская государственная академия физической культуры и спорта, Великие Луки, Россия
E-mail: sergey_moiseev@vlgafc.ru*

Цель работы заключалась в изучении пространственно-временной структуры обширных мышечных синергий в условиях возрастания интенсивности локомоций. Параметры мышечных синергий получены методом разложения матриц с применением факторного анализа. Установлено, что основные пики паттернов временной активации мышечных синергий четко соотносятся с периодами проявления наибольшей электроактивности ведущих мышц. Межмышечное взаимодействие в структуре полного цикла бегового шага может быть описано пятью базовыми временными синергиями, основные из которых демонстрируют стабильность вне зависимости от интенсивности бега. Модификация пространственной организации мышечных синергий проявляется в существенном изменении степени вовлечения отдельных мышц в структуру мышечных модулей при возрастании интенсивности выполняемой работы.

Ключевые слова: мышечные синергии, бег, управление движением, факторный анализ, электромиография.

ВВЕДЕНИЕ

Модульная концепция организации элементов двигательной системы человека предполагает объединение управляемых элементов (мышц) в малоразмерные модули и управление такими образованиями посредством центральных управляющих сигналов [1]. Архитектура таких модулей может охватывать обширные нейрональные сети спинного мозга, поскольку каждая мышца, принимающая участие в локомоторном акте, может иметь представительство в популяциях мотонейронов, локализованных в разных сегментах спинного мозга. Кроме того, отдельный мотонейронный пул может управлять несколькими мышцами. Синергия является механизмом, осуществляющим сопряжение различных двигательных модулей, локализованных на разных уровнях спинного мозга, превращая их в управляемую систему.

При исследовании структуры цикла шага при ходьбе и беге с невысокой скоростью сообщается о структурировании моторного выхода спинальных генераторов в виде пяти базовых компонент, описывающих характер межмышечного взаимодействия в строгом соответствии с периодами шагательного цикла [2]. Однако, несмотря на высокую стереотипность генерируемого локомоторного паттерна на биомеханическом уровне наблюдается довольно

большая вариативность пространственной организации паттернов межмышечного взаимодействия. Стереотипность и стабильность временных мышечных паттернов отражает наличие единой стратегии управления локомоцией человека, генерируемой центральными структурами нервной системы, прежде всего на спинальном уровне [3–5]. Однако, каким образом формируется стереотипная временная структура синергий при столь вариативных паттернах пространственной их организации во многом остается не ясным. Выяснение закономерностей формирования и модификации синергий в различных условиях локомоций имеет важное значение для развития общей теории управления произвольными движениями человека и может быть полезным для разработки средств повышения эффективности тренировочного процесса спортсменов, специализирующихся в различных легкоатлетических дисциплинах. Целью работы явилось изучение пространственно-временной структуры обширных мышечных синергий в условиях возрастания интенсивности локомоций. Конкретная задача заключалась в рассмотрении изменений степени вовлечения скелетных мышц в синергии и паттернов их временной организации в структуре полного (двустороннего) цикла бегового шага при разной интенсивности выполняемой работы.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В исследовании приняли участие 12 спортсменов, специализирующихся в беге на короткие дистанции, спортивной квалификации от 1 взрослого разряда до КМС. Возраст испытуемых составлял 18–24 года. Они выполняли бег на тредбане в четырех зонах интенсивности, определяемых величиной частоты сердечных сокращений (ЧСС). Контроль ЧСС осуществляли при помощи нагрудного датчика Polar (Финляндия). Бег, сопровождающийся работой сердца в диапазоне ЧСС 115–125 уд/мин, считали низкой интенсивностью выполняемой работы, 135–145 – умеренной, 155–165 – средней и 175–185 – высокой. Длительность бега в каждой зоне интенсивности определялась с учетом того, чтобы испытуемый совершил не менее 20 полных циклов бегового шага, 12 из которых включали в анализ. В среднем время бега в каждой зоне интенсивности не превышало 40 секунд. Общая длительность бега с учетом времени достижения ЧСС каждой зоны интенсивности и времени выполнения нагрузки не превышала 8 минут.

Во время бега регистрировали электромиограммы (ЭМГ) 16 поверхностных билатеральных мышц верхних, нижних конечностей и туловища: дельтовидной (DALTA), выпрямляющей позвоночник (ES), прямой живота (RA), большой ягодичной (GM), прямой мышцы бедра (RF), двуглавой мышцы бедра (BF), икроножной (MG), передней большеберцовой (TA). Запись ЭМГ осуществлялась биомонитором ME 6000 (Финляндия) с частотой оцифровки 2000 Гц. ЭМГ фильтровали полосовым фильтром 30–450 Гц, усредняли в интервалах 0,002 с. Синхронно с ЭМГ посредством системы «Qualisys» (Швеция) осуществляли видеозахват основных антропометрических точек сегментов тела. Период опоры определялся от постановки конечной антропометрической точки правой ноги на поверхность ленты тредбана и до ее отрыва, период переноса определялся от отрыва данной точки до постановки ее на ленту тредбана.

Зарегистрированные данные ЭМГ и координаты антропометрических точек экспортировали в Statistica (StatSoft, Inc., version 10), где формировали матрицу, состоящую из вариационных рядов регистрируемых величин и дополнительных переменных, идентифицирующих принадлежность измерений к различным испытуемым, беговым циклам, периодам бегового шага и пр. [6]. Разложение матриц осуществляли с помощью факторного анализа по методу главных компонент без вращения факторов. Исходная матрица X разлагалась на произведение двух матриц: $X=TP+E$, где T – матрица счетов, P – матрица нагрузок, E – матрица остатков.

Матрица нагрузок (P) несет информацию о взаимосвязи или независимости переменных относительно новых, формальных переменных, полученных в процессе разложения матриц – «весовые коэффициенты», чем выше коэффициент, тем больше связь с новой синергией. Весовой коэффициент более 0,70 считали высоким, от 0,35 до 0,70 – средним, менее 0,35 – низким. Матрица счетов (T) определяет временную организацию выявленных синергий и представляет собой проекции исходных данных на подпространство главных синергий – «коэффициенты активации», т.е. процесс, показывающий изменение мышечной активности каждого из факторов во времени. Использовали стандартный модуль Statistica «Mult/Exploratory – Factor». Критериями определения количества выделяемых факторов служили показатели собственных значений (>1) и процент учитываемой дисперсии каждым компонентом (не менее 5 %).

Анализировали среднюю амплитуду ЭМГ, количество извлекаемых факторов, процент общей дисперсии, учитываемый каждым фактором в общем наборе данных, весовые коэффициенты и коэффициенты активации. Статистическая обработка включала расчет среднего арифметического (M), ошибки среднего арифметического (m), стандартного отклонения (SD). Нормальность распределения данных определяли с помощью теста Шапиро-Уилка при $P>0,05$.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

При беге по тредбану динамика показателей ЭМГ скелетных мышц носила волнообразный характер, периоды относительно низкой электроактивности сменялись кратковременными периодами повышения амплитуды биопотенциалов (рис. 1).

В периоде опоры наибольшую амплитуду электроактивности относительно других мышц демонстрировали медиальная головка икроножной мышцы – $150,18\pm 60,36$ мкВ и передняя большеберцовая мышца – $111,29\pm 27,05$ мкВ правой ноги, а также двуглавая мышца бедра левой ноги – $138,52\pm 35,20$ мкВ. В период переноса ноги наибольшие значения средней амплитуды ЭМГ были получены для левой ягодичной мышцы – $76,37\pm 36,07$ мкВ, правой и левой дельтовидных мышц и левой икроножной мышцы ($70,13\pm 20,20$ мкВ и $96,57\pm 35,71$ мкВ). Эти же мышцы проявляли бóльшую электроактивность при изменении интенсивности бега.

Количество извлекаемых синергий при разной интенсивности бега существенно не различалось ($P>0,05$). При низкой и умеренной интенсивности выполняемой работы их количество достигало шести, а в среднем составляло $5,00\pm 0,40$ и $5,25\pm 0,25$ соответственно. При средней и высокой интенсивности

количество синергий варьировало от четырех до пяти. Процент объясняемой дисперсии компонентами во всех условиях превышал 80 %, что свидетельствует о высоком качестве реконструкции исходных данных.

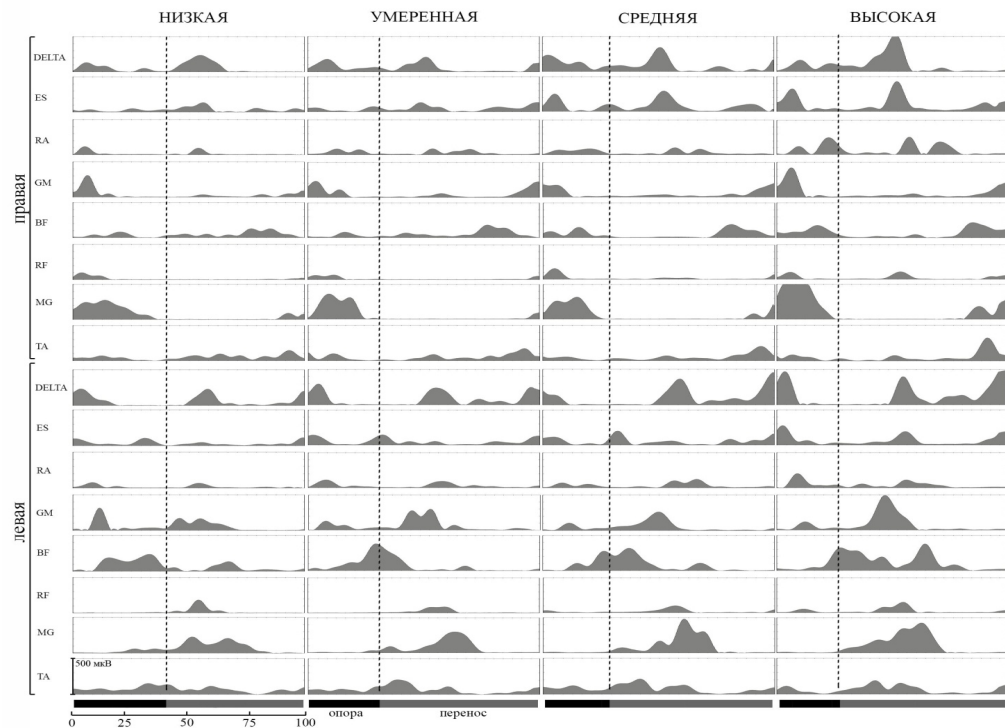


Рис. 1. Усредненная ЭМГ-активность скелетных мышц в различных периодах бегового шага при разной интенсивности бега. По оси абсцисс – прогресс цикла бегового шага (0 % – начало цикла, 100 % – окончание цикла).

Установлено, что временная структура первой синергии характеризовалась двумя выраженными пиками активации в структуре цикла бегового шага при всех рассматриваемых условиях бега (рис. 2). При разной интенсивности бега первый пик всегда приходился на начало периода опоры, а второй на начало периода переноса. Паттерны активации данной синергии демонстрировали высокое сходство при разной интенсивности локомоций ($r > 0,8$). Структура второй синергии при низкой интенсивности бега имела профиль с двумя пиками активации мышц, приходящихся на те же периоды цикла бегового шага, что и в первой синергии. Однако при увеличении интенсивности бега сохранялся только второй пик в начале периода переноса. Профили активации двух выделенных синергий демонстрировали низкую межиндивидуальную вариативность.

Профили синергий 3–5 оказались более вариативны, однако в их структуре можно выделить основные пики. Чаще в структуре названных синергий выделялось по одному основному пику активации. Например, для третьей синергии пик

активации приходился на вторую четверть цикла бегового шага при низкой интенсивности выполняемой работы (см. рис. 2). При увеличении интенсивности локомоций регистрировался один выраженный пик активации, но было отмечено его смещение на временной шкале относительно середины цикла шага в левую или правую сторону.

При изменении интенсивности бега расположение участков, отражающих возрастание электроактивности мышц, на временной шкале оставалось постоянным. Временной период основных пиков активности может быть соотнесен с событиями, характеризующими биомеханическую структуру локомоторного цикла. Так, пик активации первой синергии в первой четверти цикла бегового шага наблюдается при постановке правой ноги на опору и сопровождается возрастанием электроактивности икроножной мышцы. Постановка левой ноги на опору сопровождается возрастанием электроактивности мышц бедра и голени и характерным пиком активации временной синергии (см. рис. 2). Структура основных временных синергий (первая и вторая) и их соотношение с периодами проявления максимальных мышечных усилий сохраняется при изменении интенсивности бега.

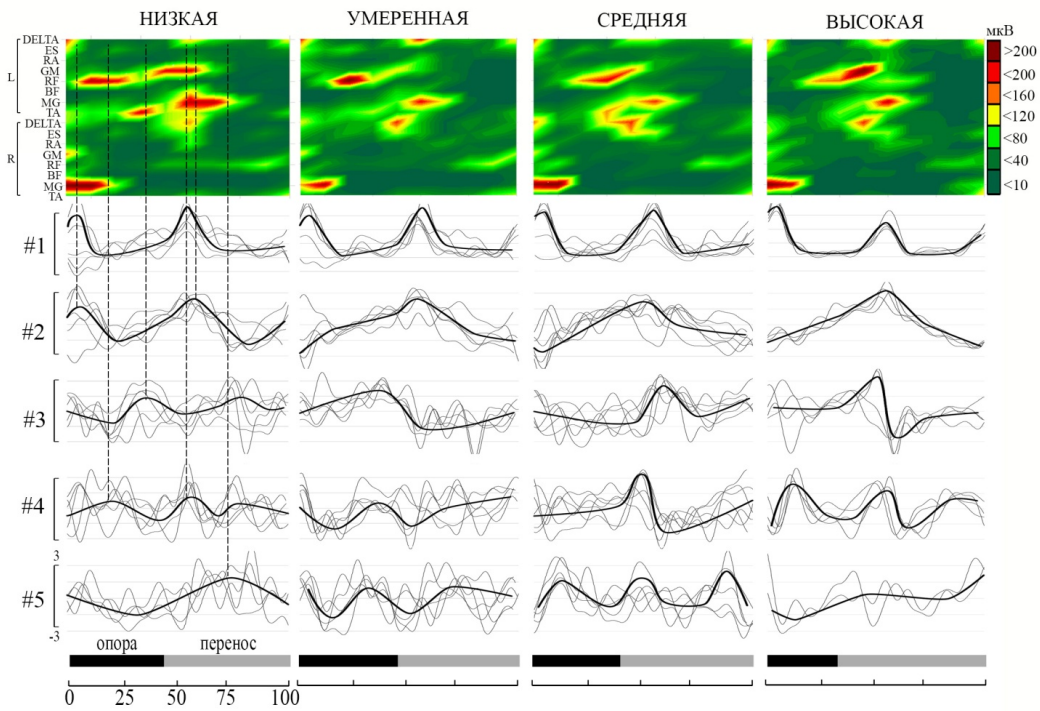


Рис. 2. Динамика средней амплитуды ЭМГ и основные временные синергии мышечной активности при беге различной интенсивности. По оси абсцисс – прогресс цикла бегового шага (0 % – начало цикла, 100 % – окончание цикла). Тонкие линии – усредненные внутрииндивидуальные профили, жирные линии – среднегрупповые профили. #1–5 – синергии.

Многие исследователи указывают на стабильность временной структуры мышечной активации, например, при педалировании на велоэргометре, при ходьбе по тредбану или при обычной ходьбе с разной скоростью даже при использовании разных методов факторизации матриц [3, 7, 8]. Однако, наблюдаются сдвиги основных пиков временной активации синергий при изменении условий реализации двигательной задачи, например, при ходьбе по неровной поверхности или при педалировании с разным уровнем сопротивления [9–13].

Характерной чертой синергии, как способа организации элементов управляемой системы является степень синхронизации мышечных активаций. Такую информацию могут дать, получаемые в результате разложения матриц, весовые коэффициенты каждой мышцы в структуре выделяемых синергий (рис. 3).

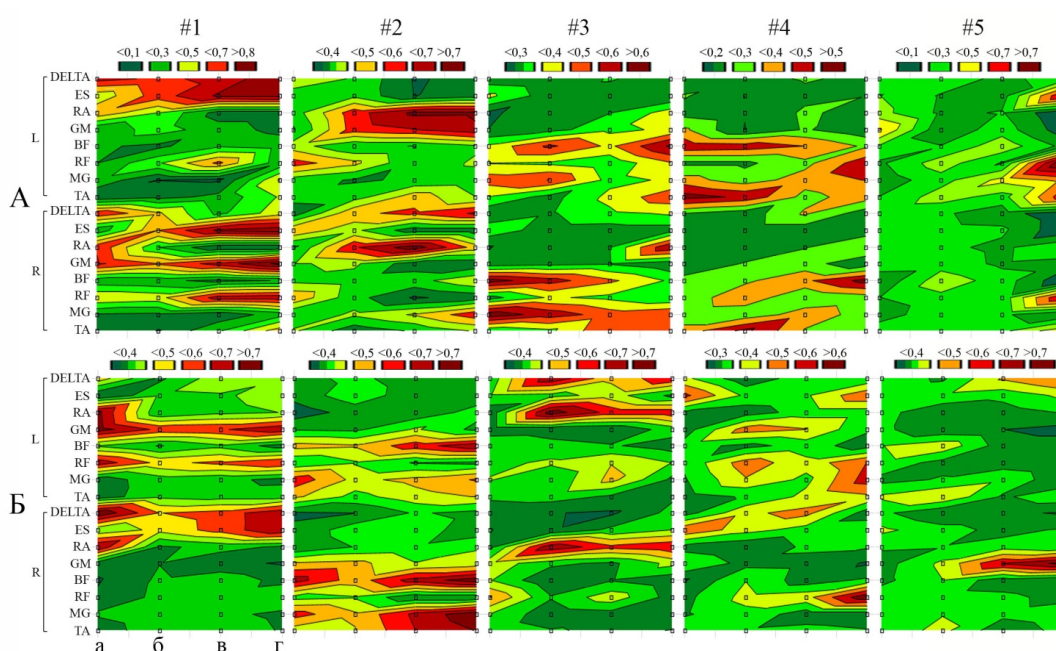


Рис. 3. Весовые коэффициенты мышц в структуре выделяемых синергий. Интенсивность бега: а – низкая, б – умеренная, в – средняя, г – высокая. L – левая сторона, R – правая сторона. #1–5 – синергии. А – период опоры, Б – период переноса ноги.

Первая синергия при низкой интенсивности бега в периоде опоры включала наибольшие коэффициенты для дельтовидной ($0,68 \pm 0,07$) прямой мышцы живота ($0,68 \pm 0,07$), а также большой ягодичной мышцы правой стороны тела – $0,71 \pm 0,04$. В периоде переноса наибольших значений достигали коэффициенты левой прямой мышцы бедра, правой дельтовидной мышцы, прямой мышцы живота обеих сторон тела, здесь значения находились в диапазоне от $0,65 \pm 0,03$ до $0,78 \pm 0,04$. Вторая синергия при той же интенсивности бега характеризовалась средними и низкими

весовыми коэффициентами мышц, а наибольших значений достигали прямая мышца бедра ($0,54 \pm 0,07$) и мышца, выпрямляющая позвоночник ($0,48 \pm 0,05$) правой стороны тела. При переносе ноги наибольшие весовые коэффициенты были получены для двуглавой мышцы бедра – $0,64 \pm 0,06$ и икроножных мышц обеих нижних конечностей ($0,54 \pm 0,03$ и $0,56 \pm 0,04$). Синергии 3–5, преимущественно, включали одну и реже две мышцы, демонстрирующие высокие коэффициенты в обоих рассматриваемых периодах цикла бегового шага.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Межмышечное взаимодействие в структуре полного цикла бегового шага может быть описано пятью базовыми временными синергиями. Основные синергии (первая и вторая) демонстрируют стабильность временной структуры вне зависимости от интенсивности локомоторной активности. Основные пики паттернов временной активации мышечных синергий четко соотносятся с периодами проявления наибольшей электроактивности ведущими мышцами. Модификация пространственной организации мышечных синергий проявляется в существенном изменении степени вовлечения отдельных мышц в структуру мышечных модулей при возрастании интенсивности выполняемой работы.

Список литературы

1. D'Avella A. Modularity for motor control and motor learning / A. D'Avella // *Advances in Experimental Medicine and Biology*. – 2016. – Vol. 957. – P. 3–19.
2. Ivanenko Y. Five basic muscle activation patterns account for muscle activity during human locomotion / Y. Ivanenko, R. Poppele, F. Lacquaniti // *J Physiol*. – 2004. – № 556 (Pt 1). – P. 267–82.
3. Hug F. Is interindividual variability of EMG patterns in trained cyclists related to different muscle synergies? / F. Hug, N. A. Turpin, A. Guével, S. Dorel // *Journal of Applied Physiology*. – 2010. – Vol. 108, № 6. – P. 1727.
4. De Marchis C. Inter-individual variability of forces and modular muscle coordination in cycling: a study on untrained subjects / C. De Marchis, M. Schmid, D. Bibbo [et. al] // *Hum Mov Sci*. – 2013. – Vol. 32, №6. – P. 1480.
5. Esmaeili J. Comparison of muscle synergies extracted from both legs during cycling at different mechanical conditions / J. Esmaeili, A. Maleki // *Australas Phys Eng Sci Med*. – 2019. – Vol. 42, №3. – P. 827.
6. Moiseev S. A. Methodological and computational aspects of extracting extensive muscle synergies in moderate-Intensity locomotions / S. A. Moiseev, A. M. Pukhov, E. A. Mikhailova, R. M. Gorodnichev // *Journal of Evolutionary Biochemistry and Physiology*. – 2022. – Vol. 58, № 1. – P. 88–97.
7. Saito A. Similarity of muscle synergies extracted from the lower limb including the deep muscles between level and uphill treadmill walking / A. Saito, A. Tomita, R. Ando [et. al] // *Gait Posture*. – 2018. – Vol. 59. – P. 134.
8. Rabbi M. F. Non-negative matrix factorization is the most appropriate method for extraction of muscle synergies in walking and running / M. F. Rabbi, C. Pizzolato, D. G. Lloyd [et. al] // *Sci Rep*. – 2020. – Vol. 10, №1. – P. 8266.
9. Моисеев С. А. Вариативность пространственно-временной структуры двигательных синергий при локомоциях различной интенсивности / С. А. Моисеев, Р. М. Городничев // *Физиология человека*. – 2022. – Т. 48, № 4. – С. 22–33.
10. Mileti I. Muscle activation patterns are more constrained and regular in treadmill than in overground human locomotion / I. Mileti, A. Serra, N. Wolf [et. al.] // *Front Bioeng Biotechnol*. – 2020. – Vol. 8. – P. 1.

11. Santuz A. Neuromotor dynamics of human locomotion in challenging settings / A. Santuz, L. Brüll, A. Ekizos [et. al] // iScience. – 2020. – Vol. 23, №1. – P. 1.
12. Santuz A. Lower complexity of motor primitives ensures robust control of high-speed human locomotion / A. Santuz, A. Ekizos, Y. Kunimasa [et. al] // Heliyon. – 2020. – Vol. 6, №10. – P. 1.
13. Nishida K. Comparison of muscle synergies for running between different foot strike patterns / K. Nishida., S. Hagio, B. Kibushi [et. al] // PLoS One. – 2017. – Vol. 12, №2. – P. 1.

LOCOMOTOR SYNERGY MODIFICATION DURING TREADMILL RUNNING OF VARYING INTENSITY

Moiseev S. A., Mikhailova E. A., Ershov V. Yu.

*Velikie Luki State Academy of Physical Education and Sports, Velikie Luki, Russia
E-mail: sergey_moiseev@vlgafc.ru*

The aim of the work was to study the spatial-temporal structure of extensive muscle synergies in conditions of increasing intensity of locomotion. The specific task was to consider changes in the degree of involvement of skeletal muscles in synergy and patterns of their temporary organization in the structure of a full (two-way) cycle of running step with different intensity of work performed.

The study involved 12 athletes specializing in short-distance running. They performed treadmill running in four intensity zones determined by the magnitude of the heart rate – low, moderate, medium, high. Electromyograms (EMG) of 16 superficial bilateral muscles of the upper, lower extremities and trunk were recorded during running. To obtain the parameters of muscle synergies, the method of matrix decomposition by factor analysis using the principal component method without factor rotation was used. The average EMG amplitude, the number of extracted factors, the percentage of total variance taken into account by each factor in the total data set, weighting factors and activation coefficients were analyzed.

It is established that the intermuscular interaction in the structure of the full cycle of a running step can be described by five basic temporal synergies. The main synergies (first and second) demonstrate the stability of the time structure regardless of the intensity of locomotor activity. The main peaks of the patterns of temporary activation of muscle synergies clearly correlate with the periods of manifestation of the greatest electrical activity by the leading muscles. Modification of the spatial organization of muscle synergies is manifested in a significant change in the degree of involvement of individual muscles in the structure of muscle modules with increasing intensity of the work performed.

Keywords: muscle synergies, running, motor control, factor analysis, electromyography.

References

1. D'Avella A. Modularity for Motor Control and Motor Learning. *Advances in Experimental Medicine and Biology*, **957**, 3 (2016)
2. Ivanenko Y., Poppele R., Lacquaniti F. Five basic muscle activation patterns account for muscle activity during human locomotion. *J Physiol*, **556** (1), 267 (2004).
3. Hug F., Turpin N. A., Guével A., Dorel S. Is interindividual variability of EMG patterns in trained cyclists related to different muscle synergies? *Journal of Applied Physiology*, **108** (6), 1727 (2010).
4. De Marchis C., Schmid M., Bibbo D., Bernabucci I., Conforto S. Inter-individual variability of forces and modular muscle coordination in cycling: a study on untrained subjects. *Hum Mov Sci*, **32** (6), 1480 (2013).
5. Esmaeili J., Maleki A. Comparison of muscle synergies extracted from both legs during cycling at different mechanical conditions. *Australas Phys Eng Sci Med*, **42** (3), 827 (2019).
6. Moiseev S. A., Pukhov A. M., Mikhailova E. A., Gorodnichev R. M. Methodological and Computational Aspects of Extracting Extensive Muscle Synergies in Moderate-Intensity Locomotions. *Journal of Evolutionary Biochemistry and Physiology*, **58** (1), 88 (2022).
7. Saito A., Tomita A., Ando R., Watanabe K., Akima H. Similarity of muscle synergies extracted from the lower limb including the deep muscles between level and uphill treadmill walking. *Gait Posture*, **59**, 134 (2018).
8. Rabbi M. F., Pizzolato C., Lloyd D. G., Carty C. P., Devaprakash D., Diamond L. E. Non-negative matrix factorization is the most appropriate method for extraction of muscle synergies in walking and running. *Sci Rep.*, **10** (1), 8266 (2020).
9. Moiseev S. A., Gorodnichev R. M. Motor Synergies Structure Variability in Different Intensity Locomotions. *Fiziologiya cheloveka*, **48** (4), 22 (2022) (in Russ).
10. Miletì I., Serra A., Wolf N., Muñoz-Martel V., Ekizos A., Palermo E., Arampatzis A., Santuz A. Muscle Activation Patterns Are More Constrained and Regular in Treadmill Than in Overground Human Locomotion. *Front Bioeng Biotechnol.*, **8**, 619 (2020).
11. Santuz A., Brüll L., Ekizos A., Schroll A., Eckardt N., Kibele A., Schwenk M., Arampatzis A. Neuromotor Dynamics of Human Locomotion in Challenging Settings. *iScience.*, **23** (1), 1 (2020).
12. Santuz A., Ekizos A., Kunimasa Y., Kijima K., Ishikawa M., Arampatzis A. Lower complexity of motor primitives ensures robust control of high-speed human locomotion. *Heliyon.*, **6** (10), 1. (2020).
13. Nishida K., Hagio S., Kibushi B., Moritani T., Kouzaki M. Comparison of muscle synergies for running between different foot strike patterns. *PLoS One*, **12** (2), 1 (2017).

УДК 614.76:549.2

DOI 10.29039/2413-1725-2024-10-4-168-175

ВЛИЯНИЕ АКУСТИЧЕСКИХ ЭКРАНОВ АВТОМАГИСТРАЛЕЙ НА СОДЕРЖАНИЕ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ В ПРИЛЕГАЮЩИХ ПОЧВЕННЫХ ПОКРОВАХ

Парфенова А. Е.^{1,2}, Горбунов Р. В.²

¹Московский государственный строительный университет, Москва, Российская федерация

²ФИЦ «Институт биологии южных морей им. А. О. Ковалевского РАН», Севастополь, Российская федерация

E-mail: parfyonova.la@yandex.ru

В работе исследуется защитный эффект акустических экранов, расположенных вдоль Ярославского шоссе (трасса М 8, 24 км) на прилегающие почвенные покровы. Образцы почв отбирали на расстоянии 40–45 м за экраном и в местах технологических разрывов (повороты на второстепенные дороги). В полученных образцах определяли содержание тяжелых металлов: свинца, меди, цинка, кадмия, никеля, хрома, железа, олова, стронция. В работе использовали масс-спектрометр с индуктивно связанной плазмой – PlasmaQuant MS Elite S-NR:11-6000ST043 (Austria). Установлено, что акустические экраны позволяют существенно снизить содержание ТМ в почвенных покровах. Наибольший защитный эффект был выявлен в отношении меди, стронция и олова (снижение в 2–4 раза). В меньшей степени (30–35 %) он затрагивал содержание железа, свинца, хрома и никеля. В отношении кадмия защитный эффект выявлен не был. Содержание меди и кадмия в почвах в районе 24 км Ярославского шоссе существенно превышало ориентировочные допустимые концентрации ТМ в почвенных покровах (ОДК).

Ключевые слова: автомагистраль, акустические экраны, почвы, тяжелые металлы.

ВВЕДЕНИЕ

Известно, что крупные автомагистрали с интенсивным транспортным потоком являются основным источником загрязнения воздуха и прилегающих почвенных покровов тяжелыми металлами (ТМ) [1–4]. Наиболее значимыми среди них являются свинец, цинк, медь, в меньшей степени никель и кадмий [4]. О степени загрязнения ТМ почв позволяет судить Государственный временный гигиенический регламент максимального допустимого содержания экзогенного химического вещества в почвах – ориентировочная допустимая концентрация (ОДК) (ГН 2.1.7.2511-09) [5] (Ориентировочно..., 2009). Следует отметить, что после принятия Федерального закона от 22 марта 2003 г. № 34-ФЗ «О запрете производства и оборота этилированного автомобильного бензина в Российской Федерации» ситуация существенно улучшилась. Доля свинца в почвенных покровах снизилась. В загрязнениях стали доминировать медь и цинк [4].

В последнее время стали обращать внимание на защитные акустические экраны, которые размещают вдоль автомагистралей для снижения степени

шумового воздействия на прилегающие территории [6]. Оказалось, что помимо основного назначения они выполняют и ряд второстепенных позитивных функций: снижают концентрацию взвешенных частиц в 10–12 раз; содержание оксида и диоксида азота в 3–10 раз, а уровень ТМ практически до нуля [6]. Последнее требует проверки. Трудно представить, что акустические экраны полностью устраняют негативное действие данного фактора на прилегающие почвенные покровы, учитывая ветровую деятельность.

В настоящей работе предлагается исследовать содержание ТМ в образцах почвы, взятой за экраном (40–45 м) и в местах технологических разрывов (повороты на второстепенные дороги) там, где защитное действие экрана не выражено. Сравнительное исследование позволит судить о степени снижения нагрузки ТМ на почвенные покровы, расположенные за акустическим экраном.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Полигон наблюдений

В качестве полигона наблюдений выбран 24 км Ярославского шоссе (трасса М8). Магистраль имеет 10 полос и характеризуется интенсивным транспортным потоком (рис. 1А). Акустический экран относится к Г-типу и имеет высоту 6.5 м (рис. 1Б). Местами имеются технологические разрывы для въезда с прилегающих территорий (рис. 1В). Ширина последних составляет 25–40 м.

Образцы почв получали при помощи почвенного бура на расстоянии 40–45 м от акустического экрана и мест въезда с прилегающих территорий: всего 5 точек (2 – за экраном; 3 – местах технологических разрывов). В каждой из точек образцы отбирали трижды в пределах 1 м²: всего 6 точек за экраном и 9 точек в местах отсутствия экрана.

Подготовка проб почвы для анализа

Пробоподготовка проводилась в соответствии с рекомендациями [7]. Образцы почвы просеивали через сито 1 см и высушивали в сушильном шкафу при 105 °С в течение 90 мин. Навеску почвы в 10 г заливали 50 мл азотной кислотой, разбавленной дистиллированной водой в соотношении 1:1. Полученную взвесь кипятили в течение 10 мин. Затем вносили 10 мл концентрированной перекиси водорода и повторно кипятили в течение 10 мин. Полученную суспензию фильтровали (фильтр «синяя лента») в мерную колбу (100 мл). Осадок заливали 40 мл 1М азотной кислотой и повторно кипятили в течение 30 мин. После охлаждения жидкость фильтровали в ту же мерную колбу. Фильтр промывали горячей азотной кислотой. После охлаждения объем доводился до 100 мл бидистиллятом. В полученном растворе определяли валовое содержание ТМ.

Определение содержания ТМ

Определение содержания ТМ проводили на базе ЦКП ФИЦ «Институт биологии южных морей им. А. О. Ковалевского РАН» г. Севастополь. В работе был задействован масс-спектрометр с индуктивно связанной плазмой – PlasmaQuant MS Elite S-NR:11-6000ST043 (Austria). Оценивали уровень свинца, меди, цинка, кадмия, никеля, хрома, железа, олова, стронция. Результаты выражали в мг кг⁻¹ почвы.



А

Б



Б

Рис. 1. Движение автотранспорта по Ярославскому шоссе (трасса М8) (А – общий вид транспортного потока машин; Б – акустический экран Г-типа; В – выезд машин с прилегающих территорий).

Статистический анализ

При проведении сравнительного анализа применен однофакторный дисперсионный анализ (ANOVA) PAST Version 4.09 software. Статистические сравнения проводили на основе непараметрического U-критерия Манна-Уитни. Цифровой материал обработан с использованием стандартного пакета Grapher (версия 7). Результаты представлены как $M \pm m$. Минимальный уровень значимости составлял $p < 0,05$. Объемы выборочных совокупностей указаны выше.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Результаты исследований представлены в таблице 1. Максимальные значения были зарегистрированы для точек отбора почвенных проб № 1–3. Наиболее высокий уровень был отмечен для железа и меди: $205\text{--}247 \text{ мг кг}^{-1}$ и $132\text{--}213 \text{ мг кг}^{-1}$ соответственно. Уровень почвенного свинца, стронция, хрома и никеля был в 4–10 раз ниже – $17\text{--}56 \text{ мг кг}^{-1}$. Содержание кадмия составляло $1\text{--}4 \text{ мг кг}^{-1}$, а олова и цинка не превышало 1 мг кг^{-1} .

Таблица 1
Содержание ТМ в образцах почвы за акустическим экраном и в местах его отсутствия

Точки отбора проб	Тяжелые металлы, мг кг ⁻¹ почвы								
	Железо	Медь	Свинец	Стронций	Хром	Никель	Кадмий	Олово	Цинк
1	205,1±15,7	212,6±37,9	55,5±15,2	37,7±11,4	24,8±7,5	16,7±12,0	4,2±0,1	0,5±0,04	0,009±0,004
2	246,8±37,4	214,3±84,3	43,9±2,5	20,9±2,6	22,7±4,1	18,1±4,7	1,9±0,2	0,2±0,15	0,035±0,0012
3	218,5±69,2	131,6±33,5	23,5±1,1	55,1±0,8	22,4±0,6	23,0±13,0	2,4±0,4	0,5±0,19	0,008±0,004
4	164,1±22,2	81,8±18,3	27,8±5,5	17,1±3,3	21,1±6,2	20,5±1,3	3,7±0,4	0,1±0,09	0,007±0,0003
5	160,6±19,3	73,0±2,9	31,1±5,2	20,8±0,9	12,1±0,7	7,5±4,4	1,6±0,1	0,1±0,05	0,017±0,001

Примечание: образцы 1–3 взяты в местах отсутствия экрана; образцы 4,5 взяты за экраном

В образцах почвы № 4, 5 полученные значения содержания ТМ были практически во всех случаях ниже, что позволяет говорить о защитном эффекте акустического экрана. Для проведения статистического сравнения выборочные совокупности для проб № 1–3 и № 4, 5 объединяли в две самостоятельные выборки, которые представлены на рисунке 2.

Из графиков видно, что акустический экран снижал содержание ТМ в почвенном покрове. Исключение составил кадмий. Значения для первой и второй выборок были близкими: $2,8 \pm 0,2$ и $2,7 \pm 0,3$ мг кг⁻¹. Максимальные различия были зарегистрированы для меди, стронция и олова – 2–4 раза ($p < 0,05$). В отношении железа и цинка они находились на уровне 30 % ($p < 0,05$). В остальных случаях (свинец, хром, никель) снижение не было статистически значимо в виду вариабельности полученных значений.

Сопоставление полученных результатов с ориентировочными допустимыми концентрациями ТМ в почвенных покровах (ОДК) (ГН 2.1.7.2511-09) [5] позволяет констатировать существенное превышение уровня меди в местах отсутствия защитного экрана. Наличие экрана снижало уровень данного катиона, но полученные значения также превышали допустимый уровень (33 мг кг⁻¹). Следует обратить внимание также на высокое содержание кадмия. Величины ОДК ($0,5$ мг кг⁻¹) были превышены во всех точках отбора проб. Повышенный уровень свинца был выявлен в точках № 1 и 2. За экраном значения не превышали ОДК (32 мг кг⁻¹).

После запрета производства этилированного бензина (Федеральный закон от 22 марта 2003 г. № 34-ФЗ) содержание свинца в выхлопных газах автомобилей, как известно, снизилось, а меди возросло [4]. Это отражают и полученные в настоящей работе результаты: содержание меди в прилегающей к шоссе почве в разы превышало ОДК, тогда как свинца было близко к нормальных величинам.

Как уже отмечалось, характерной особенностью почвенных покровов в районе 24 км Ярославского шоссе явилось высокой содержание железа (более 200 мг кг⁻¹). Известно, что минеральные частицы природного фона, прошедшие через камеру внутреннего сгорания и выхлопную систему автомобиля, сорбируют на себе различные соединения, включая ТМ [8, 9]. В частности, макрочастицы (100 – 2000 мкм) содержат в

основном катионы железа [10, 11], что, по-видимому, и является основным источником загрязнения прилегающих к шоссе почвенных покровов. Доказательством данного положения является также обнаруженный в настоящей работе факт снижения содержания железа в почвах, расположенных за акустическим экраном.

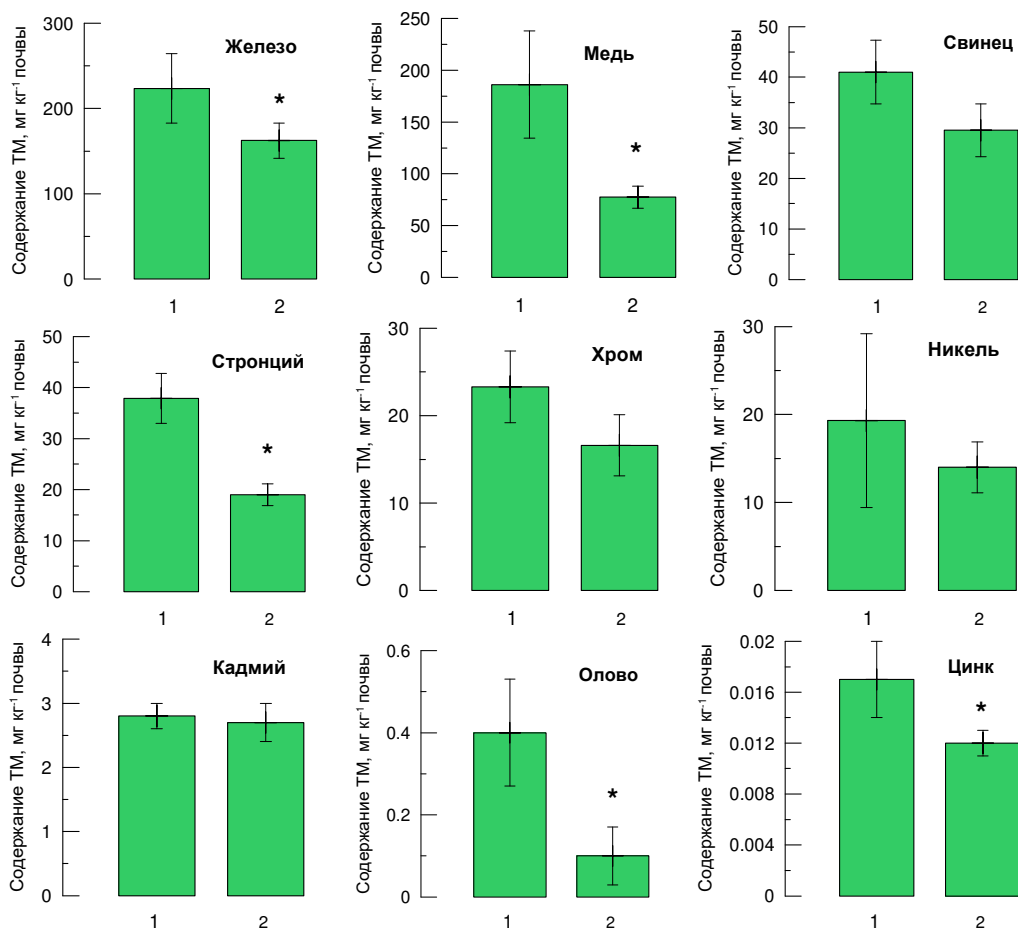


Рис. 2. Содержание ТМ в почвах, не защищенных акустическим экраном (1), и за защитным экраном (2) (*– достоверны при $p < 0,05$).

Повышенное содержание стронция, хрома, цинка и свинца в почвах, также скорее является следствием транспортной нагрузки на прилегающие к шоссе территории. Эти ТМ были обнаружены в микрочастицах (менее 100 мкм) продуктов сгорания масла и топлива автомобилей [10, 11]. Акустический экран также способствовал понижению их содержания в почвах.

Олово также обнаруживается в выхлопных газах автомобилей, особенно у машин со значительным пробегом [12, 13]. Уровень его в почве был невысок (менее

0,6 мг кг⁻¹), но экран существенно снижал его содержание в почве, что свидетельствует о его поступлении со стороны транспортного потока.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Из представленной информации следует, что акустические экраны, расположенные вдоль транспортных магистралей, позволяют существенно снизить содержание ТМ в почвенных покровах. Наибольший защитный эффект был выявлен в отношении меди, стронция и олова (снижение в 2–4 раза). В меньшей степени (30–35 %) он затрагивал содержание железа, свинца, хрома и никеля. В отношении кадмия защитный эффект выявлен не был. Содержание меди и кадмия в почвах в районе 24 км Ярославского шоссе существенно превышало ориентировочные допустимые концентрации ТМ в почвенных покровах (ОДК).

БЛАГОДАРНОСТИ

Автор благодарит сотрудников ЦКП «Спектрометрия и хроматография» ФИЦ ИнБЮМ и лично А. С. Гулина за оказанное содействие в определении ТМ в предоставленных образцах почвы.

Работа выполнена в рамках государственного задания № 124030100098-0

Список литературы

1. Johanson C. Road traffic emission factors for heavy metals / C. Johanson, M. G. Norman, L. Burman // Atmospheric Environment. – 2009. – Vol. 43, No 31. – P. 4681–4688.
2. Chen L. C. Effects of Metals within Ambient Air Particulate Matter (PM) on Human Health / L. C. Chen, M. Lippmann // Inhalation Toxicology. – 2009. – № 21. – P. 1–31.
3. Wei B. A review of heavy metal contaminations in urban soils, urban road dusts and agricultural soils from China / B. Wei, L. Yang // Microchem J. – 2010. – Vol. 94. Iss. 2. – P. 99–107.
4. Леонидова Т. В. Содержание тяжелых металлов в придорожной зоне автомобильных трасс / Т. В. Леонидова, Н. К. Сидоренкова, Н. А. Блохина, И. Д. Харитонов // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. – 2019. – № 1. – С. 146–149.
5. Ориентировочно допустимые концентрации (ОДК) химических веществ в почве: Гигиенические нормативы. – М.: Федеральный центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора, 2009. – 10 с.
6. Айрбабамян С. А. Виды шумозащитных экранов / С. А. Айрбабамян, Е.А. Бугарев // Известия МГТУ «МАМИ». – 2013. – Т. 4, № 1(15). – С. 134–138.
7. Самофалова И. А. Почвоведение: лабораторный практикум / И. А. Самофалова, Е. С. Лобанова. – Пермь: ИПЦ «Прокрость», 2021 – 139 с.
8. Amato F. Sources and variability of inhalable road dust particles in three European cities / F. Amato, et al // Atmos. Environ. – 2011. – Vol. 45, № 37. – P. 6777–6787.
9. Голохваст К. С. Твердые частицы выхлопных газов автомобилей / К. С. Голохваст, В. В. Чернышев, С. М. Угай. – Владивосток: Изд-во ДВФУ. 2014. – 104 с.
10. Бразовский В. В. Распределение твердых частиц выхлопных газов по размерам / В. В. Бразовский, В. А. Вагнер, В. В. Евстигнеев // Ползуновский вестник. – 2006. – Вып. 4. – С. 187–193.
11. Golokhvast K. S. Size-segregated emissions and metal content of particles emitted by vehicles with low and high mileage: implications to population exposure / K. S. Golokhvast, et al // Environmental Research. – 2015. – Vol. 142. – P. 479–485.
12. Голохваст К. С. Исследование качественного состава твердых частиц выхлопов ДВС автомобилей с пробегом более 100 000 км / К. С. Голохваст, В. В. Чернышев // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2014. – ОВ4. – С. 241–250.

13. Чернышев В. В. Исследование качественного состава твердых частиц выхлопов ДВС автомобилей без пробега / В. В. Чернышев, Ю. А. Васянович, А. С. Зубцова, К. С. Голохваст // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2014. – S6. – С. 160–167.

THE EFFECT OF ACOUSTIC SCREENS ON HIGHWAYS ON THE CONTENT OF HEAVY METALS IN ADJACENT SOIL

Parfenova A. E.^{1,2}, Gorbunov R. V.²

¹*Moscow State University of Civil Engineering, Moscow, Russian Federation*

²*Federal Research Center "A.O. Kovalevsky Institute of Biology of the South Seas of the Russian Academy of Sciences", Sevastopol, Russian Federation*

E-mail: parfyonova.la@yandex.ru

It is known that large highways with heavy traffic flow are the main source of pollution of the air and adjacent soil with heavy metals (HM). The most significant among them are lead, zinc, copper, to a lesser extent nickel and cadmium. Recently, attention has been paid to protective acoustic screens, which are placed along highways to reduce the degree of noise impact on adjacent territories. It turned out that in addition to their main purpose, they perform a number of secondary positive functions: they reduce the concentration of suspended particles by 10–12 times; the content of nitrogen oxide and dioxide by 3–10 times, and the level of HM is almost zero. The latter requires verification. It is difficult to imagine that acoustic screens completely eliminate the negative effect of this factor on adjacent soil covers, taking into account wind activity.

In this paper, it is proposed to investigate the content of HM in soil samples taken behind the screen (40–45 m) and in places of technological breaks (turns on secondary roads) where the protective effect of the screen is not pronounced. A comparative study will allow us to judge the degree of reduction of the HM load on the soil covers located behind the acoustic screen.

24 km of the Yaroslavl highway (highway M8) was chosen as the observation range. The highway has 10 lanes and is characterized by heavy traffic. The acoustic screen belongs to the G-type and has a height of 6.5 m. In some places there are technological gaps for entry from adjacent territories. The width of the latter is 25–40 m. Soil samples were obtained using a soil drill at a distance of 40–45 m from the acoustic screen and entry points from adjacent territories: a total of 5 points (2 – behind the screen; 3 – places of technological gaps). In each of the points, samples were taken three times within 1 m²: a total of 6 points behind the screen and 9 points in places where there was no screen. The content of heavy metals was determined in the obtained samples: lead, copper, zinc, cadmium, nickel, chromium, iron, tin, strontium. The work used an inductively coupled plasma mass spectrometer – PlasmaQuant MS Elite S-NR: 11-6000ST043 (Austria).

It has been established that acoustic screens can significantly reduce the content of HM in soil covers. The greatest protective effect was found in relation to copper, strontium and tin (a decrease of 2–4 times). To a lesser extent (30–35 %), it affected the content of iron, lead,

chromium and nickel. No protective effect was detected with respect to cadmium. The content of copper and cadmium in soils in the area of 24 km of Yaroslavskoye highway significantly exceeded the approximate permissible concentrations of HM in soil covers (APC).

A characteristic feature of the soil cover in the area of 24 km of the Yaroslavl highway was the high iron content (more than 200 mg kg⁻¹). It is known that the mineral particles of the natural background that have passed through the internal combustion chamber and the exhaust system of the car absorb various compounds, including TM. In particular, the macroparticles (100–2000 μ) contain mainly iron cations, which, apparently, is the main source of pollution of the soil covers adjacent to the highway. The proof of this position is also the fact found in this work of a decrease in the iron content in soils located behind the acoustic screen. The increased content of strontium, chromium, zinc and lead in soils is also more likely a consequence of the traffic load on the territories adjacent to the highway. These HM were found in microparticles (less than 100 μ) of combustion products of oil and fuel of cars. The acoustic screen also contributed to a decrease in their content in soils. Tin is also found in car exhaust fumes, especially in vehicles with significant mileage. Its level in the soil was low (less than 0.6 mg kg⁻¹), but the screen significantly reduced its content in the soil, which indicates its entry from the transport stream.

Keywords: highway, acoustic screens, soils, heavy metals.

References

1. Johanson C., Norman M. G., Burman L. Road traffic emission factors for heavy metals. *Atmospheric Environment*. **43** (31), 4681 (2009).
2. Chen L. C., Lippmann M. Effects of Metals within Ambient Air Particulate Matter (PM) on Human Health. *Inhalation Toxicology*, **21**, 1 (2009).
3. Wei B., Yang L. A review of heavy metal contaminations in urban soils, urban road dusts and agricultural soils from China. *Microchem J.*, **94** (2), 99 (2010).
4. Leonidova T. V., Sidorenkova N. K., Blokhina N. A., Kharitonov I. D. The content of heavy metals in the roadside area of highways, *International Journal of Applied and Fundamental Research*, **1**, 146 (2019).
5. Approximate permissible concentrations (OPC) of chemicals in the soil: Hygienic standards. – M.: Federal Center for Hygiene and Epidemiology of Rospotrebnadzor, 10 p. (Moscow, 2009).
6. Ayrbabamyan S. A., Bugaev E.A. Types of noise shields. *Izvestia of MSTU "MAMI"*, **4** (1), 134 (2013).
7. Samofalova I. A., Lobanova E. S. *Soil science: laboratory workshop*, 139 (CPI "Prokrost", Perm, 2021).
8. Amato F. et al. Sources and variability of inhalable road dust particles in three European cities. *Atmos. Environ.* **45** (37), 6777 (2011).
9. Golokhvast K. S., Chernyshev V. V., Ugai S. M. *Solid particles of exhaust gases of cars*, 104 p. (Publishing House of FEFU, Vladivostok, 2014).
10. Brazovsky V. V., Wagner V. A., Evstigneev V. V. Distribution of solid particles of exhaust gases by size. *Polzunovsky bulletin*. **4**, 187 (2006).
11. Golokhvast K. S. et al. Size-segregated emissions and metal content of particles emitted by vehicles with low and high mileage: implications to population exposure. *Environmental Research*. **142**, 479 (2015).
12. Golokhvast K. S., Chernyshev V. V. Investigation of the qualitative composition of solid particles of exhaust from internal combustion engines of cars with a mileage of more than 100,000 km. *Mining information and analytical bulletin*. **OV4**, 241 (2014).
13. Chernyshev V. V., Vasyanovich Yu. A., Zubova A. S., Golokhvast K. S. Investigation of the qualitative composition of solid particles of exhaust from internal combustion engines of cars without mileage. *Mining information and analytical bulletin*. **S6**, 160 (2014).

УДК 615.322 : 615.918

DOI 10.29039/2413-1725-2024-10-4-176-181

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОСТРОЙ ТОКСИЧНОСТИ ЭКСТРАКТА *PARMELIA VAGANS* NYL.

Сергалиева М. У., Мурталиева В. Х., Цибизова А. А.

**ФГБОУ ВО «Астраханский государственный медицинский университет» Минздрава России,
Астрахань, Россия
E-mail: charlina_astr@mail.ru**

Статья посвящена изучению острой токсичности экстракта пармелии блуждающей (*Parmelia vagans*). Опыты были проведены на 3-х месячных белых нелинейных крысах-самцах массой 170-180 г. Крысы были распределены по группам по 6 особей: контрольная группа, которая получала интрагастрально однократно воду очищенную, и опытные, которым вводили однократно внутривентрикулярно экстракт *P. vagans* в дозах 100, 500, 1000, 2000 мг/кг массы тела. Изучение острой токсичности экстракта *P. vagans* показало, что он относится к группе умеренно-токсичных веществ и позволила определить LD₅₀ как 2000 мг/кг, что актуализировало дальнейшие исследования химического анализа и биологической активности *P. vagans* с целью изучения механизма токсического воздействия.

Ключевые слова: острая токсичность, лишайники, *Parmelia vagans*, гибель животных, полумлетальная доза.

ВВЕДЕНИЕ

Природные источники издавна использовались в качестве лекарственных средств. На сегодняшний день около 25 % лекарственных препаратов получены на основе природного сырья, растущий интерес к которому обусловлен химическим разнообразием и универсальностью, не сопоставимыми с синтетическими средствами. В качестве сырья для лекарственных препаратов могут быть рассмотрены лишайники, представляющие собой сложные симбиотические ассоциации между микобионтом (грибом) и фотобионтом (водорослью или цианобактерией) [1, 2]. Использование лишайников в медицине основано на их уникальном химическом составе, где основную массу биологически активных веществ составляют фенольные соединения и лишайниковые кислоты (усниновая, эверновая, лобаровая, вульпиновая и др.), что объясняет распространенность применения их в народной медицине в качестве противомикробного, противогрибкового и противовирусного средства [3–5]. Особый интерес представляют Пармелиевые (*Parmeliaceae*) – одно из наиболее изученных и распространенных семейств лишайниковых грибов, насчитывающее более 2500 видов. Исследования показали, что различные виды пармелии, в том числе и широко распространенная пармелия блуждающая (*Parmelia vagans*), обладают широким спектром фармакологического действия, включая, наряду с перечисленными видами активности, противовоспалительную, противоопухолевую,

анальгезирующую, жаропонижающую, цитотоксическую и др. [6–8]. В условиях *in vitro* установлены антиоксидантные свойства некоторых видов Пармелиевых, что связывают с высоким содержанием фенольных соединений. Недавние исследования доказали наличие у представителей лишайников гиполипидемического, гипогликемического, гастропротекторного и кардиопротекторного действия [9]. Вышеупомянутые данные, свидетельствуют о том, что многие лишайники семейства *Parmeliaceae* и их природные соединения представляют особый фармакологический интерес и потенциальную клиническую значимость. Однако, большинство исследований проведены в условиях *in vitro* и достоверных сведений по изучению токсичности и безопасности лишайников недостаточно.

В связи с чем целью данного исследования явилось изучение острой токсичности экстракта *P. vagans*.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В качестве объекта исследования выступал экстракт слоевищ *P. vagans*, полученный в соотношении 1:10 методом вихревой экстракции, с последующим удалением экстрагента на ротационном испарителе Hei-VAP Value G3 (Германия), в качестве которого использовали спирт этиловый 90 %.

Опыты были проведены на 3-х месячных белых нелинейных крысах-самцах массой 170–180 г. Все манипуляции с животными проводили в соответствии с требованиями Директивы Европейского парламента и Совета Европейского союза по охране животных, используемых в научных целях (2010/63/EU), правилами, принятыми «Международной конвенцией по защите позвоночных животных, используемых для экспериментальных и научных целей» (Страсбург, 1986). Крысы были распределены по группам по 6 особей: контрольная группа, которая получала интрагастрально однократно воду очищенную, и опытные, которым вводили однократно внутривентрикулярно экстракт *P. vagans* в дозах 100, 500, 1000, 2000 мг/кг массы тела.

Для изучения картины острой токсичности в течение 14 дней оценивали общее состояние животных, шёрстный покров, аппетит, динамику показания массы тела, изменения в поведении, реакцию на звуковые, световые и тактильные раздражители и гибель животных. Реакция на звуковые раздражители оценивалась путём внезапного резкого стука по клетке, в результате чего обращали внимание на вздрагивание животного; реакция на световой раздражитель – путём освещения глаза фонариком и наблюдением за смыканием век; тактильную чувствительность оценивали путём сжатия прикорневой части хвоста. После завершения эксперимента животных подвергали эвтаназии с соблюдением всех этических норм, после чего анализировались гематологические (общий анализ крови) и макроскопические показатели внутренних органов (головной мозг, сердце, легкие, печень, селезенка, желудок и кишечник), а именно размеры, наличие геморрагий, эрозий.

Статистическую обработку полученных результатов исследования осуществляли с помощью «StatTech» (Россия), используя для оценки различий

непараметрический критерий Манна–Уитни. Уровень статистической значимости различий в группах сравнения оценивали при $p < 0,05$.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Полученные результаты позволили определить параметры острой токсичности экстракта пармелии блуждающей. Так, в группе животных, получавших однократно интрагастрально экстракт *P. vagans* в дозах от 100 до 500 мг/кг не было отмечено проявлений токсичности и гибели крыс. Вес животных и гематологические показатели не имели статистически значимых отличий от контрольных значений. При проведении макроскопического анализа внутренних органов (головной мозг, сердце, легкие, печень, селезенка, желудок и кишечник) животных также не было установлено статистически значимых отклонений в сравнении с контролем.

После введения исследуемого экстракта в дозах 1000–2000 мг/кг через 2 ч после введения у крыс отмечалось снижение двигательной активности, общее угнетение нарастало: животные перестали реагировать на звуковые, зрительные и тактильные раздражители. Крысы стали меньше потреблять корм и воду. В группе, получившей 1000 мг/кг экстракта, все наблюдаемые изменения пришли в норму на 3 сутки, аппетит восстановился. В группе, получившей 2000 мг/кг экстракта, изменения сохранялись на протяжении 7-ми дней, аппетит оставался сниженным. К концу 5-х суток у крыс было зафиксировано 4 летальных исхода, что составило более 60 % от численности группы. Патологоанатомическое исследование показало наличие кровоизлияний в головном мозге, легких, печени.

Анализ динамики массы тела показал, что в группе крыс, получивших экстракт в дозе 1000 мг/кг, на 7-е сутки масса тела уменьшилась на 25 % ($p < 0,05$) и на 14-е сутки – на 29 % ($p < 0,05$) по отношению к контрольным значениям, тогда как введение в дозе 2000 мг/кг способствовало снижению массы тела на 7-е сутки на 32 % ($p < 0,05$) и на 14-е сутки на 37 % ($p < 0,05$).

Анализ гематологических изменений показал, что введение экстракта в дозах 1000 и 2000 мг/кг приводит к снижению количества эритроцитов и лейкоцитов на 22 и 17 %, 37 и 31 % ($p < 0,05$), соответственно по сравнению с контрольной группой животных.

При патологоанатомическом вскрытии крыс опытных групп, получавших экстракт в дозах 100 и 500 мг/кг, видимых изменений внутренних органов при макроскопическом анализе не установлено. В группе животных, получавших исследуемый экстракт в дозе 1000 мг/кг установлено увеличение массы селезенки на 24 % ($p < 0,05$) по отношению к контрольным значениям. При введении экстракта в дозе 2000 мг/кг были установлены геморрагические изменения в легких, слизистой оболочке желудка и толстого кишечника, увеличение массы селезенки и печени на 46 % и 39 % ($p < 0,01$) соответственно в сравнении с контролем.

Оценка острой токсичности экстракта *P. vagans* показала, что данный экстракт относится к группе умеренно-токсичных веществ (гигиеническая классификация ядов) и позволила определить полумлетальную дозу (LD_{50}) как 2000 мг/кг.

Полученные результаты свидетельствуют о возможном гемолитическом действии экстракта *P. vagans*, проявлениями которого являются снижение

количества эритроцитов и наличие кровоизлияний, что вероятно связано с наличием в составе лишайников тритерпеновых гликозидов и лишайниковых кислот, которые в большой концентрации способны вызывать цитостатический и гемолитический эффекты [2, 8].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, изучение острой токсичности экстракта пармелии блуждающей (*P. vagans*) показало, что он относится к группе умеренно-токсичных веществ и позволила определить LD₅₀ как 2000 мг/кг, что актуализировало дальнейшие исследования химического анализа и биологической активности *P. vagans* с целью изучения механизма токсического воздействия.

Список литературы

1. Kosanich M. Secondary metabolites of lichen as potential antibiotic agents / M. Kosanich, B. Rankovich // Secondary metabolites of lichens: biologically active properties and pharmaceutical potential. – 2019. – P. 99–127. doi: 10.1007/978-3-030-16814-8_3.
2. Slusarczyk J. Fungi and algae as sources of medicinal and other biologically active compounds: An overview / J. Slusarczyk, E. Adamska, J. Chervyak-Marcinkowska // Nutrients. – 2021. – Vol. 13, № 9. – pp. 3178. doi: 10.3390/nu13093178.
3. Teplitskaya L. M. The state of research in the field of lichen biotechnology / L. M. Teplitskaya, E. Kiriakidi, E. F. Semenova, M. A. Goncharov // International Scientific Research Journal. – 2021. – Vol. 6-2, № 108. – P. 53–56. doi: 10.23670/IRJ.2021.108.6.043.
4. Kislichenko O. A. HPLC determination of the content of phenolic compounds in the layers of *Parmelia sulcata* and *Parmelia vagans* / O. A. Kislichenko, V. V. Protskaya, I. A. Zhuravel // Pharmacia. – 2019. – Vol. 66, № 4. – P. 161–164. doi: 10.3897/pharmacia.66.e35194.
5. Bondarenko V. Antimicrobial properties of extracts isolated from lichen *Parmelia vagans* / Bondarenko V., Korczynski M., Techahavivat V. // FASEB Journal. – 2017. – № 31. – P. 939–13. doi: 10.1096/fasebj.31.1_supplement.939.13.
6. Bondarenko V. Antiproliferative properties of lichens *Parmelia vagans* and *Parmelia sulcata* / V. Bondarenko, K. Raymond // FASEB Journal. – 2019. – Vol. 33, № S1. – P. 647–3. doi: 10.1096/fasebj.2019.33.1_supplement.647.3.
7. Badmaeva K. E. Investigation of the central mechanisms of the anti-ulcer action of biologically active substances of the lichen *Parmelia vagans* / K. E. Badmaeva // A new word in science and practice: hypotheses and approbation of research results. – 2014. – № 14. – P. 14–18.
8. Шербакова А. И. Биологически активные вещества лишайников / А. И. Шербакова, А. В. Коптина, А. В. Канарский // Известия высших учебных заведений. Лесной журнал. – 2013. – № 3 (333). – С. 7–16.
9. Gómez-Serranillos M. P. Parmeliaceae family: phytochemistry, pharmacological potential and phylogenetic features / Gómez-Serranillos M. P., Fernández-Moriano C., González-Burgos E. [et al.] // Rsc Advances. – 2014. – Vol. 4, № 103. – P. 59017–59047.

DETERMINATION OF ACUTE TOXICITY OF *PARMELIA VAGANS* NYL.
EXTRACT

Sergalieva M. U., Murtalieva V. Kh., Tsibizova A. A.

Astrakhan State Medical University, Astrakhan, Russia

E-mail: charlina_astr@mail.ru

Natural sources have long been used as medicines, the growing interest in which is due to chemical diversity and versatility, not comparable to synthetic agents. Lichens of the *Parmeliaceae* family can be considered as raw materials for medicinal preparations. The aim is to study the acute toxicity of the extract of *Parmelia vagans*. The object of the study was the extract of *P. vagans* rhizomes obtained at a ratio of 1:10 by vortex extraction, followed by removal of the extractant on a rotary evaporator Hei-VAP Value G3 (Germany), as which 90% ethyl alcohol was used.

Experiments were performed on 3-month-old white non-linear male rats weighing 170-180 g. The rats were distributed into groups of 6 individuals each: control group, which received intragastrically once purified water, and experimental rats, which were administered once intragastrically with *P. vagans* extract at doses of 100, 500, 1000, 2000 mg/kg body weight.

To study the picture of acute toxicity during 14 days, the general condition of animals, hair cover, appetite, dynamics of body weight indication, changes in behaviour, reaction to sound, light and tactile stimuli and death of animals were evaluated. Reaction to sound stimuli was evaluated by a sudden sharp knock on the cage, as a result of which attention was paid to the flinching of the animal; reaction to light stimuli was evaluated by illuminating the eye with a torch and observing eyelid closure; tactile sensitivity was evaluated by compressing the root part of the tail. After completion of the experiment, the animals were euthanised in compliance with all ethical norms, after which haematological (general blood analysis) and macroscopic parameters of internal organs (brain, heart, lungs, liver, spleen, stomach and intestines) were analysed, namely, size, presence of haemorrhages, erosions.

An assessment of the acute toxicity of *P. vagans* extract showed that this extract belongs to the group of moderately toxic substances (hygienic classification of poisons) and allowed determining the half-year dose as 2000 mg/kg. Thus, the study of the acute toxicity of the extract of *P. vagans* showed that it belongs to the group of moderately toxic substances and allowed us to determine LD₅₀ as 2000 mg/kg, which actualized further studies of chemical analysis and biological activity of *P. vagans* in order to study the mechanism of toxic effects.

Keywords: acute toxicity, lichens, *Parmelia vagans*, death of animals, half-year dose.

References

1. Kosanich M., Rankovich B. Secondary metabolites of lichen as potential antibiotic agents. *Secondary metabolites of lichens: biologically active properties and pharmaceutical potential*, 99 (2019). doi: 10.1007/978-3-030-16814-8_3.

2. Slusarczyk J., Adamska E., Chervyak-Marcinkowska J. Fungi and algae as sources of medicinal and other biologically active compounds: An overview. *Nutrients*, **13(9)**, 3178 (2021). doi: 10.3390/nu13093178.
3. Teplitskaya L. M., Kiriakidi E., Semenova E. F., Goncharov M. A. The state of research in the field of lichen biotechnology. *International Scientific Research Journal*, **6-2(108)**, 53 (2021). doi: 10.23670/IRJ.2021.108.6.043.
4. Kislichenko O. A., Protskaya V. V., Zhuravel I. A. HPLC determination of the content of phenolic compounds in the layers of *Parmelia sulcata* and *Parmelia vagans*. *Pharmacia*, **66(4)**, 161 (2019). doi: 10.3897/pharmacia.66.e35194.
5. Bondarenko V., Korczynski M., Techahavivat V. Antimicrobial properties of extracts isolated from lichen *Parmelia vagans*. *FASEB Journal*, **31**, 939 (2017). doi: 10.1096/fasebj.31.1_supplement.939.13.
6. Bondarenko V., Raymond K. Antiproliferative properties of lichens *Parmelia vagans* and *Parmelia sulcata*. *FASEB Journal*, **33(S1)**, 647 (2019). doi: 10.1096/fasebj.2019.33.1_supplement.647.3.
7. Badmaeva K. E. Investigation of the central mechanisms of the anti-ulcer action of biologically active substances of the lichen *Parmelia vagans*. *A new word in science and practice: hypotheses and approbation of research results*, **14**, 14 (2014).
8. Sherbakova A. I., Koptina A. V., Kanarsky A. V. Biologically active substances of lichens. V., Kanarsky A.V. Biologically active substances of lichens. *Izvestiya vysokikh uchebnykh obrazovaniya. Forest journal*, **3(333)**, 7 (2013).
9. Gómez-Serranillos M. P., Fernández-Moriano C., González-Burgos E., Divakar P. K., Crespo A. *Parmeliaceae* family: phytochemistry, pharmacological potential and phylogenetic features. *Rsc Advances*, **4(103)**, 59017 (2014).

УДК 632.911.2

DOI 10.29039/2413-1725-2024-10-4-182-195

**НОВЫЙ ПОДХОД К ОПРЕДЕЛЕНИЮ БИОКОНТРОЛИРУЮЩЕЙ
ЭФФЕКТИВНОСТИ ШТАММОВ МИКРОМИЦЕТОВ НА ПРИМЕРЕ
*TRICHODERMA SP.***

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

*Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Крымский федеральный университет имени В. И. Вернадского», Симферополь, Россия
E-mail: acid2302@mail.ru*

В статье приводится описание новой модификации подхода к изучению антагонистической активности микроорганизмов на примере штаммов триходермы и фитопатогенных грибов. На основании исследования антагонистической активности двадцати одного нового штамма *Trichoderma* в отношении пятнадцати штаммов фитопатогенных грибов, с применением модифицированного метода перпендикулярных штрихов и применением формул Хендерсона-Тилтона для расчета биологической эффективности штамма в подавлении патогенов, а так же индекса подавления роста патогена отобраны новые высокоэффективные штаммы триходермы, подавляющие рост широкого спектра возбудителей различных микозов растений. Показано, что биологическая эффективность и способность подавлять рост колоний фитопатогенных микромицетов родов *Fusarium*, *Aspergillus*, *Penicillium*, *Alternaria* у новых штаммов триходермы варьирует.

Ключевые слова: микромицеты, *Trichoderma*, биологическая эффективность, фитопатогенные грибы.

ВВЕДЕНИЕ

Грибы рода *Trichoderma* хорошо известны как широко применяемый в различных отраслях промышленности агент. Представители данного рода известны как продуценты различных гликозил-гидролаз (карбогидразы, гликозидазы), как источник антибактериальных соединений, используются в производстве биопрепаратов для защиты растений от болезней и стимуляции их роста и урожайности [1, 2]. Показано, что одним из факторов, который способствует их полезной биологической активности, связан с большим разнообразием метаболитов, которые они производят, которые позволяют растению противодействовать заболеванию с помощью компенсаторного усиленного вегетативного роста систем корней и побегов [3].

Наиболее широко используемыми видами в различных отраслях промышленности являются следующие виды: при производстве гликозил-гидролаз производственного назначения используются виды *Trichoderma longibrachiatum* Rifai, а в сельскохозяйственной биотехнологии в части защиты растений от фитопатогенов используют виды: *Trichoderma harzianum* Rifai (синоним –

Trichoderma inhamatum Veerkamp & W. Gams); *Trichoderma virens* (Miller, Giddens & Foster) Arx; *Trichoderma asperellum* Samuels, Liechfeldt & Nirenberg; *Trichoderma koningii* Oudem; *Trichoderma lignorum* Harz (синонимы – *Trichoderma glaucum* E.V. Abbott; *Trichoderma strictipile* Bissett; *Trichoderma viride* Persoon) [4].

В результате многолетней научно-исследовательской работы в НПО Биотехсоюз были получены штаммы *Trichoderma longibrachiatum* Rifai, обладающие биоконтролирующими свойствами в отношении ряда фитопатогенных микромицетов – возбудителей микозов сельскохозяйственных культур [5]. Штаммы *Trichoderma longibrachiatum* являются основой биопрепарата ТрихоПлант, но в связи с поиском новых более эффективных штаммов триходермы, и развивающейся устойчивостью к ним штаммов фитопатогенных микроорганизмов, встает вопрос о поиске новых вариантов штаммов этого вида микромицетов, с повышенной биологической активностью в отношении подавления фитопатогенов, в связи с чем вопрос оценки антагонистической активности новых штаммов триходермы имеет как теоретическое так и практическое значение.

В связи с вышесказанным, целью настоящей работы являлось адаптация известного методического подхода оценки биологической эффективности штаммов микроорганизмов-антагонистов на примере различных штаммов *Trichoderma* sp.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Определение биоконтролирующей эффективности, антагонистической активности и типа взаимодействия фитопатогенов и триходермы проводили предлагаемой модифицированной нами варианте метода параллельных штрихов (метод параллельных подсево).

Подготовка культур. Для получения конидий или мицелиальной массы фитопатогены культивировали в течение 7–14 суток на поверхности скошенного картофельно-глюкозного агара (КГА) [6]. Экспериментальную часть по исследованию антагонизма и биоконтролирующих свойств триходермы в отношении патогенных микромицеты проводили так же с использованием среды КГА.

Суспензию конидий (или фрагментов мицелия) фитопатогенов (на третьи – пятые сутки спороношения) готовили путем смывов с поверхности скошенного КГА раствором содержащим 0,5 % NaCl, 0,01 % K₂HPO₄, 0,02 % KH₂PO₄, 0,01 % MgCl₂·6H₂O, по 0,5 % глюкозы и сахарозы и 0,25 % полисорбата-80.

Полученной суспензией фрагментов мицелия и спор фитопатогенов с титром не менее 1,0 млн КОЕ/см³ смачивали полоски фильтровальной бумаги размерами 20×5 мм.

Штаммы *Trichoderma* для эксперимента так же выращивали на скошенном КГА-агаре в течение 5–7 суток. Конидии смывали используя тот же состав, что и для фитопатогенов. Для посева в чашки с фитопатогенами титр конидий штаммов триходермы доводили до 1–5 тыс. КОЕ/см³ (т.е. на три порядка меньше, чем используемые фитопатогены).

Методика проведения эксперимента. В чашку Петри (диаметр чашки – 9 см), на равном расстоянии от краев (1 см) и центра (3,5) чашки, по шаблону (рис. 1) на поверхность подсушенного картофельно-глюкозного агара помещали по три

высечки из фильтровальной бумаги размерами 20,0×5,0 мм, смоченных споровой взвесью исследуемого фитопатогена с титром спор не менее 2×10^6 КОЕ/мл.

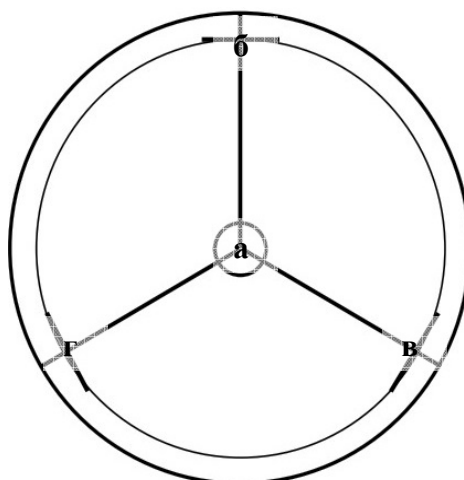


Рис. 1. Шаблон-схема используемая для определения антагонистической активности *Trichoderma* sp. в отношении фитопатогенных микромицетов: а – место размещения диска с диаметром 6 мм с суспензией конидий триходермы; б, в г, – места размещения полосок 20×5 мм с фитопатогенными микромицетами.

Т.к. в природной среде микробные культуры никогда не растут в виде монокультур, то в одну чашку помещали три разных фитопатогена. В центр чашки петри помещали диск, диаметром 6,0 мм, смоченный взвесью спор исследуемого штамма триходермы с титром спор не более 2×10^5 КОЕ/мл (опыт); или не помещали ничего (контроль). Повторность опытов пятикратная.

Культуры микромицетов. В эксперименте использовали штаммы *Trichoderma* собственной селекции полученные по оригинальной методике [7], и пятнадцать штаммов фитопатогенов – возбудителей микозов сельскохозяйственных культур из собственной коллекции фитопатогенных микромицетов, выделенных от растений с признаками тех или иных заболеваний: выделенных от растений с признаками тех или иных заболеваний: *Fusarium* sp. 84 (2), *Fusarium sporotrichioides* БР – 1 - 1, *Fusarium* sp. 1 - 01 – а, *Fusarium* sp. fragaria, *Fusarium* sp. 59 (2), *Alternaria alternata*, *Fusarium* sp. 81(1), *Fusarium* sp. МО 1-01а, *Penicillium* sp. 173(2), *Aspergillus fumigatus*, *Aspergillus clavatus*, *Aspergillus fumigatus* 97(1), *Aspergillus flavus* 2016, *Aspergillus flavus* R., *Penicillium viridicatum*.

Оценка биоконтролирующих и антагонистических свойств. После инокуляции чашки устанавливали в термостат, культивировали при 25 °С. Спустя одни и четверо суток измеряли диаметр колонии фитопатогена в двух взаимно перпендикулярных плоскостях и на основании того, что рост колонии фитопатогена изодиаметрален, а используемый инокулят – прямоугольный; то с помощью

формулы площади эллипса по измеренным линейным размерам колонии фитопатогена рассчитывали его площадь колонии по формуле площади эллипса.

Антагонистическую (биологическую, биоконтролирующую) активность штаммов триходермы в отношении фитопатогенных микроорганизмов оценивали с использованием двух критериев: первый критерий – индекс изменения размеров (I_p) колонии фитопатогена на первые и четвертые сутки совместного культивирования, выраженная в процентах, относительно размеров колонии этого же фитопатогена в контроле – т.е. в отсутствии штамма триходермы (формула 1).

$$I_p = \frac{100 \times O_p}{K} \quad [1]$$

где: I_p – индекс изменения размеров колонии фитопатогена, O_p – площадь колонии фитопатогена в опытном варианте (т.е. при совместном с триходермой культивировании); K – площадь колонии фитопатогена в контрольном варианте (т.е. в отсутствии триходермы); 100 – коэффициент пересчета данных в проценты.

Показатель I_p рассчитывали для первых и четвертых суток совместного с триходермой (опыт), или без триходермы (контроль) варианта культивирования, что в дальнейшем позволило построить графики выражающие направленность изменения размеров колоний фитопатогенов, которые отражают направленность взаимоотношений триходерма-фитопатоген.

Второй использованный нами критерий – биологическая эффективность (B_E) штамма триходермы т.е его способность подавлять рост колоний данного фитопатогена, которую определяли с использованием модифицированной формулы Хендерсона-Гилтона [8] (формула 2).

$$B_E = \left(1 - \frac{E_a}{E_b} \times \frac{C_b}{C_a}\right) \times 100 \quad [2]$$

где: B_E – (биологическая эффективность, %) показывает, на сколько процентов исследуемый штамм *Trichoderma* подавляет или задерживает рост колонии фитопатогена по сравнению с контролем; C_a – прирост колонии фитопатогена в контроле, на первые сутки учета; C_b – прирост колонии фитопатогена в контроле, на N-ные сутки учета; E_a – прирост колонии фитопатогена в опыте (при совместном культивировании с триходермой), на первые сутки учета; E_b – прирост колонии фитопатогена в опыте (при совместном культивировании с триходермой), на N-ные сутки учета; 1 и 100 – переводные коэффициенты.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Как показали проведенные исследования фунгистатической активности новых штаммов *Trichoderma* sp. в отношении представителей рода *Fusarium*, *Aspergillus* и *Penicillium*, результаты которых представлены данными рисунков 2 и 3, штаммы *Trichoderma* №№ 1–6 подавляли рост колоний *Fusarium* sp. 81 (1), *Penicillium* sp. 173 (2), *Aspergillus clavatus*, *Fusarium* sp. MO 1 – 01a, *Aspergillus fumigatus*. Более

эффективно подавляет рост перечисленных фитопатогенов штаммы *Trichoderma* №№ 1, 3, 5 которые кроме указанных фитопатогенов активно снижают скорость роста колоний *Aspergillus fumigatus* 97 (1). Наименьшую активность подавления изучаемых штаммов фитопатогенов по результатам наших опытов проявляли штаммы *Trichoderma* №2, 6, которые в отношении одного фитопатогена (*Aspergillus fumigatus* 97 (1)) оказались не эффективными (рис. 2).

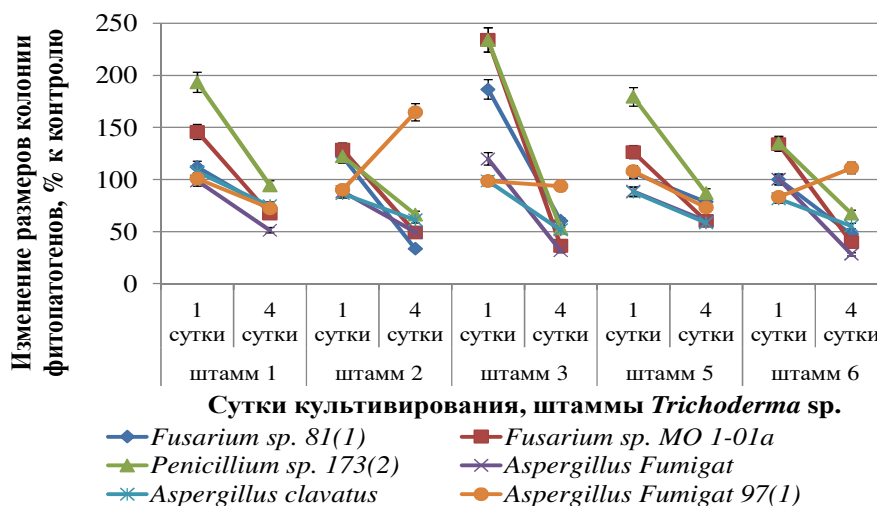


Рис. 2. Изменение размеров (индекс прироста) колоний фитопатогенных микромицетов при совместном культивировании с новыми штаммами *Trichoderma* sp. №№1-6.

Как показывает анализ данных биологической эффективности вышеперечисленных штаммов *Trichoderma* sp. уровень биоконтролирующих свойств их довольно высокий – и находится в пределах от 48 до 98 % (табл. 1).

Наши исследования показывают, что в отношении *Asp. fumigatus* 97(1) штаммы *Trichoderma* sp. №№ 2–6 не оказывали биоконтролирующих свойств – т.е. не подавляли его рост. Индекс биологической эффективности указанных штаммов *Trichoderma* sp. в отношении *Asp. fumigatus* 97(1) составил от -11 – -12 % (штаммы *Trichoderma* sp. № 4 и № 5) до -20 – -21 % (штаммы *Trichoderma* sp. № 2 и № 6) (рис. 3, табл. 1).

Проведенные исследования фунгистатической активности новых штаммов *Trichoderma* sp. в отношении представителей родов *Fusarium*, *Aspergillus* и *Penicillium*, штаммы *Trichoderma* №№ 7–13 подавляли рост колоний *Fusarium* sp. 81 (1), *Penicillium* sp. 173 (2), *Aspergillus clavatus*, *Fusarium* sp. MO 1 – 01a, *Aspergillus fumigatus*. В отношении фитопатогена *Aspergillus fumigatus* 97 (1) все перечисленные штаммы оказались не эффективными. Анализ данных биологической эффективности вышеперечисленных штаммов *Trichoderma* sp. уровень биоконтролирующих свойств их довольно высокий – и находится в пределах от 46 до 98 %.

Таблица 1.

Биологическая эффективность (B_E) новых штаммов *Trichoderma* sp. в отношении подавления роста колоний фитопатогенных микромицетов, рассчитанная по формуле Хендерсона-Тилтона

Штаммы фитопатогена	Штаммы <i>Trichoderma</i> sp.; биологическая эффективность, %																				
	штамм1	штамм2	штамм3	штамм4	штамм5	штамм6	штамм7	штамм8	штамм9	штамм10	штамм11	штамм12	штамм13	штамм14	штамм15	штамм16	штамм17	штамм18	штамм19	штамм20	штамм21
<i>Fusarium</i> sp. 84(2)	92	92	94	95	98	94	95	96	96	94	96	96	93	92	93	95	95	94	64	94	92
<i>Fus. sporotrichoides</i> БР-1-1	94	95	96	96	96	94	96	98	-6	97	87	98	95	97	95	95	97	99	94	96	99
<i>Fusarium</i> sp. 1-01-a	90	92	94	92	93	88	90	96	95	90	96	96	91	92	90	94	94	96	94	94	91
<i>Fusarium</i> sp. <i>fragaria</i>	80	78	87	72	80	76	67	78	84	87	78	89	82	78	85	84	79	73	80	80	79
<i>Fusarium</i> sp. 59 (2)	72	72	74	84	75	76	70	74	70	74	78	73	69	67	72	72	79	67	68	76	76
<i>Alternaria alternata</i>	62	65	80	72	63	81	79	66	83	83	67	84	31	44	78	79	70	62	80	43	50
<i>Fusarium</i> sp. 81(1)	80	48	73	69	74	86	79	66	73	70	68	46	77	64	71	82	77	-5	39	48	72
<i>Fusarium</i> sp. Mo 1-01a	97	97	98	97	98	97	98	97	98	98	97	98	97	98	96	98	98	94	97	89	98
<i>Penicillium</i> sp. 173(2)	97	93	94	92	98	94	98	94	95	95	94	95	97	90	92	96	94	94	95	89	98
<i>Asp. fumigatus</i>	96	96	97	94	97	93	97	96	56	94	93	98	94	95	94	97	98	95	97	95	97
<i>Asp. clavatus</i>	92	79	91	89	80	90	92	91	91	90	87	92	87	89	87	92	91	91	91	88	95
<i>Asp. fumigatus</i> 97(1)	86	-20	-19	-12	-11	-21	-14	-37	-20	-16	-17	-11	-14	-19	-18	-18	-19	-14	-12	88	95
<i>Asp. flavus</i> 2016	93	95	97	94	97	93	94	96	97	93	99	93	96	94	93	98	96	93	94	95	95
<i>Asp. flavus</i> R.	90	84	94	94	93	93	93	92	96	92	88	95	89	93	82	93	95	93	92	89	93
<i>Pen. viridicatum</i>	76	87	84	69	78	77	73	77	79	68	66	65	-12	68	61	64	81	84	83	75	76

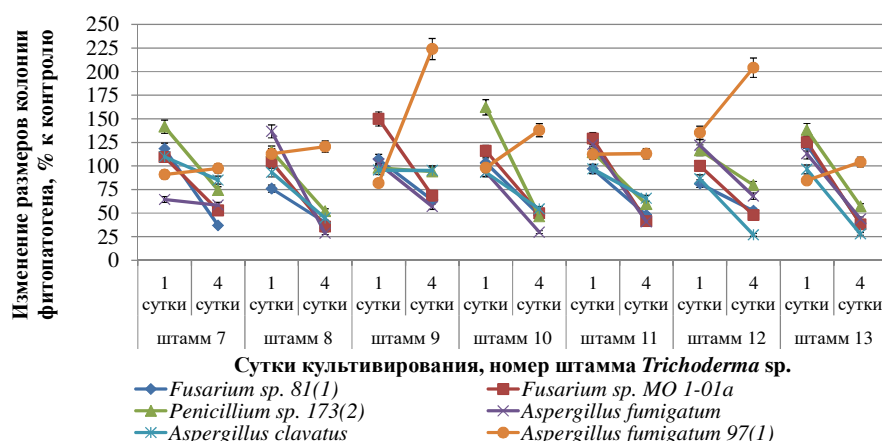


Рис. 3. Влияние новых штаммов *Trichoderma* sp. №№7–13 на изменение размеров колоний фитопатогенных микромицетов (индекс прироста) при совместном культивировании.

Наши исследования показывают, что в отношении *Asp. fumigatus* 97(1) штаммы *Trichoderma* sp. №№ 7–13 не оказывали биоконтролирующих свойств – т.е. не подавляли его рост. Индекс биологической эффективности указанных штаммов *Trichoderma* sp. в отношении *Asp. fumigatus* 97(1) составил от -11 – -14% (штаммы *Trichoderma* sp. № 12 и № 7, 13) до -20 – -37% (штаммы *Trichoderma* sp. № 9 и № 8).

Как показали проведенные исследования фунгистатической активности новых штаммов *Trichoderma sp.* в отношении представителей родов *Fusarium*, *Aspergillus* и *Penicillium*, штаммы *Trichoderma* №№ 14–21 подавляли рост колоний *Fusarium sp.* 81 (1), *Penicillium sp.* 173 (2), *Aspergillus clavatus*, *Fusarium sp.* MO 1 – 01a, *Aspergillus fumigatus*. Более эффективно подавляет рост перечисленных фитопатогенов штаммы *Trichoderma* №№ 20, 21 которые кроме указанных фитопатогенов активно снижают скорость роста колоний *Aspergillus fumigatus* 97 (1). Наименьшую активность подавления изучаемых штаммов фитопатогенов по результатам наших опытов проявляли штаммы *Trichoderma* №№ 14–19, которые в отношении одного фитопатогена оказались не эффективными: *Aspergillus fumigatus* 97 (1) (рис. 4).

Как показывает анализ данных биологической эффективности вышеперечисленных штаммов *Trichoderma sp.* уровень биоконтролирующих свойств их высокий – и находится в пределах от 48 до 98 % (табл. 1).

Наши исследования показывают, что в отношении *Asp. fumigatus* 97(1) штаммы *Trichoderma sp.* №№ 14–19 индекс биологической эффективности составил от -12 – -14 % (штаммы *Trichoderma sp.* № № 18,19) до -19 % (штаммы *Trichoderma sp.* №№14–17). Так же не эффективным в отношении подавления *Fusarium sp.* 81(1) оказался штамм *Trichoderma sp.* № 18 (индекс BE равен -5 %).

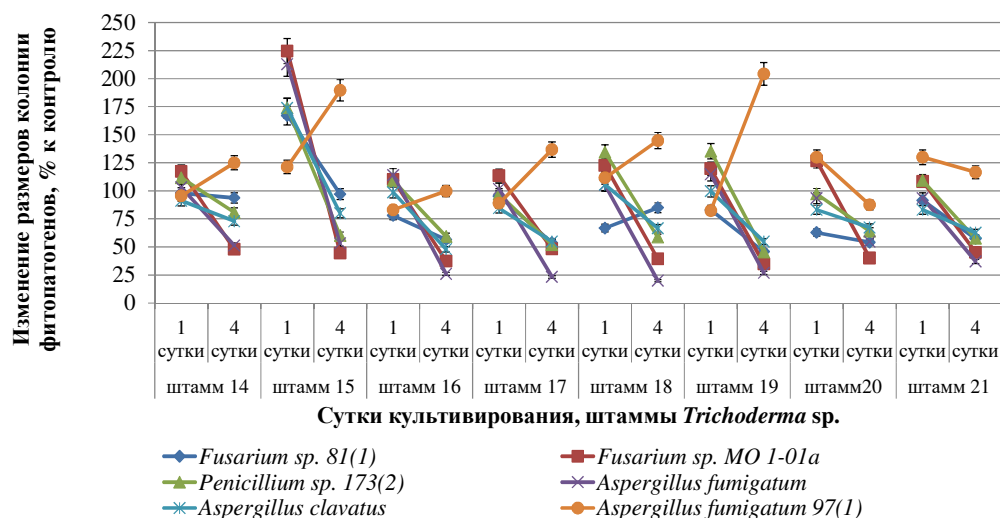


Рис. 4. Изменение размеров (индекс прироста) колоний фитопатогенных микромицетов при совместном культивировании с новыми штаммами *Trichoderma sp.* №№14–21.

Как показали проведенные исследования фунгистатической активности новых штаммов *Trichoderma sp.* в отношении представителей рода *Fusarium* и *Alternaria alternata*, штаммы *Trichoderma* №№ 1–7 подавляли рост колоний *Fusarium sp.* 84 (2), *Fusarium sp.* 1 – 01 – a, *Fusarium sp. fragaria*, *Fusarium sp.* 59 (2) (рис. 5).

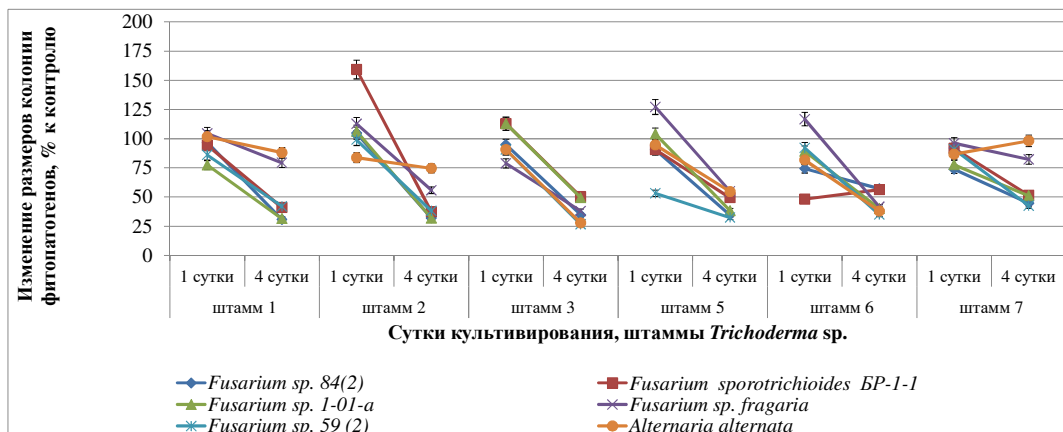


Рис. 5. Влияние новых штаммов *Trichoderma* sp. №№1–7 на изменение размеров (индекс прироста) колоний фитопатогенных микромицетов при совместном культивировании.

Более эффективно подавляет рост перечисленных фитопатогенов штаммы *Trichoderma* №№ 1–5, которые кроме указанных фитопатогенов активно снижают скорость роста колоний *Fusarium sporotrichioides* БР – 1 – 1 и *Alternaria alternata*. Наименьшую активность подавления изучаемых штаммов фитопатогенов по результатам наших опытов проявляли штаммы *Trichoderma* №№ 6, 7, которые в отношении двух фитопатогенов оказались не эффективными: *Fusarium sporotrichioides* БР – 1 – 1 и *Alternaria alternata*. Анализ данных биологической эффективности вышеперечисленных штаммов *Trichoderma* sp. уровень биоконтролирующих свойств их высокий – и находится в пределах от 62 до 98 %.

Как показали проведенные исследования фунгистатической активности новых штаммов *Trichoderma* sp. в отношении представителей рода *Fusarium* и *Alternaria alternata*, штаммы *Trichoderma* №№ 8–13 подавляли рост колоний *Fusarium* sp. 84 (2), *Fusarium* sp. 1 – 01 – а, *Fusarium* sp. *fragaria*, *Fusarium* sp. 59 (2), *Alternaria alternata*. Более эффективно подавляет рост перечисленных фитопатогенов штаммы *Trichoderma* №№ 8, 10, 11, 12, 13, которые кроме указанных фитопатогенов активно снижают скорость роста колоний *Fusarium sporotrichioides* БР – 1 – 1. Наименьшую активность подавления изучаемых штаммов фитопатогенов по результатам наших опытов проявлял штамм *Trichoderma* № 9, который в отношении одного фитопатогена оказался не эффективными: *Fusarium sporotrichioides* БР – 1 – 1 (рис. 6). Биологическая эффективности вышеперечисленных штаммов *Trichoderma* sp. и уровень ее биоконтролирующих свойств находится в пределах от 31 до 98 %. Наши исследования показывают, что в отношении *Fusarium sporotrichioides* БР-1-1 штамм *Trichoderma* sp. №9 не оказывал биоконтролирующих свойств – т.е. не подавлял его роста.

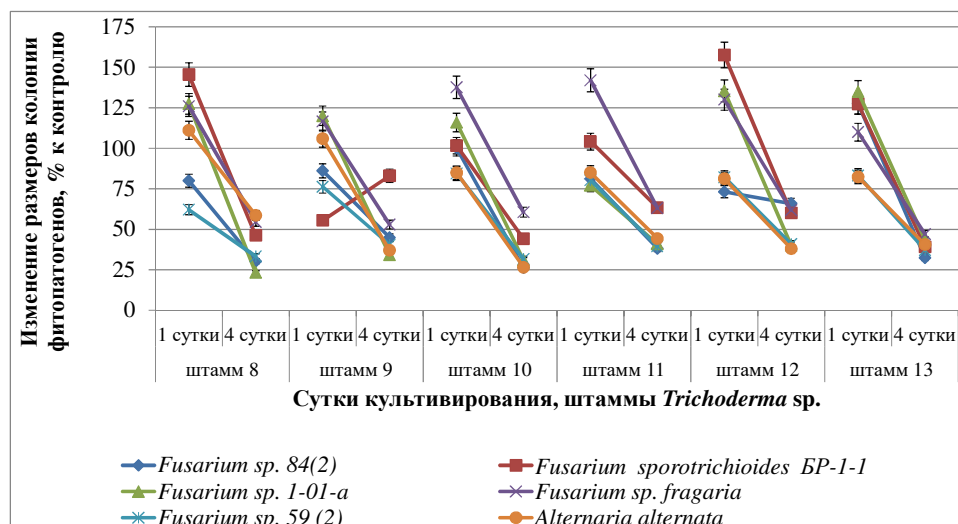


Рис. 6. Изменение размеров (индекс прироста) колоний фитопатогенных микромицетов при совместном культивировании с новыми штаммами *Trichoderma* sp. №№ 8–13.

Как показали проведенные исследования фунгистатической активности новых штаммов *Trichoderma* sp. в отношении представителей рода *Fusarium* и *Alternaria alternata*, штаммы *Trichoderma* №№ 14–19 подавляли рост колоний *Fusarium* sp. 84 (2), *Fusarium* sp. 1 – 01 – а, *Fusarium* sp. *fragaria*, *Fusarium* sp. 59 (2) и *Alternaria alternata*. Все перечисленные штаммы эффективно подавляют рост, указанных фитопатогенов (рис. 7). Как показывает анализ данных биологической эффективности вышеперечисленных штаммов *Trichoderma* sp. уровень биоконтролирующих свойств их высокий – и находится в пределах от 44 до 96 %.

Исследование фунгистатической активности новых штаммов *Trichoderma* sp. в отношении представителей рода *Fusarium* и *Alternaria alternata*, штаммы *Trichoderma* №№ 20, 21 подавляли рост колоний *Fusarium* sp. 84 (2), *Fusarium* sp. 1 – 01 – а, *Fusarium* sp. *fragaria*, *Fusarium* sp. 59 (2) и *Alternaria alternata*. Все перечисленные штаммы эффективно подавляют рост, указанных фитопатогенов (рис. 8). Как показывает анализ данных биологической эффективности вышеперечисленных штаммов *Trichoderma* sp. уровень их биоконтролирующих свойств находится в пределах от 43 до 99 %.

В отношении представителей рода *Aspergillus* и *Penicillium viridicatum*, штаммы *Trichoderma* №№ 1–7 подавляли рост колоний *Aspergillus flavus* R. В отношении изменения размеров колонии патогенного микромицета *Penicillium viridicatum*, штамм *Trichoderma* №1 практически не оказывал задерживающего действия: изменение площади колонии фитопатогена при совместном культивировании *Trichoderma* sp. №1 практически не изменяется. Но при этом, данный штамм *Trichoderma* проявляет довольно высокую биологическую эффективность – подавляет рост изучаемого штамма *Penicillium viridicatum* на 76 % относительно

контроля. Биологическая эффективности вышеперечисленных штаммов *Trichoderma* sp. уровень биоконтролирующих свойств находится в пределах от 73 до 97 %.

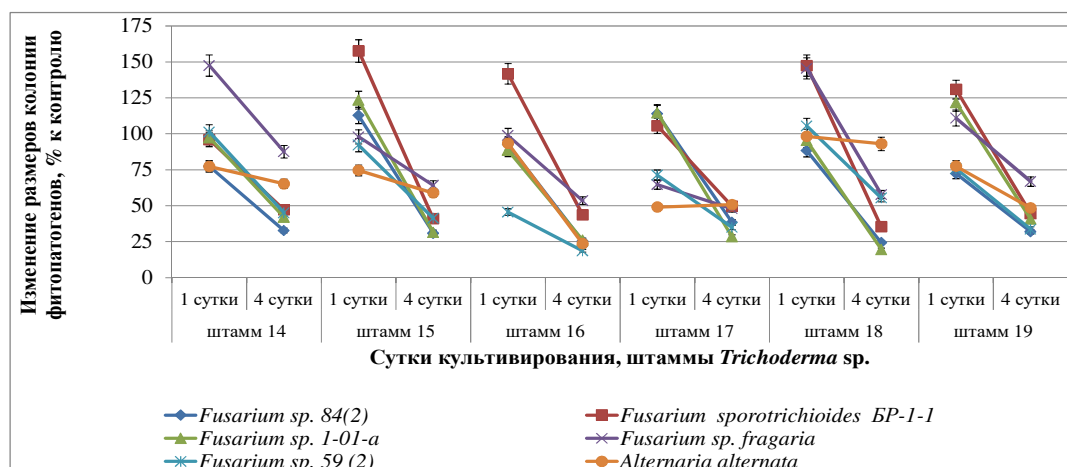


Рис. 7. Влияние новых штаммов *Trichoderma* sp. №№14–19 на изменение размеров (индекс прироста) колоний фитопатогенных микромицетов при совместном культивировании.

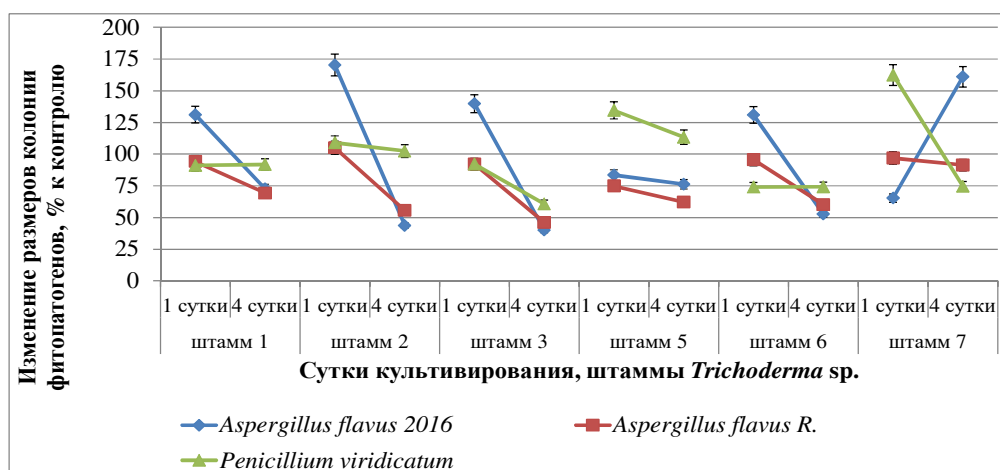


Рис. 8. Влияние новых штаммов *Trichoderma* sp. №№1–7 на изменение размеров (индекс прироста) колоний фитопатогенных микромицетов при совместном культивировании.

Как показали проведенные исследования фунгистатической активности новых штаммов *Trichoderma* sp. в отношении представителей рода *Aspergillus* и *Penicillium*

viridicatum, штаммы *Trichoderma* №№ 8–13 подавляли рост колоний *Aspergillus flavus* R., *Aspergillus flavus* 2016 (рис. 8).

Более эффективно подавляет рост перечисленных фитопатогенов штаммы *Trichoderma* №№ 8–12, которые кроме указанных фитопатогенов активно снижают скорость роста колоний *Penicillium viridicatum*. Наименьшую активность подавления изучаемых штаммов фитопатогенов по результатам наших опытов проявлял штамм *Trichoderma* № 13, который в отношении одного фитопатогена оказался не эффективными: *Penicillium viridicatum* (рис. 8). Биологическая эффективность вышеперечисленных штаммов *Trichoderma* sp. уровень биоконтролирующих свойств находится в пределах от 65 до 99 %.

Не эффективным оказался штамм *Trichoderma* sp. № 13 в отношении *Pen. viridicatum*. Индекс биологической эффективности *Trichoderma* sp. № 13 в отношении этого фитопатогена составил – 12 %).

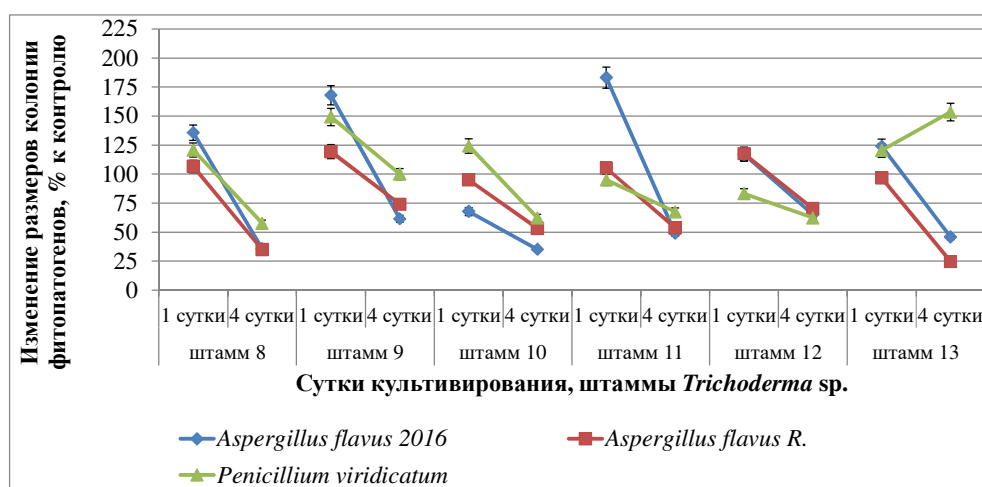


Рис. 9. Изменение размеров (индекса прироста) колоний фитопатогенных микромицетов при совместном культивировании с новыми штаммами *Trichoderma* sp. №8–13.

Как показали проведенные исследования фунгистатической активности новых штаммов *Trichoderma* sp. в отношении представителей рода *Aspergillus* и *Penicillium viridicatum*, штаммы *Trichoderma* №№ 14–19 подавляли рост колоний *Aspergillus flavus* R., *Aspergillus flavus* 2016, *Penicillium viridicatum*. Все перечисленные штаммы эффективно подавляют рост, указанных фитопатогенов. Биологическая эффективность вышеперечисленных штаммов *Trichoderma* sp. уровень биоконтролирующих свойств находится в пределах от 61 до 98 %.

Таким образом, биологическая эффективность и способность подавлять рост колоний фитопатогенных микромицетов родов *Fusarium*, *Aspergillus*, *Penicillium*, *Alternaria* у новых штаммов триходермы различаются. Штаммы *Trichoderma* №№ 1, 3, 5, 20, 21 кроме фитопатогенов *Fusarium* sp. 81(1), *Fusarium* sp. MO 1-01a,

Penicillium sp. 173(2), *Aspergillus fumigatus*, *Aspergillus clavatus* активно снижают скорость роста колоний *Aspergillus fumigatus* 97 (1). Более эффективно подавляет рост фитопатогенов *Fusarium sp. 84(2)*, *Fusarium sp. 1-01-a*, *Fusarium sp. fragaria*, *Fusarium sp. 59 (2)*, *Alternaria alternata* штаммы *Trichoderma* №№ 8, 10, 11, 12, 13, которые кроме указанных фитопатогенов активно снижают скорость роста колоний *Fusarium sporotrichioides* БР – 1 – 1. Также стоит отметить, по результатам данного исследования штаммы *Trichoderma* №№ 8–12, которые кроме таких фитопатогенов как *Aspergillus flavus* 2016, *Aspergillus flavus* R., активно снижают скорость роста колоний *Penicillium viridicatum*.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Предложено два варианта оценки антагонистической (биологической, биоконтролирующей) активности штаммов триходермы:
 - а). Индекс изменения (I_p) размеров колонии фитопатогена относительно контрольного варианта его выраживания в отсутствие триходермы, рассчитанный на первые и четвертые сутки культивирования дает возможность графически выразить направленность взаимодействия фитопатогенных микромицетов и триходермы, с целью отбора эффективно подавляющих штаммов триходермы.
 - б). Индекс биологической эффективности (B_E) позволяющий количественно оценить антагонизм отдельных штаммов триходермы с целью отбора наиболее эффективного штамма.
2. Биологическая эффективность и способность подавлять рост колоний фитопатогенных микромицетов родов *Fusarium*, *Aspergillus*, *Penicillium*, *Alternaria* у новых штаммов триходермы различаются.

Работа выполнена на оборудовании ЦКП «Экспериментальная физиология и биофизика».

Список литературы

1. Guo R. Structures and Biological Activities of Secondary Metabolites from *Trichoderma harzianum* / Guo R., Li G., Zhang Z., Peng X. // *Mar Drugs*. – 2022. – № 20(11). – P. 701.
2. Kredics L. A challenge to mushroom growers: the green mould disease of cultivated champignons. / Kredics L., Jimenez G. L., Naeimi S., Czifra D., Urban P., Manczinger L. et al. // In: *Current research, technology and education topics in applied microbiology and micro-bial biotechnology*. Mendez-Vilas A. (ed.). FORMA-TEX. – 2010. – P. 295–305.
3. Vinale F. *Trichoderma* secondary metabolites that affect plant metabolism / Vinale F., Sivasithamparam K., Ghisalberti E. L., Ruocco M., Wood S., Lorito M. // *Nat Prod Commun*. – 2012. – № 7(11). – P. 1545–1550.
4. Peterson R. *Trichoderma reesei* RUT-C30--thirty years of strain improvement / Peterson R., Nevalainen H. // *Microbiology (Reading)*. – 2012 – № 158(Pt 1). – P. 58–68.
5. Сидякин А. И. Оценка биологической эффективности (стимулирующих и биоконтролирующих свойств) биопрепарата Трихоплант / А. И. Сидякин, В. А. Филоненко // *Перспективы использования инновационных форм удобрений, средств защиты и регуляторов роста растений в агротехнологиях сельскохозяйственных культур: Материалы докладов участников 9-ой научно-*

- практической конференции «Анапа-2016». Под ред. акад. РАН В.Г. Сычева. М.: ВНИИА, 2016. – С. 127.
6. ГОСТ 12044-93. Семена сельскохозяйственных культур. Методы определения зараженности болезнями. // В Сб. Семена сельскохозяйственных культур. Методы анализа: Сб. ГОСТов. – М.: ИПК Издательство стандартов, М.: Стандартинформ, 2011. – С.162.
 7. Лягушина О. А., Сидякин А. И. Биопрепарат для стимуляции роста растений и их защиты от фитопатогенов на основе штаммов *Trichoderma*, штаммы *Trichoderma* для его производства (варианты), способ получения биопрепарата на основе таких штаммов // Бюл. № 35 19.06.2013. US 2004/0176249 A1, 09.09.2004. RU 2035145 C1, 20.05.1995. Опубликовано: 10.01.2017 Бюл. № 1
 8. Методические указания по регистрационным испытаниям фунгицидов в сельском хозяйстве / Под ред. член.-корр. Россельхозакадемии В. И. Долженко. – М.: Всероссийский НИИ защиты растений (ВИЗР), 2009. – 378 с.

A NEW APPROACH TO DETERMINING THE BIOCONTROLLING EFFICACY OF MICROMYCETE STRAINS ON THE EXAMPLE OF *TRICHODERMA* SP.

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

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

The article describes a new modification of the approach to the study of the antagonistic activity of microorganisms on the example of *Trichoderma longibrachiatum* GF 2/6, J2 30 Brz and Za 3/19 GF and various phytopathogenic micromycetes. Based on the study of the antagonistic activity of twenty-one new strains of *Trichoderma* against fifteen strains of phytopathogenic fungi, using a modified method of perpendicular strokes and the use of Henderson-Tilton formulas to calculate the biological efficacy of the strain in suppressing pathogens, as well as the pathogen growth suppression index, new highly effective strains of *Trichoderma* were selected that suppress the growth of a wide range of pathogens of various mycoses of plants. It is shown that the biological efficacy and ability to inhibit the growth of colonies of phytopathogenic micromycetes of the genera *Fusarium*, *Aspergillus*, *Penicillium*, *Alternaria* in new strains of *Trichoderma* varies. Strains of *Trichoderma* Nos 1, 3, 5, 20, 21 except phytopathogens *Fusarium* sp. 81(1), *Fusarium* sp. MO 1-01a, *Penicillium* sp. 173(2), *Aspergillus fumigatus*, *Aspergillus clavatus* actively reduce the growth rate of colonies of *Aspergillus fumigatus* 97 (1). *Trichoderma* strains Nos 8, 10, 11, 12, 13 inhibits more effectively the growth of phytopathogens *Fusarium* sp. 84(2), *Fusarium* sp. 1-01-a, *Fusarium* sp. fragaria, *Fusarium* sp. 59 (2), *Alternaria alternata*, and, in addition to these phytopathogens, actively reduce the growth rate of colonies of *Fusarium sporotrichioides* BR - 1 - 1. Strains of *Trichoderma* Nos 8, 10, 11, 12, 13, inhibits more effectively the growth of phytopathogens *Fusarium* sp. 84(2), *Fusarium* sp. 1-01-a, *Fusarium* sp. fragaria, *Fusarium* sp. 59 (2), *Alternaria alternata*, and, in addition to these phytopathogens, actively reduce the growth rate of colonies of *Fusarium sporotrichioides* BR - 1 - 1. Thus, the paper proposes two options for assessing the antagonistic (biological, biocontrol) activity of *Trichoderma* strains: the index of change in the size of the phytopathogen colony of the control variant

of its cultivation in the absence of *Trichoderma*, calculated on the first and fourth days of cultivation in order to select effectively suppressing strains of *Trichoderma*; the biological efficacy index allows to quantify the antagonism of individual strains of *Trichoderma* in order to select the most effective strain.

Keywords: micromycetes, *Trichoderma*, biological efficacy, phytopathogenic fungi.

References

1. Guo R., Li G., Zhang Z., Peng X. Structures and Biological Activities of Secondary Metabolites from *Trichoderma harzianum*, *Mar Drugs.*, **20(11)**, 701 (2022).
2. Kredics L., Jimenez G. L., Naeimi S., Czifra D., Urban P., Manczinger L. A challenge to mushroom growers: the green mould disease of cultivated champignons. In: *Current research, technology and education topics in applied microbiology and micro-bial biotechnology*, 295 (Mendez-Vilas A. (ed.). FORMA-TEX Publ.; 2010).
3. Vinale F., Sivasithamparam K., Ghisalberti E.L., Ruocco M., Wood S., Lorito M. *Trichoderma* secondary metabolites that affect plant metabolism, *Nat Prod Commun.*, **7(11)**, 1545 (2012).
4. Peterson R., Nevalainen H. *Trichoderma reesei* RUT-C30--thirty years of strain improvement, *Microbiology (Reading)*, **158(Pt 1)**, 58 (2012).
5. Sidyakin A. I., Filonenko V. A. Otsenka biologicheskoy effektivnosti (stimuliruyushchikh i biokontroliruyushchikh svoystv) biopreparata Trikhoplant, *Perspektivy ispol'zovaniya innovatsionnykh form udobreniy, sredstv zashchity i regulatorov rosta rasteniy v agrotekhnologiyakh sel'skokhozyaystvennykh kul'tur*: Materialy докладов участников 9-oy nauchno-prakticheskoy konferentsii «Anapa-2016». Pod red. akad. RAN VG Sycheva, 127 (M.: VNIIA Publ., 2016).
6. GOST 12044-93. Semena sel'skokhozyaystvennykh kul'tur. Metody opredeleniya zarazhennosti boleznymi, V Sb. *Semena sel'skokhozyaystvennykh kul'tur. Metody analiza*: Sb. GOSTov., 162 (M.: IPK Izdatel'stvo standartov, M.: Standartinform, 2011).
7. Lyagushina O. A., Sidyakin A. I. Biopreparat dlya stimulyatsii rosta rasteniy i ikh zashchity ot fitopatogenov na osnove shtammov *Trichoderma*, shtammy *Trichoderma* dlya ego proizvodstva (varianty), sposob polucheniya biopreparata na osnove takikh shtammov, *Byul.* № 35 19.06.2013. US 2004/0176249 A1, 09.09.2004. RU 2035145 C1, 20.05.1995. Opublikovano: 10.01.2017 Byul. № 1
8. Metodicheskie ukazaniya po registratsionnym ispytaniyam fungitsidov v sel'skom khozyaystve/ Pod red.chlen.-korr. Rossel'khozakademii V. I. Dolzhenko, 378 (M.: Vserossiyskiy NII zashchity rasteniy (VIZR) Publ., 2009).

УДК 612.88: 159.935

DOI 10.29039/2413-1725-2024-10-4-196-204

НЕЗАВИСИМОСТЬ ЛАТЕНТНОГО ПЕРИОДА ПРОСТОЙ ТАКТИЛЬНО-МОТОРНОЙ РЕАКЦИИ ОТ ДЛИТЕЛЬНОСТИ ТАКТИЛЬНОГО СТИМУЛА

Соболев В. И.¹, Попов М. Н.¹, Труш В. В.²

¹Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Крымский федеральный университет им. В. И. Вернадского», Ялта, Республика Крым, Россия

*²Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Донецкий государственный университет», Донецк, ДНР, Россия
E-mail: v.sobolev@mail.ru*

В исследования, проведенных в группе студенток-гуманитариев, определяли характер зависимости латентного периода тактильно-моторной реакции от длительности тактильного контакта. Показано, что индивидуальные значения латентного периода тактильно-моторной реакции в ответ на тактильное касание дистальной фаланги безымянного пальца кисти (площадь стимуляции 1 мм²) с силой сопоставимой с абсолютным порогом раздражения колебались в пределах 167–283 мс. Установлено, что латентный период тактильно-моторной реакции в диапазоне длительности тактильного контакта от 10, 50 и 100 мс не зависел от времени действия стимула и составлял в среднем соответственно 203, 206 и 204 мс.

Ключевые слова: тактильно-моторные реакции, латентный период, длительность тактильного контакта.

ВВЕДЕНИЕ

Проблема формирования осознанного ощущения представляет в области психофизиологии и психологии как теоретический, так и практический интерес [1–3]. Одним из методологических подходов к изучению данной проблемы является качественная и количественная оценка процесса формирования сенсомоторных реакций [3–6]. В литературе существует огромное число публикаций, посвященных исследованию составных компонентов зрительно-моторных и аудиомоторных реакций [6–8]. Выявлены основные механизмы их реализации и формирования зрительного и слухового ощущения [3, 5, 9, 10]. Однако в стороне от интенсивных исследований остается проблема формирования и реализации тактильного ощущения, в частности такой ее аспект как реактивность тактильно-моторной реакции. В литературе лишь изредка встречаются публикации, связанные с измерением временных параметров ее реализации [11–15]. Считается, что латентный период тактильно-моторной реакции (ЛП ТМР) находится в пределах 90–400 мс [11, 12]. С нашей точки зрения, широкий диапазон значений ЛП ТМР

связан со сложной морфологической и функциональной структурой тактильного анализатора, в эфферентном звене которого выделяют не менее 5 рецепторных тактильных образований [16], реагирующих на разные компоненты тактильного стимула. В частности, восприятие прикосновения (и вибраций) осуществляется с помощью фазных (быстро адаптирующихся) рецепторов, а давления – благодаря возбуждению тонических (медленно адаптирующихся) рецепторов. В качестве рабочей гипотезы было принято предположение о независимости скорости тактильно-моторной реакции от длительности стимуляции быстро адаптирующихся рецепторов, реагирующих на тактильное касание.

Целью работы явилось выяснение характера зависимости латентного периода тактильно-моторной реакции от длительности тактильного контакта (тактильного касания).

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В исследованиях на добровольной основе приняли участие 10 практически здоровых студентов (девушек) возрастом от 19 до 20 лет. В ходе экспериментов у всех испытуемых измеряли латентный период тактильно-моторной реакции (ЛП ТМР) на легкое тактильное касание внутренней стороны дистальной фаланги безымянного пальца правой руки.

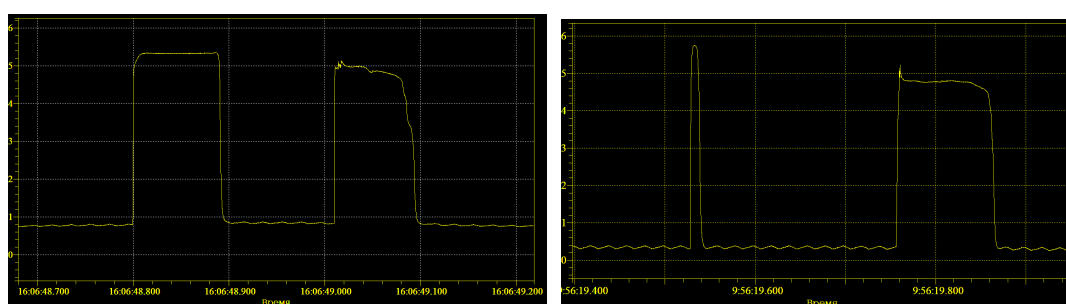
Эксперимент проходил в два этапа. На первом этапе испытуемые на рабочей установке проходили предварительную тренировку в виде выполнения в течение трех циклов с перерывом на отдых трехсот попыток на предъявление тактильного стимула. На втором этапе выполнялся собственно эксперимент.

Для измерения ЛП ТМР использовалась экспериментальная установка, представленная двухканальным DDS-генератором прямоугольных импульсов (FY6900-30M), малогабаритным соленоидом типа КК-0530В (линейный актуатор), включенным в цепь электронного ключа, устройством для сигнализации длительности тактильного контакта и момента начала моторной реакции, а также многоканальным электронным USB-самописцем фирмы ADClab (S-Recorder-L, Россия). К подвижному сердечнику соленоида крепился металлический стержень в виде стального провода площадью сечения 1 мм^2 , а сам соленоид с помощью шагового двигателя (подобно микровинту) перемещался экспериментатором по вертикали до того момента, пока испытуемый при очередном срабатывании соленоида не ощущал легкое, но четко ощущаемое, тактильное касание металлического стержня. Тактильный стимул в этом случае был несколько выше пороговой величины. В таком положении соленоида и проводились последующие измерения ЛП ТМР. В ходе опыта при срабатывании соленоида металлический стержень поднимался вверх и касался поверхности дистальной фаланги безымянного пальца (тут же появлялась отметка на записи), после чего испытуемый 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 измерялась длительность тактильного стимула и

латентный период тактильно-моторной реакции.

Следует отметить, что работа соленоида сопровождается отчетливым звуковым эффектом. В связи с этим испытуемый может реагировать не только на тактильное касание, но и на звук. Латентный период аудиомоторной реакции относительно короткий, поэтому экспериментатор может зарегистрировать не тактильную реакцию, а аудиореакцию. Для исключения этого нежелательного эффекта, во-первых, соленоид максимально хорошо звукоизолировался, во-вторых, испытуемый работал в проводных наушниках Sennheiser HD 206 и, в третьих, наушники были подключены к источнику белого шума. Все это вместе позволило полностью исключить негативное влияние внешнего источника звука на тактильно-моторную реакцию испытуемых.

С учетом поставленных в работе задач, ЛП ТМР измеряли трижды: при коротком тактильном стимуле (10 мс), среднем (50 мс) и длительном (100 мс). Число замеров для каждого стимула составило 10.



А

Б

Рис. 1. Образцы записей-оригиналов тактильно-моторной реакции в ответ на стимуляцию дистальной фаланги безымянного пальца

Обозначения: по оси «Х» шкала времени записи (часы, мин., сек и мс); первый прямоугольник – тактильный стимул (отражает длительность тактильного контакта); начало второй отметки отражает начало моторной реакции. на А – длительность тактильного стимула равна 96 мс; латентный период реакции составил 210 мс; на Б – длительность тактильного стимула равна 11 мс; латентный период реакции составил 220 мс.

Статистическая обработка экспериментальных данных. Оценку статистической достоверности различий между центральными тенденциями сравниваемых групп осуществляли с использованием t-критерия Стьюдента, для вариационных рядов с разной дисперсией, а также с использованием двухвыборочного F-теста для дисперсий и непараметрического критерия Манна-Уитни. Рассчитывались также коэффициенты вариации. Значения $p < 0,05$ рассматривали как статистически значимые.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Эмпирические данные, полученные в ходе экспериментов, представлены в таблице. Обращают на себя внимание следующие основные моменты. Во-первых, при тактильной стимуляции дистальной фаланги безымянного пальца длительностью $10 \pm 0,16$ мс латентный период тактильно-моторной реакции составил $202,9 \pm 1,98$ мс при дисперсии выборки 392 и коэффициенте вариации 9,8 %. Последнее свидетельствует о достаточно хорошей плотности вариант в вариационном ряду и свидетельствует о хорошей стабильности при использованных условиях стимуляции данной сенсомоторной реакции.

Таблица

Латентный период (мс) тактильно-моторной реакции (тактильное касание) у испытуемых при стимуляции тактильными стимулами разной длительности

Статистический параметр	Характеристика тактильного стимула		
	Короткий стимул, $10,5 \pm 0,16$ мс	Средняя длительность стимула, $50,6 \pm 0,15$ мс	Длительный стимул, $100,4 \pm 0,3$ мс
Среднее, мс	202,9 **	206,4 **	204,5 **
Стандартная ошибка	1,98	1,85	1,90
Стандартное отклонение	19,8	18,5	19,2
Дисперсия выборки	392 *	342 *	368 *
Коэффициент вариации, %	9,8	9,1	9,3
Счет	100	100	100

Примечание: * – по результатам использования двухвыборочного F-тест для дисперсий различия между дисперсиями выборок статистически незначимы ($p > 0,05$); ** – различия между средними величинами статистически незначимы ($p > 0,05$).

Во-вторых, удлинение тактильного стимула в среднем до $50,6 \pm 0,15$ мс не отразилось на величине латентного периода реакции. Так, по данным таблицы следует, что значение данного параметра составило $206,4 \pm 1,85$ мс, что было статистически незначимо ($p > 0,05$) в сравнении с результатами измерения ЛП ТМР при стимуляции импульсами длительностью $10,5 \pm 0,16$ мс. Такой же результат получен и при альтернативном методе сравнительного анализа с помощью непараметрического показателя U-критерия Манна-Уитни ($p > 0,05$). Другие статистические параметры вариационного ряда также не различались (см. таблицу).

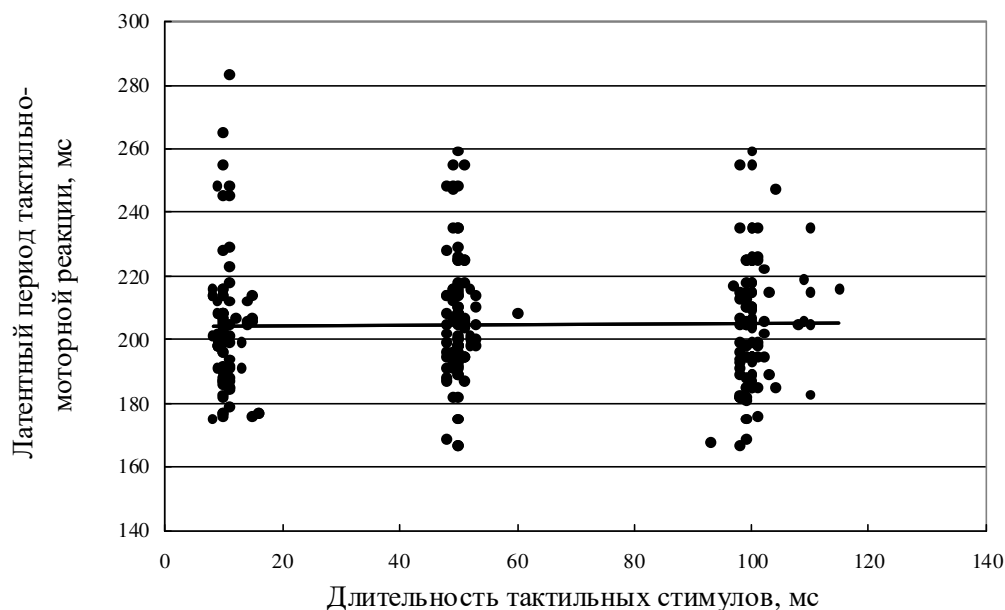


Рис. 2. Характер зависимости латентного периода тактильно-моторной реакции от длительности тактильного стимула

Наконец, в-третьих, при еще большем удлинении тактильного стимула, в частности до $100,4 \pm 0,3$ мс, латентный период по-прежнему не изменялся и составил $204,5 \pm 1,9$ мс. Величина дисперсии выборки и коэффициент вариации также были на уровне значений, полученных в экспериментах при других вариантах тактильной стимуляции.

Таким образом, все три статистические параметры, характеризующие исследуемые вариационные ряды, несмотря на различную длительность тактильной стимуляции с точки зрения статистической значимости не различались.

Факт независимости латентного периода тактильно-моторной реакции от длительности тактильного стимула (в пределах диапазона от 10 до 100 мс) еще раз доказательно подтверждается результатами корреляционного и регрессионного анализа (Рис. 2). Так, коэффициент корреляции Пирсона между длительностью тактильных стимулов (10, 50 и 100 мс) и значением латентного периода ТМР

составил $0,0334 \pm 0,058$ ($p > 0,05$).

Статистически незначимой ($p = 0,56$) была и величина коэффициента регрессии в соответствующем уравнении, имеющим следующий вид:

$$\text{ЛП} = 0,0174x + 204,$$

где ЛП – значение латентного периода тактильно-моторной реакции, мс;

x – длительность тактильного стимула, мс.

Обсуждая результаты экспериментов, необходимо обратить внимание на следующие основные моменты.

Во-первых, по нашим данным, индивидуальные значения латентного периода тактильно-моторной реакции колебались в широком диапазоне (167–283 мс), однако средние величины во всех случаях (от 199 до 205 мс) были выше соответствующих величин для простых зрительно-моторных [5, 9] и аудиомоторных [5] реакций. Вместе с тем, в разных литературных источниках указывается, что латентный период ТМР колеблется в пределах 90–400 мс [11, 12]. Такой разброс значений можно объяснить разнообразием использованных методических приемов измерения данной сенсомоторной реакции, а также другими обстоятельствами. Однако приводимые в литературе значения ЛП ТМР ниже 110 мс, вызывают сомнения, так как с учетом структуры и организации афферентной части тактильного анализатора трудно представить, что указанного времени будет достаточно для формирования осознанного тактильного ощущения и моторного ответа.

Во-вторых, что принципиально важно, по результатам наших исследований можно сделать вывод о том, что латентный период тактильно-моторной реакции (тактильное касание) не зависел от длительности действия стимула (тактильного контакта). Такое утверждение справедливо, по крайней мере, для использованного нами диапазона от 10 до 100 мс и силе стимула лишь немного превышающей пороговую. Приведенная закономерность качественно отличается от той, которая свойственна другим типам анализаторов, например, зрительному и слуховому. Так, установлено, что латентные периоды зрительно- и аудиомоторной реакций прямо зависят от длительности сенсорного стимула [5, 7], так как его длительность в этих случаях эквивалентна интенсивности.

Объяснение факта независимости ЛП ТМР от длительности тактильного стимула в виде касания, по-видимому, можно связать с особенностями строения эффекторной части тактильного анализатора, в частности с существованием различных пулов тактильных рецепторов, в том числе и характеризующихся высокой реактивностью. Мы полагаем, что при нанесении на кожу испытуемого тактильного стимула незначительной интенсивности (тактильное касание) возбуждались преимущественно поверхностные так называемые быстро адаптирующиеся рецепторы, которые в ответ на тактильный стимул реагируют с интенсивностью близкой к максимальной. Это может быть одной из причин, объясняющей факт независимости латентного периода ТМР от длительности тактильного стимула. Что же касается характера зависимости латентного периода тактильной реакции от силы раздражения, то для ответа на этот вопрос с учетом разнообразия типов тактильных рецепторов требуются дополнительные исследования.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Индивидуальные значения латентного периода тактильно-моторной реакции в группе испытуемых женского пола (студенты) в ответ на тактильное касание дистальной фаланги безымянного пальца кисти (площадь стимуляции 1 мм²) с силой сопоставимой с абсолютным порогом раздражения колебались в пределах 167–283 мс.
2. Латентный период тактильно-моторной реакции в диапазоне длительности тактильного контакта от 10, 50 и 100 мс не зависел от времени действия стимула и составлял в среднем соответственно 203, 206 и 204 мс.

Список литературы

1. Есаков А. И. Нейрофизиологические основы тактильного восприятия. / Есаков А. И. и Дмитриева Т. М. – М., 1971, библиогр.; Ильинский О. Б. Физиология механорецепторов. / Ильинский О. Б. – Л., 1975; Физиология сенсорных систем, под ред. А. С. Батуева. – Л., 1976.
2. Чуприкова Н. И. Время реакций человека: Физиологические механизмы, вербально-смысловая регуляция, связь с интеллектом и свойствами нервной системы / Н. И. Чуприкова. – М.: Издательский Дом ЯСК, 2019. – 432 с.
3. Современная экспериментальная психология: В 2 т. / Под ред. В. А. Барабанщикова. – М.: Изд-во «Институт психологии РАН», 2011 – Т. 2. – 493 с.
4. Miller Jeff Another Warning about Median Reaction Time / Jeff Miller // Meta-Psychology. – 2023. – Vol. 7. – P. 1–20.
5. Нехорошкова А. Н. Сенсомоторные реакции в психофизиологических исследованиях (Обзор) / Нехорошкова А. Н., Грибанов А. В., Депутат И. С. // Вестник Северного (Арктического) федерального университета. Серия: Медико-биологические науки. – 2015. – № 1. – С. 38–48.
6. Шутова С. В. Сенсомоторные реакции как характеристика функционального состояния ЦНС / С. В. Шутова, И. В. Муравьева // Вестник ТГУ. – 2013. – Т. 18, Вып. 5. – С. 2831–2840.
7. Woods D. L. Factors influencing the latency of simple reaction time / D. L. Woods, J. M. Wyma, E. W. Yund [et al.] // Front. Hum. Neurosci. – 2015. – V. 9, № 131. – P. 131.
8. 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
9. Соболев В. И. Характеристика латентных периодов и параметров вариабельности составных элементов простой зрительно-моторной реакции (электромиографическое исследование) / Соболев В. И. // Физиология человека. – 2020. – Т. 46, № 4. – С. 30–43. doi: 10.31857/S0131164620020174
10. Соболев В. И. Феномен независимости времени зрительно-моторной реакции простого выбора (модель «Go / No-go») от числа и модальности дифференцировочных тормозных стимулов / В. И. Соболев, М. Н. Попов, В. В. Труш // Ученые записки Крымского федерального университета имени В. И. Вернадского Биология. Химия. – 2019. – Том 5 (71), № 3. – С. 95–109.
11. Johansson R. S. Detection of tactile stimuli. Thresholds of afferent units related to psychophysical thresholds in the human hand / R. S. Johansson, A. B. Vallbo // J. Physiol. – 1979. – 297. – P. 405–422.
12. Dongwon Kim The effect of haptic cues on motor and perceptual based implicit sequence learning / Dongwon Kim, Brandon J. Johnson, R. Brent Gillespie and Rachael D. Seidler // Front Hum Neurosci. – 2014. – 8. – P. 130. Published online 2014 Mar 28. doi: 10.3389/fnhum.2014.00130
13. Knibestöl M. Intensity of sensation related to activity of slowly adapting mechanoreceptive units in the human hand / M. Knibestöl, A. B. Vallbo // J Physiol. – 1980. – 300. – P. 251–67. doi: 10.1113/jphysiol.1980.sp013160.
14. Werner Gerhard Neural activity in mechanoreceptive cutaneous afferents: stimulus-response relation, and information transmission / Gerhard Werner, Vernon B. Mountcastle // J Neurophysiol. – 1965. – 28. – P. 359–97. doi: 10.1152/jn.1965.28.2.359

15. Choi Jeongbong Quantification of Displacement for Tactile Sensation in a Contact-type Low Intensity Focused Ultrasound Haptic Device / Jeongbong Choi, Soonhyun Yook, In Young Kim, Mok Kun Jeong, Dong Pyo Jang // ACM Transactions on Applied Perception (TAP). – Volume 18, Issue 1, No. 1. – P. 1–8.
16. Лупандин В. И. Основы сенсорной физиологии : учебное пособие / В. И. Лупандин, О. Е. Сурнина. – Москва : Сфера, 2006. – 283 с.

INDEPENDENCE OF THE LATENCY PERIOD OF A SIMPLE TACTILE-MOTOR REACTION FROM THE DURATION OF THE TACTILE STIMULUS

Sobolev V. V.¹, Popov M. N.¹, Trush V. V.²

¹*Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education “Crimean Federal University named after V. I. Vernadsky”, Yalta, Republic of Crimea, Russia*

²*Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education “Donetsk State University”, Donetsk, DPR, Russia
E-mail: v.sobolev@mail.ru*

The aim of the work was to clarify the nature of the dependence of the latent period of the tactile-motor reaction on the duration of tactile contact.

Method. Ten practically healthy female humanities students aged 19 to 20 years voluntarily took part in the research. During the experiments, the latent period of the tactile-motor reaction to a light tactile touch on the inner side of the distal phalanx of the ring finger of the right hand was measured in all subjects.

The latent period of the tactile-motor reaction was measured three times: with a short tactile stimulus (10.5 ± 0.16 ms), medium (50.6 ± 0.15 ms) and long (100.4 ± 0.3 ms). The number of measurements for each stimulus was 10.

Results. It was shown that individual values of the latent period of the tactile-motor reaction in response to tactile touch of the distal phalanx of the ring finger (stimulation area 1 mm²) with a force comparable to the absolute threshold of irritation fluctuated within the range of 167–283 ms. It was established that the latent period of the tactile-motor reaction in the range of tactile contact duration from 10, 50 and 100 ms did not depend on the duration of the stimulus and averaged 203 ± 1.1 , 206 ± 1.6 and 204 ± 1.8 ms, respectively. The variation parameters, sample variance and variation coefficients, also did not differ statistically significantly.

Conclusion. It is assumed that when a tactile stimulus of low intensity (tactile touch) was applied to the skin of the subject, predominantly the superficial so-called rapidly adapting receptors were excited, which react to the tactile stimulus with maximum intensity. This may be one of the reasons explaining the fact that the latent period of TMR is independent of the duration of the tactile stimulus.

Keywords: tactile-motor reactions, latent period, duration of tactile contact.

References

1. Esakov A. I., Dmitrieva T. M., *Neurophysiological Foundations of Tactile Perception*, (Moscow, 1971).
2. Chuprikova N. I., *Human reaction time: Physiological mechanisms, verbal-semantic regulation, connection with intelligence and properties of the nervous system*, 432 p. (M.: Publishing House YASK, 2019).
3. 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).
4. Miller Jeff, Another Warning about Median Reaction Time, *Meta-Psychology*, **7**, 1 (2023).
5. Nekhoroshkova A. N., Griбанov A. V., Deputat I. S., Sensomotornye reakcii v psihofiziologicheskikh issledovaniyah, *Vestnik Severnogo (Arkticheskogo) federal'nogo universiteta. Seriya: Medikobiologicheskie nauki*, **1**, 38 (2015).
6. Shutova S. V., Murav'eva I. V., Sensomotornye reakcii kak harakteristika funktsional'nogo sostoyaniya CNS, *Vestnik TGU*, **13(5)**, 2831 (2013).
7. Woods D. L., Wyma J. M., Yund E. W. [et al.], Factors influencing the latency of simple reaction time, *Front. Hum. Neurosci.*, **9**, 131 (2015).
8. 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).
9. Sobolev V. I., Characteristics of Latent Periods and Variability Parameters of Elements of a Simple Visuomotor Reaction: an Electromyographic Study, *Human Physiology*, **46**, 30 (2020). doi: 10.31857/S0131164620020174
10. Sobolev V. I., Popov M. N., Trush V. V., The independence of the latent period of a complex visual-motor reaction ("GO / NO-GO"-model) from the number and modality of differentiating inhibitory stimulus, *Uchenye zapiski Krymskogo federal'nogo universiteta imeni V. I. Vernadskogo. Biologiya, Himiya*, **5(71)**, 95 (2019).
11. Johansson R. S., Vallbo A. B., Detection of tactile stimuli. Thresholds of afferent units related to psychophysical thresholds in the human hand, *J. Physiol.*, **297**, 405 (1979).
12. Dongwon Kim, Brandon J. Johnson, R. Brent Gillespie and Rachael D. Seidler, The effect of haptic cues on motor and perceptual based implicit sequence learning, *Front Hum Neurosci.*, **8**, 130 (2014). doi: 10.3389/fnhum.2014.00130
13. Knibestöl M., Vallbo A. B., Intensity of sensation related to activity of slowly adapting mechanoreceptive units in the human hand, *J Physiol.*, **300**, 251 (1980). doi: 10.1113/jphysiol.1980.sp013160.
14. Werner Gerhard, Vernon B., Mountcastle Neural activity in mechanoreceptive cutaneous afferents: stimulus-response relation, and information transmission, *J Neurophysiol.*, **28**, 359 (1965). doi: 10.1152/jn.1965.28.2.359
15. Choi Jeongbong, Soonhyun Yook, In Young Kim, Mok Kun Jeong, Dong Pyo Jang, Quantification of Displacement for Tactile Sensation in a Contact-type Low Intensity Focused Ultrasound Haptic Device, *ACM Transactions on Applied Perception (TAP)*, **18**, (2002).
16. Lupandin V. I., *Fundamentals of sensory physiology: a tutorial*, 283 p. (Moscow: Sfera, 2006).

УДК 612.621.31-055.2:796.015.6

DOI 10.29039/2413-1725-2024-10-4-205-216

СОДЕРЖАНИЕ СТЕРОИДНЫХ ГОРМОНОВ В ОРГАНИЗМЕ СПОРТСМЕНОВ ПЕРВОГО И ВТОРОГО ПЕРИОДОВ ЗРЕЛОГО ВОЗРАСТА

Тимофеева С. Н., Погодина С. В., Мальцев В. А., Тимофеев В. Д.

*ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет имени В. И. Вернадского», Симферополь,
Республика Крым, Российская Федерация
E-mail: tima.svetlana82@yandex.ru*

В статье обсуждаются особенности изменений содержания кортизола и тестостерона в организме спортсменов мужского пола первого (22–26 лет) и второго (40–46 лет) периодов зрелого возраста. Обследованы 212 спортсмены аэробных и силовых видов спорта. Также нетренированные мужчины такого же возраста (n=69). Физическую работоспособность оценивали с помощью велоэргометрического теста PWC₁₇₀. Определяли концентрацию кортизола и тестостерона в сыворотке крови методом твердофазного иммуноферментного анализа. Содержание тестостерона изучали в состоянии покоя. Содержание кортизола изучали при выполнении велоэргометрического теста и силового соревновательного упражнения «рывок гири 16 кг». У спортсменов 22–26 лет в группах «выносливость» и «сила» показано отсутствие статистически значимых различий в содержании кортизола во время выполнения физических нагрузок на велоэргометре. У спортсменов 40–46 лет в группах «выносливость» и «сила» выявлено статистически значимое повышение содержания кортизола во время выполнения субмаксимальной физической нагрузки. У спортсменов 40–46 лет в группе «сила» до и во время выполнения силового упражнения выявлена избыточная продукция кортизола.

Ключевые слова: кортизол, тестостерон, спортсмены первого и второго периода зрелого возраста, аэробная и силовая направленность физических нагрузок, нетренированные лица.

ВВЕДЕНИЕ

Структура современного спорта постоянно изменяется, развиваются новые виды спорта, расширяются возрастные границы этапов спортивной подготовки, увеличивается количество спортсменов, желающих продолжать активные занятия спортом после 40 лет [1, 2]. Таким образом, выделяются особенные категории спортсменов – спортсмены второго периода зрелого возраста (40–46 лет), требующие пересмотра унифицированного подхода к построению процесса спортивной тренировки. В связи с этим в практике спортивной подготовки существуют вопросы, связанные с недостаточным пониманием физиологических механизмов адаптации, обеспечивающих ее эффективность на фоне инволюционных процессов, происходящих в организме спортсменов. Известно, что в процессе инволюции снижение эффективности нейрогормональной регуляции функций может приводить к развитию повреждающих эффектов на уровне эндокринной, сердечно-сосудистой и др. систем, ответственных за адаптацию [3, 4]. В то же время специфические физические напряжения, связанные с выполнением

продолжительной работы на выносливость или силовой направленности могут являться дополнительным внешним фактором, провоцирующим стрессовую «эндокринную ситуацию» в организме людей возрастного диапазона 4-го десятилетия [5]. В реализации таких ситуаций большое значение играют стероидные гормоны – кортизол и тестостерон, обладающие выраженными эрготропным и анаболическим эффектами [6]. Так, при физической работе ускорению окисления свободных жирных кислот способствует кортизол. Он также усиливает катаболизм белков, освобождая аминокислоты для глюконеогенеза, который реализуется в печени [7]. При этом кортизол, по принципу обратной связи, стимулирует активность симпатoadреналовой системы, что способствует формированию адаптационных процессов и прямо, или опосредованно, отражается на состоянии важнейших органов и систем организма [8]. В то же время стресс и связанные с ним изменения в системе АКТГ-кортизол вызывают снижение продукции половых гормонов, в частности андрогенов, что также тесно связано с кардиоваскулярными рисками [9]. Дифференцирование возрастных различий в уровне стероидогенеза позволяет выявить возрастные периоды с различной эффективностью адаптационных реакций, предупредить развитие дезадаптации, сохранить здоровье [10].

Целью работы явилось изучение изменений в содержании стероидных гормонов в организме спортсменов первого и второго периода зрелого возраста в зависимости от специфики долговременной адаптации.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В исследованиях приняли участие 281 человек. Обследованы спортсмены мужского пола 1-го периода зрелого возраста 22–26 лет (n=82), 2-го периода зрелого возраста 40–46 лет (n=86). В это число вошли представители циклических видов спорта (велосипедисты, пловцы, легкоатлеты), направленных на преимущественное развитие аэробной выносливости 22–26 лет (n=45), 40–46 лет (n=81), они условно обозначены как группа «выносливость». Также в группу обследованных вошли представители видов спорта, направленных на преимущественное развитие силовых качеств (гиревой спорт) 22–26 лет (n=37), 40–46 лет (n=75), условно обозначены как группа «сила». Также для изучения степени влияния физических нагрузок на возрастные изменения содержания стероидных гормонов в организме спортсменов обследованы нетренированные мужчины 1-го периода зрелого возраста 22–26 лет (n=44) и 2-го периода зрелого возраста 40–46 лет (n=69), условно обозначены как группа «нетренированные». Концентрацию кортизола и тестостерона в сыворотке крови определяли методом твердофазного иммуноферментного анализа с использованием наборов СтериодИФА-кортизол-01 (ЗАО «Алкор Био», Россия) и TESTOSTERON ELISA KIT (The Calbiotech, Inc (CBI), США) [11]. Референсные значения для кортизола 150–760 нмоль/л, тестостерона 10,4–41,6 нмоль/л. Физическую работоспособность оценивали с помощью велоэргометрического теста PWC_{170} и его модификации PWC_{AF} для нетренированных лиц [12]. Содержание тестостерона изучали в состоянии покоя. Содержание кортизола изучали в состоянии

покоя и при выполнении велоэргометрического теста ступенчато-повышающейся мощности, который являлся для спортсменов группы «выносливость» специфической (циклической) физической нагрузкой. Первоначальная мощность нагрузки (W_1) составляла 60 Вт, затем мощность нагрузки доводили до 150–220 Вт (W_2) [12]. Для спортсменов группы «сила» предлагалась специфическая физическая нагрузка в виде силового соревновательного упражнения «рывок гири 16 кг» [13]. Для изучения концентрации кортизола при выполнении данного упражнения, брали многократные заборы венозной крови [14] в состоянии покоя и после 5-ти и 10-ти минут выполнения соревновательного упражнения. Исследования проводили после получения добровольного информированного согласия. Для статистической обработки данных применялась программа STATISTICA 10.0.1011. Проверка соответствия распределения статистических данных закону нормальной распределения проводилась с помощью критерия Шапиро-Уилка. Показатели, которые подчинялись закону нормального распределения, подвергали анализу с помощью статистических параметрических методов. Статистическая обработка материала проводилась путем вычисления среднего значения исследуемых величин (M) и ошибки среднего арифметического (m). Для определения статистически значимых различий использовали t-критерий Стьюдента. Статистически значимыми различия считались при $p < 0,05$. Исследования проводились при частичной поддержке международного социального проекта Рупрехт-Карлс университета г. Хайделберга (Федеративная Республика Германия) и Крымского федерального университета имени В. И. Вернадского «Школа мяча» и одобрены комитетом по биоэтике Крымского федерального университета.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Исходя из теории общего адаптационного синдрома, при интенсивной мышечной деятельности происходит усиление адренокортикальной активности, которая в большей степени зависит от специфики возрастных и адаптационных процессов [3]. Для изучения особенностей возрастных процессов, у всех обследованных определялось содержание тестостерона в сыворотке крови. Дефицит половых гормонов и в частности тестостерона в мужском организме является ключевым свидетельством возрастных эндокринологических сдвигов, обусловленных необратимой потерей структуры и функции клеток репродуктивной системы [9, 15]. Установлено, что у спортсменов 2-го периода зрелого возраста (40–46 лет) значения содержания тестостерона в сыворотке крови не имели статистически значимых отличий от аналогичных показателей у спортсменов 1-го периода зрелого возраста (22–26 лет). Так в группе «выносливость» у 40–46 летних спортсменов содержание тестостерона было равным $28,29 \pm 4,02$ нмоль/л, соответственно у 22–26 летних спортсменов – $32,66 \pm 2,06$ нмоль/л, ($p > 0,05$). В группе «сила» у спортсменов 40–46 лет содержание тестостерона было равным $27,81 \pm 4,13$ нмоль/л, соответственно у 22–26 летних спортсменов – $27,06 \pm 4,57$ нмоль/л, ($p > 0,05$).

Выявлены статистически значимые различия в значениях показателей содержания тестостерона нетренированных лиц и спортсменов 1-го и 2-го периодов

зрелого возраста. В группе «нетренированных» лиц 40–46 лет содержание тестостерона было равным $21,36 \pm 2,62$ нмоль/л, соответственно у «нетренированных» лиц 22–26 летнего возраста – $19,16 \pm 2,17$ нмоль/л, ($p > 0,05$). Таким образом, активность эндокринной функции в отношении продукции тестостерона у спортсменов 1-го и 2-го периодов зрелого возраста поддерживалась на одном уровне. Тогда как активность эндокринной функции у нетренированных лиц 1-го и 2-го периодов зрелого возраста была снижена в сравнении с их сверстниками, занимающимися спортом.

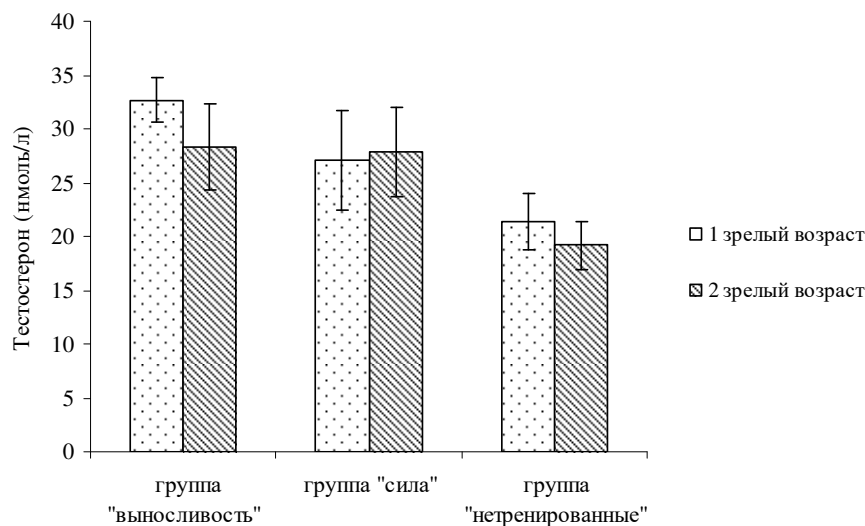


Рис. 1. Содержание тестостерона в организме спортсменов и нетренированных лиц первого и второго периода зрелого возраста.

Для определения эффективности адаптационных процессов в организме спортсменов использовали показатель физической работоспособности при интенсивности частоты сердечных сокращений (ЧСС) 170 уд/мин, который является интегральным критерием, характеризующим экономизацию энергетических трат во время выполнения физической работы различной мощности при ее равной пульсовой стоимости [12]. Установлено, что у спортсменов 2-го периода зрелого возраста (40–46 лет) значения показателей физической работоспособности не имели статистически значимых различий от аналогичных показателей у спортсменов 1-го периода зрелого возраста (22–26 лет). Так, у спортсменов 40–46 лет в группе «выносливость» мощность работы составила $1519,2 \pm 209,57$ кг·м мин⁻¹, у 22–26 летних спортсменов соответственно $1370,8 \pm 194,83$ кг·м мин⁻¹, ($p > 0,05$). В группе «сила» мощность работы у спортсменов 40–46 лет составила $1277,0 \pm 176,8$ кг·м мин⁻¹, у 22–26 летних спортсменов соответственно $1107,8 \pm 232,27$ кг·м мин⁻¹, ($p > 0,05$). Выявлены статистически значимые различия в значениях показателей мощности физической работы в тесте PWC₁₇₀ у нетренированных лиц и спортсменов 1-го и 2-го периодов зрелого возраста. В группе «нетренированных» лиц 40–46 лет мощность работы составила $629,2 \pm 74,47$ кг·м мин⁻¹,

соответственно у «нетренированных» лиц 20-26 летних мощность работы составила $722,3 \pm 155,39$ кгм·мин⁻¹, ($p > 0,05$). Таким образом, физическая работоспособность спортсменов 1-го и 2-го периодов зрелого возраста находится в одном диапазоне мощности выполняемой работы, и у последних поддерживается на достаточном уровне, что очевидно связано с экономизацией функций двигательного аппарата в течение длительного времени занятий спортом [16]. Уровень физической работоспособности у нетренированных лиц 1-го и 2-го периодов зрелого возраста имеет низкие значения в сравнении со сверстниками занимающимися спортом.

Наиболее информативным критерием, характеризующим эффективность приспособительных механизмов на уровне стресс-реализующей системы, является глюкокортикоидная активность коры надпочечников [7, 17], которую определяли по содержанию кортизола в организме в состоянии покоя (фоновая активность) и при выполнении велоэргометрического теста ступенчато-повышающейся мощности (реактивность) (рис. 2, 3). Содержание кортизола в состоянии покоя в группе «выносливость» у спортсменов 40–46 лет было равным $456,36 \pm 17,06$ нмоль/л, соответственно у 22–26 летних спортсменов $521,1 \pm 120,2$ нмоль/л, ($p > 0,05$). Содержание кортизола в состоянии покоя в группе «сила» у спортсменов 40–46 лет было равным $556,66 \pm 28,72$ нмоль/л, соответственно у 22–26 летних спортсменов $530,4 \pm 118,48$ нмоль/л, ($p > 0,05$). Выявлены статистически значимые различия в показателе фоновой активности коры надпочечников в группе «выносливость» у спортсменов 40–46 лет, которая была ниже в отношении спортсменов группы «сила» 40–46 лет, ($p > 0,05$). У спортсменов групп «выносливость» и «сила» 1-го периода зрелого возраста (22–26 лет) фоновая активность глюкокортикоидной функции находилась на одном уровне. В группе «нетренированных» лиц 40–46 лет содержание кортизола в состоянии покоя было равным $507,1 \pm 40,91$ нмоль/л, у «нетренированных» лиц 22–26 лет аналогичный показатель составил $477,9 \pm 131,86$ нмоль/л, ($p > 0,05$). Значения содержания кортизола в состоянии покоя у нетренированных лиц 1-го и 2-го периодов зрелого возраста не имели статистически значимых различий от значений, зарегистрированных нами в группах спортсменов.

При выполнении велоэргометрического теста ступенчато-повышающейся мощности статистически значимые изменения в содержании кортизола в организме спортсменов выявлены на второй ступени нагрузки (W_2), где мощность и интенсивность выполняемой работы была субмаксимальной. У спортсменов 40–46 лет в группе «выносливость» содержание кортизола в организме во время выполнения субмаксимальной нагрузки увеличилось до значений $544,34 \pm 40,00$ нмоль/л, тогда как в группе «сила» повысилось до значений $824,7 \pm 67,23$ нмоль/л, ($p > 0,05$). Таким образом, это свидетельствовало о большей степени реактивности коры надпочечников в условиях субмаксимальной физической нагрузки в группе «сила». У спортсменов 22–26 лет содержание кортизола при выполнении субмаксимальной физической нагрузки по отношению к фоновой активности не изменялось, что очевидно связано со снижением стресс – реакции в связи экономизацией функций стресс-реализующей системы при кумулятивной адаптации [3, 18]. В группе «нетренированных» лиц 22–26 и 40–46 лет выявлено статистически значимое снижение содержания кортизола при выполнении

субмаксимальной физической нагрузки в сравнении с фоном покоя (соответственно $310,6 \pm 48,14$, $p > 0,05$; $386,2 \pm 40,79$, $p > 0,05$), что может быть обусловлено недостаточностью глюкокортикоидной функции в связи с развитием утомления.

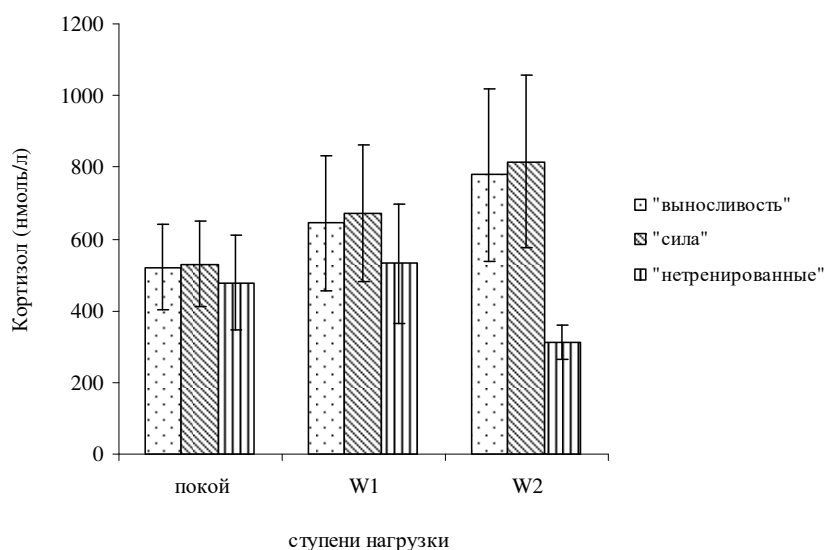


Рис. 2. Содержание кортизола у спортсменов и нетренированных лиц первого периода зрелого возраста в покое и во время выполнения дозированных физических нагрузок на велоэргометре.

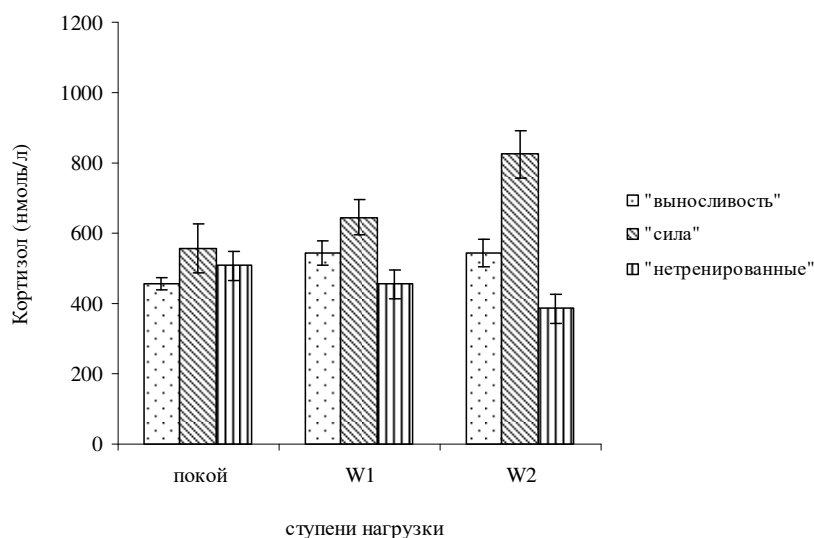


Рис. 3. Содержание кортизола у спортсменов и нетренированных лиц второго периода зрелого возраста в покое и во время выполнения дозированных физических нагрузок на велоэргометре.

Известно, что интенсивная мышечная работа силовой направленности требует использования белковых ресурсов организма. Важная роль в мобилизации белкового обмена, создания фонда свободных аминокислот, их трансаминирования в нужных направлениях и в индукции синтеза ферментов также принадлежит глюкокортикоидам [7]. В связи с этим интенсивные силовые нагрузки должны сопровождаться повышением активности коры надпочечников и увеличением содержания кортизола в организме спортсменов. Однако при развитии выраженного утомления могут наблюдаться эффекты избыточного «выброса» кортикостероидов в связи с гиперактивацией гипофизарно-адренкортикального звена адаптации, что может приводить к повреждающим эффектам [3]. Нами выявлены статистически значимые различия в содержании кортизола в организме спортсменов группы «сила» 1-го и 2-го периодов зрелого возраста в состоянии покоя и в динамике соревновательного упражнения «рывок гири 16 кг».

В группе «сила» у 40–46 летних спортсменов в состоянии покоя перед выполнением соревновательного упражнения «рывок гири 16 кг» содержание кортизола было равным $878,69 \pm 288,32$ нмоль/л. Далее, после первых 5-ти минут соревновательного упражнения содержание кортизола в сыворотке крови достоверно не изменилось по отношению к уровню покоя и было равным $769,135 \pm 43,69$ нмоль/л, ($p > 0,05$). В свою очередь после 10-ой минуты выполнения соревновательного упражнения уровень кортизола хоть и достиг наивысших значений – $902,47 \pm 115,17$ нмоль/л, ($p > 0,05$), однако статистически значимых различий между данной величиной и величиной содержания кортизола в покое нами не выявлено. То есть в группе «сила» у спортсменов 40–46 лет выявлена ареактивность коры надпочечников на специфическую силовую нагрузку, которая сочеталась с повышением фоновой глюкокортикоидной активностью (в сравнении с фоном перед выполнением неспецифической велоэргометрической нагрузки). Это свидетельствовало о неполноценной и энергетически расточительной адаптационной реакции у данной группы спортсменов уже до выполнения «рывка» и может быть связано с эффектом опережающего отражения в связи с повышенными требованиями к использованию значительного количества энергетических субстратов (углеводов, белков) в условиях выполнения тяжелой физической работы [7]. Иная реакция коры надпочечников была выявлена у спортсменов 22–26 лет группы «сила», у которых показано статистически значимое увеличение содержания кортизола после 10-ти минут выполнения соревновательного упражнения. Так, в покое содержания кортизола в организме 22–26 летних спортсменов было равным $521,13 \pm 53,57$ нмоль/л, далее на 5-ой минуте соревновательного упражнения значение содержания кортизола в организме возросло до $644,57 \pm 63,91$ нмоль/л, а на 10-ой минуте увеличилось до значений равных $778,49 \pm 81,56$ нмоль/л, ($p > 0,05$).

Таким образом, проведенные нами исследования показали отсутствие статистически значимых различий в содержании кортизола во время выполнения дозированных физических нагрузок на велоэргометре у спортсменов 1-го периода зрелого возраста 22–26 лет в группах «выносливость» и «сила». Это может быть обусловлено высокой резистентностью к физической нагрузке и является

проявлением кумулятивной адаптации и свидетельствует об экономизации функций стресс-реализующей системы [3, 16]. У спортсменов 2-го периода зрелого возраста 40–46 лет в группах «выносливость» и «сила» повышение содержания кортизола в крови во время выполнения субмаксимальной физической нагрузки свидетельствовало об адекватной реакции на нагрузку. Но в свою очередь это повышение говорит о значительных энерготратах в сравнении со спортсменами 1-го периода зрелого возраста, что является свидетельством утраты функциональных резервов стресс-реализующей системы в связи с инволюционными процессами [15]. Значения показателей содержания тестостерона и физической работоспособности у спортсменов 40–46 лет находятся в диапазоне значений спортсменов 1-го периода зрелого возраста 22–26 лет, что на первый взгляд может свидетельствовать об экономизации эндокринных и вегетативных функций. Однако в данном случае повышение реактивности коры надпочечников у 40–46 летних спортсменов при выполнении субмаксимальной физической нагрузки, обусловленное увеличением энерготрат может рассматриваться как компенсаторно-приспособительная реакция, связанная с утратой функциональных резервов стресс-реализующей системы и свидетельствующая о наступлении возрастных инволюционных сдвигов на уровне нейрогормональной регуляции. Особенно выраженной утрата функциональных резервов стресс-реализующей системы является у спортсменов 40–46 лет в группе «сила» и выражается в повышении реактивности коры надпочечников в рамках содержания величин кортизола в пределах 800–1000 нмоль/л в условиях неспецифической (велоэргометрической) нагрузки. А также и в избыточной продукции кортизола до выполнения специфической нагрузки силовой направленности, что очевидно связано с особенностями адаптационных процессов, формирующихся в условиях силовых напряженных тренировок и требующих напряжения функций эндокринного гомеостаза по принципу опережающего отражения [19].

В группе «нетренированных» лиц 1-го и 2-го периодов зрелого возраста при выполнении дозированных физических нагрузок наблюдалось снижение реактивности коры надпочечников, что обусловлено ограничением нейрогормональных механизмов регуляции функций стресс-реализующей системы в связи с низким уровнем адаптации. Также в группе «нетренированных» лиц были снижены значения показателей содержания тестостерона в организме и физической работоспособности, что подтверждает известную взаимосвязь активности эндокринных функций и работоспособности [4].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

У спортсменов 1-ого периода зрелого возраста в группах «выносливость» и «сила» показано отсутствие статистически значимых различий в содержании кортизола во время выполнения дозированных физических нагрузок на велоэргометре, что обусловлено проявлением экономизацией функций стрессреализующей системы в результате кумулятивной адаптации.

У спортсменов 2-ого периода зрелого возраста в группах «выносливость» и «сила» выявлено статистически значимое повышение содержания кортизола в крови

во время выполнения субмаксимальной физической нагрузки, что связано с увеличением энерготрат и является свидетельством утраты функциональных резервов стресс-реализующей системы в связи с инволюционными процессами. Наиболее выраженным снижением уровня функциональных резервов стрессреализующей системы является у спортсменов 2-ого периода зрелого возраста в группе «сила» и проявляется в избыточной продукции кортизола до выполнения физической нагрузки силовой направленности, что связано со спецификой адаптационных процессов.

Содержание тестостерона в организме и уровень физической работоспособности у спортсменов 2-ого периода зрелого возраста находятся в диапазоне значений спортсменов 1-ого периода зрелого возраста. В группах «нетренированных» лиц 1-ого и 2-ого периодов зрелого возраста установлено снижение активности эндокринных функций и физической работоспособности в сравнении со сверстниками, занимающимися спортом, что обусловлено отсутствием адаптационного фундамента.

Таким образом, реактивность коры надпочечников в условиях применения физических воздействий может использоваться в качестве объективного критерия, позволяющего дифференцировать возрастные различия в уровне стероидогенеза и прогнозировать эффективность адаптации у спортсменов 2-го периода зрелого возраста.

Список литературы

1. Чернышева Е. Н. Влияние двигательной активности на физическое состояние ветеранов спорта / Е. Н. Чернышева // Теория и практика физической культуры. – 2005. – №9. – С.60–62.
2. Филиппов М. М. Гонадо-надпочечниковые изменения у спортсменок-ветеранов при мышечной деятельности / М. М. Филиппов, С. В. Погодина, В. С. Юферев // Вестник Северного (Арктического) федерального университета. Серия «Медико-биологические науки». – 2013. – №2. – С. 78–85.
3. Меерсон Ф. З. Адаптация к стрессорным ситуациям и физическим нагрузкам / Ф. З. Меерсон, М. Г. Пшенникова – М.: Медицина, 1988. – 256 с.
4. Резников А. Г. Эндокринологические аспекты стресса / Резников А. Г. // Международный эндокринологический журнал. – 2007. – №4(10). – С. 11–17.
5. Diment B. C. Exercise Intensity and Duration Effects on In Vivo Immunity. / Diment B. C., Fortes M. B., Edwards J. P., Hanstock H. G., Ward M. D., Dunstall H. M., Friedmann P. S., Walsh N. P. // Med Sci Sports Exerc – 2014.
6. Taves M. D. Steroid profiling reveals widespread local regulation of glucocorticoid levels during mouse development. / Taves M. D., Plumb A. W., Sandkam B. A., Ma C., Van Der Gugten J. G., Holmes D. T., Close D. A., Abraham N., Soma K. K. // Endocrinology – 2014. – P. 1606.
7. Виру А. А. Функции коры надпочечников при мышечной деятельности / А. А. Виру – М.: Медицина, 1977. – 176 с.
8. Фролькис В. В. Регулирование, приспособление, старение / В. В. Фролькис – Л.: Наука, 1970. – 432 с.
9. Тюзиков И. А. Андрогенный дефицит у мужчин как междисциплинарная проблема: результаты пилотного эпидемиологического исследования частоты андрогенного дефицита у мужчин в амбулаторной практике врачей различных специальностей (ярославское исследование) / И. А. Тюзиков // Эндокринология. – 2013. – №12. – С. 60–66.

10. Кузина И. Н. Возрастные изменения концентрации гормонов кортикотропной оси в крови мужчин: связь с другими гормональными осями / И. Н. Кузина, В. В. Киликовский, О. В. Смирнова // Физиология человека. – 2010. – Т. 36, №5. – С. 101–109.
11. Эндокринология. Под ред. Н. Лавина. Пер. с англ. – М., Практика, 1999. – 1128 с.
12. Белоцерковский З. Б. Эргометрические и кардиологические критерии физической работоспособности у спортсменов / З. Б. Белоцерковский – М.: Советский спорт, 2005. – 312 с.
13. Олешко В. Г. Силовые виды спорта / В. Г. Олешко – К.: Олимпийская литература, 2004. – 235 с.
14. Юрковский О. И. Методы взятия крови для клинико-лабораторных исследований / О. И. Юрковский // Медицинская помощь. – 1998. – №5. – С. 27–30.
15. Calabrese V. J Cell. Sex hormonal regulation and hormesis in aging and longevity: role of vitagenes. / Calabrese V., Scapagnini G., Davinelli S., Koverech G., Koverech A., De Pasquale C., Salinaro A. T., Scuto M., Calabrese E. J., Genazzani A. R. // Commun Signal. – 2014. – 9.
16. Платонов В. Н. Адаптация в спорте / В. Н. Платонов. – Киев.: Здоров'я, 1988. – 216 с.
17. Wright B. J. Increased systolic blood pressure reactivity to acute stress is related with better self-reported health. / Wright B. J., O'Brien S., Hazi A., Kent S. // Sci Rep – 2014 – Nov 13. – 4. – P. 6882.
18. Di Blasio A. Acute and delayed effects of high-intensity interval resistance training organization on cortisol and testosterone production. / Di Blasio A., Izzicupo P., Tacconi L., Di Santo S., Leogrande M., Bucci I., Ripari P., Di Baldassarre A., Napolitano G. J. // Sports Med Phys Fitness – 2014 – 6.
19. Остроумова М. Н. Регуляция секреции глюкокортикоидов при спортивной деятельности / М. Н. Остроумова, Ю. В. Высочин, Э. В. Земцовский, Г. Г. Кузнецова, М. Л. Зильбер, О. К. Химич, В. Б. Кавелич, Л. Н. Крупская // Физиология человека. – 1989. – Т. 15, №4. – С. 68–78.

CONTENTS STEROID HORMONES IN THE BODY ATHLETES FIRST AND SECOND PERIODS OF MATURE AGE

Timofeeva S. N., Pogodina S. V., Maltsev V. A., Timofeev V. D.

*V. I. Vernadsky Crimean Federal University, Simferopol, Crimea, Russian Federation
E-mail: tima.svetlana82@yandex.ru*

The article discusses the features of changes of cortisol and testosterone in the body of the first male athletes (22–26 years) and second (40–46 years) periods of mature age, depending on the specifics of long-term adaptation. A total of 212 athletes, representatives of sports aimed at the preferential development of aerobic endurance (cyclists, swimmers, athletes), conventionally referred to as a group of "endurance" and strength qualities (weight lifting), conventionally referred to as a group of "power." Also examined untrained men of the 1st and 2nd periods of mature age (n = 69), conventionally designated as a group of "untrained". Physical performance was assessed by Exercise Testing PWC170. The concentration of cortisol and testosterone levels in serum by enzyme assay using immunofermentnogo sets SteriodIFA cortisol-01 and TESTOSTERON ELISA KIT. Testosterone levels were studied in the state of rest. Cortisol levels were studied in the performance of Exercise Testing stepwise rising power and the power of competitive exercise "jerk of the weight of 16 kg." Athletes of the first period of mature age groups "endurance" and "strength" shown no statistically significant differences in the content of cortisol during dosed physical load on the cycle ergometer, which is due to economisation functions stress-realizing system. Athletes of the second period of mature age groups "endurance" and "force" a statistically significant increase of

cortisol during submaximal exercise, which is associated with an increase in energy expenditure. Athletes of the second period of mature age group "power" before and during the execution of the exercise of power "jerk of the weight of 16 kg" revealed excessive production of cortisol. Testosterone level in the body and physical performance in athletes second period mature within the range of values of the first period of athletes adulthood. In athletes of the 1st period of adulthood in the "endurance" and "strength" groups, the absence of statistically significant differences in the cortisol content during the performance of dosed physical activity on a bicycle ergometer was shown, which is due to the manifestation of economization of the functions of the stress-realizing system as a result of cumulative adaptation. In athletes of the 2nd period of mature age in the groups "endurance" and "strength" a statistically significant increase in the content of cortisol in the blood during the performance of submaximal physical activity was revealed, which is associated with an increase in energy expenditure and is evidence of the loss of functional reserves of the stress-realizing system due to involuntional processes. The most pronounced decrease in the level of functional reserves of the stress-realizing system is in athletes of the 2nd period of mature age in the "strength" group and is manifested in excess production of cortisol before performing physical activity of a strength orientation, which is associated with the specificity of adaptation processes. The testosterone content in the body and the level of physical performance in athletes of the 2nd period of mature age are in the range of values for athletes of the 1st period of mature age. In groups of "untrained" individuals of the 1st and 2nd periods of mature age, a decrease in the activity of endocrine functions and physical performance was found in comparison with their peers involved in sports, which is due to the lack of an adaptation foundation. Thus, the reactivity of the adrenal cortex under conditions of physical impact can be used as an objective criterion that allows differentiating age differences in the level of steroidogenesis and predicting the effectiveness of adaptation in athletes of the 2nd period of mature age.

Keywords: cortisol, testosterone, athletes first and second periods of mature age, aerobic and strength orientation exercise, untrained persons.

References

1. Cherny`sheva E. N. Vliyanie dvigatel`noj aktivnosti na fizicheskoe sostoyanie veteranov sporta, *Teoriya i praktika fizicheskoy kul`tury*, **9**, 60 (2005).
2. Filippov M. M. Pogodina S. V., Yuferev V. S., Gonado-nadpochechnikovy`e izmeneniya u sportsmenok-veteranov pri my`shechnoj deyatel`nosti, *Vestnik Severnogo (Arkticheskogo) federal`nogo universiteta. Seriya «Mediko-biologicheskie nauki»*, **2**, 78 (2013).
3. Meerson F. Z. Pshennikova M. G., *Adaptaciya k stressorny`m situacijam i fizicheskim nagruzkam*, 256 (Medicina, 1988).
4. Reznikov A.G., E`ndokrinologicheskie aspekty` stressa *Mezhdunarodny`j e`ndokrinologicheskij zhurnal*, **4**, 11 (2007).
5. Diment B. C., Fortes M. B., Edwards J. P., Hanstock H. G., Ward M. D., Dunstall H. M., Friedmann P. S., Walsh N. P., Exercise Intensity and Duration Effects on in Vivo Immunity, *Med Sci Sports Exerc* (2014).
6. Taves M. D., Plumb A. W., Sandkam B. A., Ma C., Van Der Gugten J. G., Holmes D. T., Close D. A., Abraham N., Soma K. K., Steroid profiling reveals widespread local regulation of glucocorticoid levels during mouse development, *Endocrinology*, 1606 (2014).

7. Viru A. A., *Funkcii kory` nadpochechnikov pri my`shechnoj deyatel`nosti*, 176 (Medicina, 1977).
8. Fro`kis V. V., *Regulirovanie, prispoblenie, starenie*, 432 (Nauka, 1970).
9. Tyuzikov I. A., Androgenny`j deficit u muzhchin kak mezhdisciplinarnaya problema: rezul`taty` pilotnogo e`pimiologicheskogo issledovaniya chastoty` androgenного deficita u muzhchin v ambulatornoj praktike vrachej razlichny`x special`nostej (yaroslavskoe issledovanie), *Endokrinologiya*, **12**, 60 (2013).
10. Kuzina I. N., Kilikovskij V. V., Smirnova O. V., Vozrastny`e izmeneniya koncentracii gormonov kortikotropnoj osi v krovi muzhchin: svyaz` s drugimi gormonal`ny`mi osyami, *Fiziologiya cheloveka*, **5**, 101 (2010).
11. Lavina N., *E`ndokrinologiya*, 1128 (Praktika, 1999).
12. Belocerkovskij Z. B., E`rgometricheskie i kardiologicheskie kriterii fizicheskoj rabotosposobnosti u sportsmenov, *Sovetskij sport*, 312 (2005).
13. Oleshko V. G., Yurkovskij O. I., Silovy`e vidy` sporta, *Olimpijskaya literature*, 235 (2004).
14. Yurkovskij O. I., Metody` vzyatiya krovi dlya kliniko-laboratorny`x issledovanij, *Medicinskay pomoshh*, **5**, 27 (1998).
15. Calabrese V., Scapagnini G., Davinelli S., Koverech G., Koverech A., De Pasquale C., Salinaro A. T., Scuto M., Calabrese E. J., Genazzani A. R. J Cell., Sex hormonal regulation and hormesis in aging and longevity: role of vitagenes, *Commun Signal*, 9 (2014)
16. Platonov V. N., *Adaptaciya v sporte*, 216 (Kiev: Zdorov`ya, 1988).
17. Wright B. J., O'Brien S., Hazi A., Kent S., Increased systolic blood pressure reactivity to acute stress is related with better self-reported health, *Sci Rep*, 13 (2014)
18. Di Blasio A., Izzicupo P., Tacconi L., Di Santo S., Leogrande M., Bucci I., Ripari P., Di Baldassarre A., Napolitano G. J, Acute and delayed effects of high-intensity interval resistance training organization on cortisol and testosterone production, *Sports Med Phys Fitness*, **6** (2014).
19. Ostroumova M. N. Vy`sochin Yu. V., Zemczovskij E`. V., Kuzneczova G. G., Zil`ber M. L., Ximich O. K., Kavelich V. B., Krupskaya L. N., Regulyaciya sekrecii glyukokortikoidov pri sportivnoj deyatel`nosti, *Fiziologiya cheloveka*, **4**, 68 (1989).

УДК 616-091.8:599.323

DOI 10.29039/2413-1725-2024-10-4-217-229

ИЗМЕНЕНИЕ ИНДЕКСА ДЕПРЕССИВНОСТИ У НИЗКО-, СРЕДНЕ- И ВЫСОКОДЕПРЕССИВНЫХ КРЫС В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ДЛИТЕЛЬНОСТИ БЛОКАДЫ МОНОАМИНОКСИДАЗЫ-В

Хусаинов Д. Р., Туманянц К. Н., Аудинов И. Д., Иванова В. Р.

*Институт биохимических технологий, экологии и фармации, ФГАОУ ВО «Крымский
федеральный университет имени В. И. Вернадского», Симферополь, Республика Крым,
Россия
E-mail: gangliu@yandex.ru*

На основании анализа литературных данных и результатов собственных исследований нами выдвинута рабочая гипотеза: эффект блокады моноаминоксидазы будет максимально выраженным у животных с высоким уровнем депрессивности и его выраженность будет зависеть от временного интервала после введения блокатора. В рамках этой гипотезы в настоящей работе мы выясняли зависимость эффекта блокады моноаминоксидазы-В от изначального уровня депрессивности крыс и времени от введения блокатора до начала тестирования животных. Выяснено, что у низкодепрессивных животных однократная блокада центральной моноаминоксидазы-В селегилином не вызывает достоверных изменений уровня депрессивности. У среднедепрессивных – снижает уровень депрессивности через 3 часа блокады, у высокодепрессивных снижение уровня депрессивности проявляется уже через 1 час блокады моноаминоксидазы-В. Следовательно, рабочая гипотеза получила экспериментальное подтверждение.

Ключевые слова: депрессия, селегилин, моноаминоксидаза, дофамин.

ВВЕДЕНИЕ

К настоящему времени в научном сообществе общепризнанным является мнение о неоспоримой роли дофамина в регуляции самых разнообразных поведенческих и психоэмоциональных проявлений и функций. Так, сформирована дофаминергическая теория шизофрении [1, 2]; отмечается участие в патогенезе болезни Паркинсона [3] и Альцгеймера [4] и в проявлении психозов [5]. Также, при увеличении концентрации центрального дофамина, в том числе в условиях блокады моноаминоксидазы, отмечаются анксиолитический [6] и противодепрессантный эффекты [7, 8]. При этом, остаются открытыми и дискуссионными вопросы, которые связаны с вовлеченностью дофаминергической системы в формирование изначального уровня психоэмоциональных характеристик животных и человека, перспективны и исследования по изучению эффектов блокады моноаминоксидазы [9, 10]. Обращает на себя внимание и тот факт, что в различных исследованиях тестирование животных начинается через отличающееся время после введения блокаторов моноаминоксидазы – 1–3 часа, что связано с периодом полураспада

селегилина – 90 минут [11]. В тоже время, еще в работах Vorbe Н. указывалось, что максимальная блокада МАО-В (порядка 88 %) наблюдается по истечении 120 минут после введения селегилина [12]. Мы считаем, что время до начала тестирования имеет значение и может оказать влияние на регистрируемые параметры. По указанным соображениям мы выдвинули рабочую гипотезу: эффект блокады моноаминоксидазы будет максимально выраженным у животных с высоким уровнем депрессивности, тревожности и т.д., и, как минимум, количественная составляющая эффекта будет зависеть от временного интервала после введения блокатора. В рамках этой гипотезы в настоящей работе мы выясняли зависимость эффекта блокады моноаминоксидазы-В (МАО-В) от изначального уровня депрессивности крыс и времени от введения блокатора до начала тестирования животных.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Исследование проводилось в 2 отдельных этапа: отборочный и экспериментальный (основной) и выполнено в период с 2021 по 2023 годы. Суммарно на отборочном этапе было протестировано 183 крысы линии Wistar (Филиал НИЦ «Курчатовский институт» – ПИЯФ – ПЛЖ «Рапполово») возрастом 7,5–8 месяцев, из которых отобраны 44 крысы-самца с уровнем индекса депрессивности (ИД) $0,36 \pm 0,012$, далее «низкий уровень депрессивности»; 44 крысы-самца с ИД $0,51 \pm 0,007$ – «средний уровень депрессивности» и 44 крысы-самца с ИД $0,82 \pm 0,022$ – «высокий уровень депрессивности».

ИД рассчитывался по формуле $(t_{\text{общее}} - t_a) / t_{\text{общее}}$, где $t_{\text{общее}}$ – время тестирования в тесте Порсолта (5 мин), t_a – суммарное время активного плавания. Смысловой подход такого расчета достаточно простой: чем дольше животное находится в состоянии активного плавания, тем меньше уровень депрессивности. Следовательно, если $t_a = t_{\text{общее}}$, то ИД минимален и равен нулю и, наоборот, если $t_a = 0$, то ИД максимален и равен единице.

Отобранные животные внутри каждой группы соответствующего уровня депрессивности разделялись на 4 подгруппы по 11 особей: одной подгруппе на основном этапе осуществлялось внутрибрюшинное введение блокатора МАО-В селегилина в дозе 2,5 мг/кг (объем раствора 0,2 мл) за 1 час до тестирования, второй подгруппе – за 2 часа до тестирования, третьей подгруппе – за 3 часа до тестирования (рис. 1); и одна подгруппа являлась контрольной, животным которой внутрибрюшинно вводили физиологический раствор. Следует отметить, что первоначально было выделено три контрольные подгруппы и тестирование животных проводилось через 1 час, 2 часа и 3 часа после введения физиологического раствора. И по результату не обнаружили значимые отличия между этими контрольными подгруппами, ИД животных был, по сути, идентичным. Поэтому от такой «тройственности» контроля мы отказались и формировали одну контрольную подгруппу, крысы которой помещались в тест Порсолта через час после инъекции физиологического раствора.

ИЗМЕНЕНИЕ ИНДЕКСА ДЕПРЕССИВНОСТИ У НИЗКО-, СРЕДНЕ-...

Отметим, что между отборочным и основным этапами животные сформированных подгрупп находились в условиях вивария 10 дней, указанный промежуток времени считается приемлемым для социальной адаптации крыс.

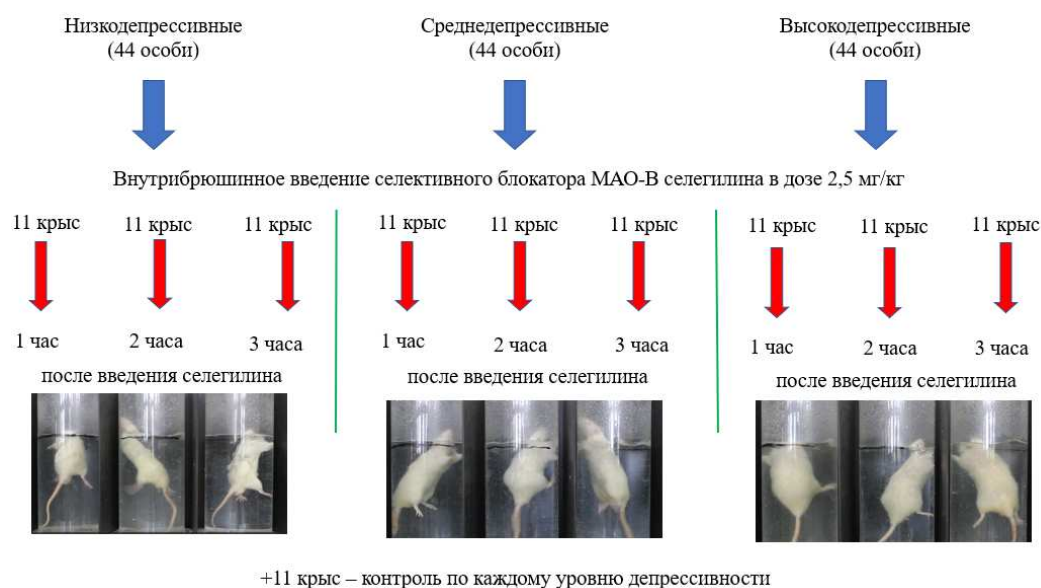


Рис. 1. Схема экспериментального этапа.

В один исследовательский цикл тестировались 4 подгруппы низкодепрессивных животных (сентябрь – октябрь 2021 года), во второй (сентябрь – октябрь 2022 года) – 4 подгруппы среднедепрессивных и в третий (сентябрь – октябрь 2023 года) – 4 подгруппы высокодепрессивных животных.

Все этапы исследования проводились с соблюдением идентичности условий содержания животных, проводимых манипуляций и т.д. Крысы содержались в условиях вивария с длиной светового дня 12 часов, при температуре 20–24 °С, доступности питьевых растворов, корма (сухой корм ООО «Белгородские корма» ГОСТ 23469-2019), поддерживаемым вентилированием воздуха, для подстила в клетках использовался стандартизированный посуточный кукурузный подстил для грызунов от ООО «Зилубаг», животные обитали в стандартных клетках по 7 особей. Также, при манипуляциях с крысами соблюдались требования стерильности растворов, дозаторов, химической посуды и всех других использованных элементов. Для внутрибрюшинных инъекций использовали одноразовые шприцы по одному на каждую крысу. Также и по остальным критериям содержание животных и экспериментальные мероприятия с ними соответствовали установленным биоэтическим требованиям.

Из вивария в лабораторию этологии животные каждой группы переносились в 10.00, на протяжении часа они оставались в покое для адаптации к условиям лаборатории. В 11.00 начиналось введение селегилина и затем, с учетом временных

интервалов (1, 2 и 3 часа после введения селегилина), тестирование животных в установке «тест Порсолта». Тестирование в тесте Порсолта полностью соответствовало классическому подходу: за день до основного тестирования 15 минут в установке температура воды 24 °С, в день тестирования – длительность 5 мин, температура воды 24 °С. Визуально схема экспериментального этапа представлена на рисунке 1.

Статистический анализ всех массивов осуществлялся в программе GraphPadPrism 8.0 с использованием описательной статистики, критерия Шапиро-Уилка, дисперсия массивов сравнивалась с помощью критерия Барлета, для множественного сравнения применялся дисперсионный анализ и критерий Тьюки.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

В настоящей работе изучалось изменение ИД в зависимости от длительности блокады MAO-B селегилином у крыс с изначально различным уровнем данного показателя: $0,32 \pm 0,13$ у.е. – «низкий уровень депрессивности»; $0,56 \pm 0,007$ у.е. – «средний уровень депрессивности» и $0,78 \pm 0,03$ у.е. – «высокий уровень депрессивности». В связи с отмеченным, именно в такой последовательности и будут изложены результаты предложенного исследования. Первоначально укажем на то, что для каждого уровня депрессивности из 44 отобранных крыс (подробнее описано в методике) были сформированы четыре подгруппы, фоновые показатели которых подвергнуты статистическому анализу по критериям Шапиро-Уилка, Барлета и Тьюки. В результате нормальное распределение подтвердилось для всех групп во всех уровнях исходной депрессивности, как по значениям времени активного плавания (t_a), так и по ИД. Также, применение критерия Барлета показало однородность дисперсии (t_a , ИД) и дисперсионный анализ с применением критерия Тьюки межгрупповых отличий не выявил (рис. 2).

Следовательно, животные всех групп в рамках своего исходного уровня депрессивности характеризовались однородностью, которая необходима для нивелирования артефакта «стартовых» отличий.

Итак, у животных с изначально низким уровнем ИД блокада центральной MAO-B селегилином в дозе 2,5 мг/кг не вызвала достоверных изменений уровня депрессивности (рис. 3). В контрольной группе у низкодепрессивных крыс ИД равнялся $0,36 \pm 0,021$, спустя 1 час после введения селегилина ИД составлял $0,35 \pm 0,016$, через 2 часа – $0,33 \pm 0,018$, а через 3 часа – $0,30 \pm 0,029$; без значимых отличий, как от контрольных значений, так и от значений ИД экспериментальных групп друг от друга.

Второй группой крыс, у которых исследовалась динамика ИД выступили животные с изначально средним уровнем депрессивности. Изменение ИД в зависимости от длительности блокады MAO-B селегилином у среднедепрессивных крыс представлена на рисунке 4. Видно, что достоверные изменения ИД выявлены только через 3 часа после введения селегилина. Рассмотрим всю динамику ИД у животных этой группы при блокаде MAO-B: контроль – $0,55 \pm 0,008$; через 1 час после введения селегилина – $0,49 \pm 0,018$; через 2 часа – $0,49 \pm 0,016$; через 3 часа –

ИЗМЕНЕНИЕ ИНДЕКСА ДЕПРЕССИВНОСТИ У НИЗКО-, СРЕДНЕ-...

0,42±0,016 при $p < 0,001$ по сравнению с контрольным уровнем и при $p < 0,05$ по сравнению с ИД через 1 и 2 часа блокады МАО-В (рис. 4).

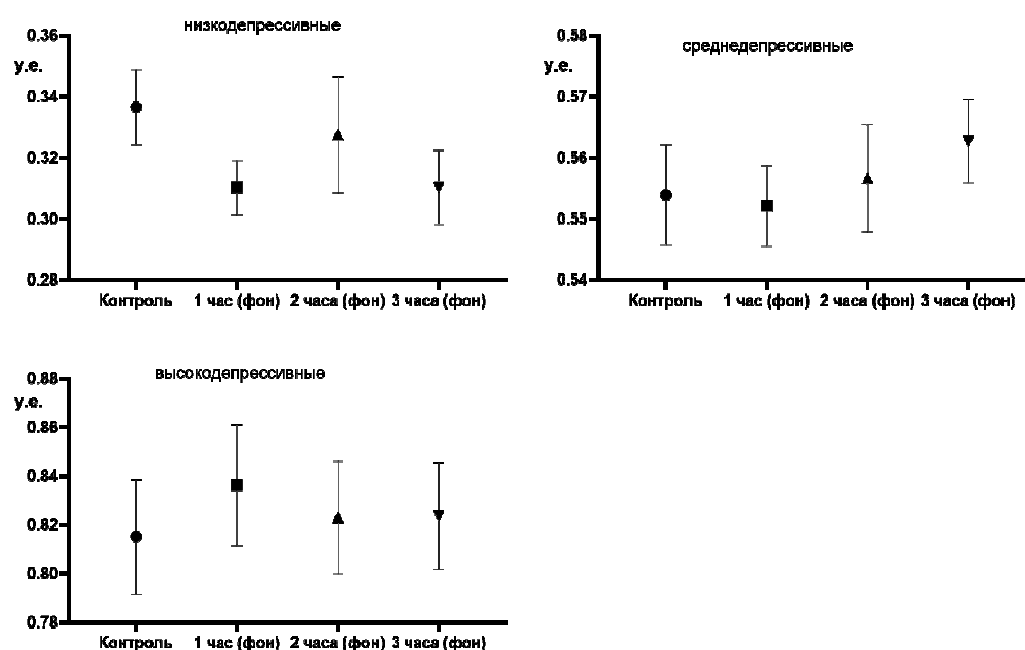


Рис. 2. Распределение фоновых значений индекса депрессивности в четырех группах в соответствующих уровнях изначальной депрессивности.

Примечания: контроль – значение индекса депрессивности в контрольной группе; 1 час (фон) – фоновые значения индекса депрессивности в группе крыс, у которых запланировано тестирование через 1 час после введения селегилина; 2 часа (фон) – через 2 часа после введения селегилина; 3 часа (фон) – через 3 часа после введения селегилина.

Третьей группой крыс, у которых исследовалась динамика ИД были животные с изначально высоким уровнем депрессивности. Изменение ИД в зависимости от блокады МАО-В селегилином у высокодепрессивных крыс представлено на рисунке 3. Из этого рисунка видно, что достоверные изменения ИД выявлены через 2 и 3 часа после введения селегилина. Рассмотрим всю динамику ИД у животных этой группы при блокаде МАО-В: контроль – $0,81 \pm 0,023$; через 1 час после введения селегилина – $0,71 \pm 0,011$ при $p \leq 0,05$ по сравнению с контролем; через 2 часа – $0,65 \pm 0,019$ при $p \leq 0,0001$ и через 3 часа – $0,56 \pm 0,017$ при $p \leq 0,0001$ по сравнению с контрольным уровнем (рис. 5). Также, ИД крыс после трехчасовой блокады МАО-В был достоверно ниже значений группы крыс с часовой длительностью блокады при $p \leq 0,0001$ и по сравнению с двухчасовой длительностью блокады МАО-В при $p \leq 0,01$.

Статистический анализ не выявил достоверных отличий ИД всех подгрупп у низкодепрессивных крыс ни от контрольного уровня, ни от уровня друг друга. Следовательно, у низкодепрессивных крыс блокада МАО-В не вызывает значимых

изменений ИД. Возможно, у животных этой группы центральные элементы дофаминергической системы находятся в повышенном функциональном состоянии, обеспечивая изначально высокий уровень концентрации центрального дофамина. Вследствии чего, его дальнейшее повышение в результате блокады MAO-B не вызывает значимого эффекта, т.к. подавляющее количество дофаминергических рецепторов и так уже связаны со своим естественным агонистом – дофамином.

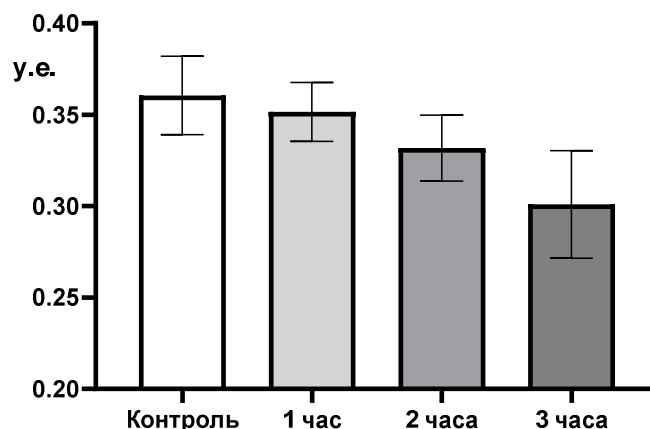


Рис. 3. Показатели индекса депрессивности у низкодепрессивных крыс при различной длительности блокады MAO-B.

Примечания: фон – усредненные фоновые показатели трех групп крыс; 1 час – значение индекса депрессивности через 60 минут после введения (блокады MAO-B) селегилина; 2 часа – значение индекса депрессивности через 120 минут после введения (блокады MAO-B) селегилина; 3 часа – значение индекса депрессивности через 180 минут после введения (блокады MAO-B) селегилина.

У среднедепрессивных крыс достоверные отличия ИД при блокаде MAO-B наблюдаются только через три часа после введения селегилина, что мы связываем с постепенным накоплением дофамина, т.к. медиатор не расщепляется ферментом и значимое его накопление достигается при более длительной блокаде MAO-B, на что указывается и в литературных источниках [12].

Как мы и предполагали ИД у высокодепрессивных крыс оказался наиболее чувствителен к блокаде MAO-B селегилином и продемонстрировал достоверное снижение по сравнению с фоновым уровнем уже через 1 час после введения блокатора и этот эффект линейно усиливался пропорционально длительности блокады. Вероятно, у высокодепрессивных крыс изначально концентрация центрального дофамина выражено низкая и блокада MAO-B, приводящая к ее приросту, начинает значимо проявляться на более ранних этапах – уже через час блокады. Важно отметить, что ИД высокодепрессивных крыс при блокаде MAO-B не снижается до малых значений, а лишь приближается к среднему уровню, составляя через три часа блокады $0,56 \pm 0,017$. Т.к., скорее всего, важна не только

концентрация центрального дофамина, но и количество дофаминовых рецепторов, выраженность и значимость синаптических связей и т.д.

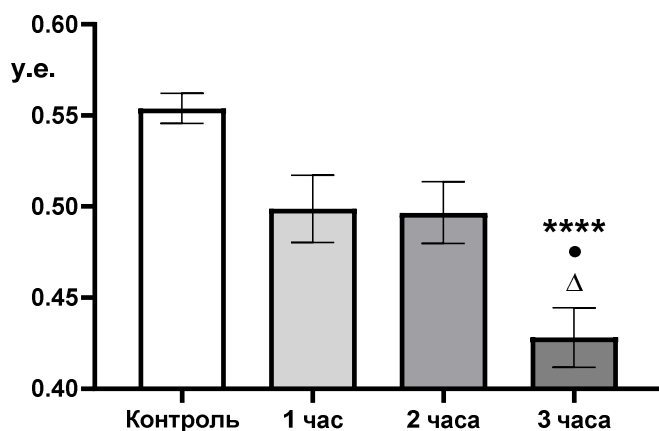


Рис. 4. Показатели индекса депрессивности у среднедепрессивных крыс при различной длительности блокады MAO-B.

Примечания: **** – отличия от фоновых значений при $p \leq 0,0001$; ● – отличия от значений ИД при длительности блокады MAO-B 1 час с уровнем значимости $p < 0,05$; Δ – отличия от значений ИД при длительности блокады MAO-B 2 часа с уровнем значимости $p < 0,05$; остальные обозначения, как и на рис. 3.

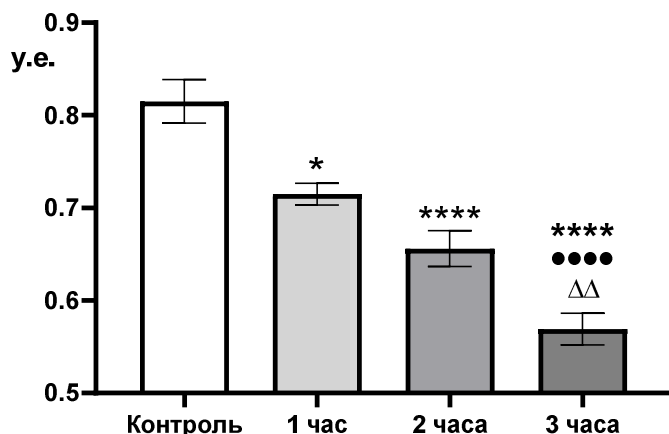


Рис. 5. Показатели индекса депрессивности у высокодепрессивных крыс при различной длительности блокады MAO-B.

Примечания: * – отличия от фоновых значений при $p \leq 0,05$; ●●●● – отличия от значений ИД при длительности блокады MAO-B 1 час с уровнем значимости $p < 0,0001$; ΔΔ – отличия от значений ИД при длительности блокады MAO-B 2 часа с уровнем значимости $p < 0,01$; остальные обозначения, как и на рис. 3.

Отметим, что в использованной дозе селегилина (2,5 мк/кг) значимо блокируется МАО-В, что приводит к повышению концентрации дофамина в стриатуме [13] и в области прилежащего ядра [14]. В силу чего, совершенно закономерно предполагать стимулирование мотивационного поведения, системы стремления к вознаграждению. И в исследованиях других авторов отмечается положительный эффект стимулирования дофаминергической системы на мотивационную сферу при депрессивных расстройствах [14, 15]. И в самых недавних исследованиях показано значимое увеличение содержания дофамина при использовании селегилина и эта активность проявляется, даже, у его метаболита [16]. Для селегилина обнаружена модулирующее влияние на активность гиппокампа и синаптическую пластичность, что также может лежать в основе психоэмоциональных эффектов и, в том числе, антидепрессантного [17]. Кроме того, в указанной дозе, селегилин способен блокировать и МАО-А (примерно 20 %) [12], что приводит к приросту содержания серотонина и наложению его эффекта на влияние дофамина. Вопросу о специфике влияния селегилина внимание более подробно уделено в нашей предыдущей публикации [6], и мы считаем, что важна не только доза, но и длительность блокады: при большей ее продолжительности усиливаются все эффекты, в том числе и «сопутствующие». Поэтому ИД может снижаться по факту непосредственного влияния блокады моноаминоксидазы на психоэмоциональную сферу, но и, в том числе, за счет активации двигательной активности крыс, например, при стимуляции стриатума. Но стимуляция двигательной активности, по крайней мере при однократном введении селегилина, как указывается в работах других авторов, наблюдается на уровне тенденции [18], либо, вообще, не наблюдается и, даже, немного снижается [19]. В том числе, в наших предыдущих работах мы не наблюдали усиление двигательной активности крыс в тестах открытое поле и крестообразный приподнятый лабиринт [6, 20].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Выдвинутая нами гипотеза (см. введение) полностью подтвердилась: выяснено, что эффект блокады МАО-В имеет значимую зависимость от длительности блокады, а также связан с изначальным уровнем депрессивности. У низкодепрессивных крыс достоверных отличий ИД при блокаде МАО-В от контрольного уровня не выявлено; у среднедепрессивных крыс уже проявляются достоверные отличия ИД при блокаде МАО-В, но только через три часа после введения селегилина; а у высокодепрессивных животных – через 1, 2 и 3 часа блокады МАО-В. Предположительно в линейке от низкодепрессивных к высокодепрессивным крысам фоновый уровень активности дофаминергической системы снижается, а значит эффект повышения концентрации центрального дофамина в результате блокады МАО-В становится более заметным.

Работа выполнена на оборудовании ЦКП «Экспериментальная физиология и биофизика» в рамках инициативной темы № АААА-А21-121011990099-6.

Список литературы

1. Seeman P. Schizophrenia and dopamine receptors. / Seeman P. // *Eur Neuropsychopharmacol.* – 2013. – 23(9). – P. 999–1009. doi: 10.1016/j.euroneuro.2013.06.005. Epub 2013 Jul 13. PMID: 23860356.
2. Gründer G. "The Dopamine Hypothesis of Schizophrenia". / Gründer G., Cumming P. // *The Neurobiology of Schizophrenia.* Elsevier. – 2016. – P. 109–124. doi:10.1016/b978-0-12-801829-3.00015-x
3. Zhou Z. D. Role of dopamine in the pathophysiology of Parkinson's disease. / Zhou Z. D., Yi L. X., Wang D. Q. et al. // *Transl Neurodegener* – 2023. – 12. – P. 44. <https://doi.org/10.1186/s40035-023-00378-6>
4. Ceyzériat K. Alterations in dopamine system and in its connectivity with serotonin in a rat model of Alzheimer's disease. / Ceyzériat K., Gloria Y., Tsartsalis S., Fossey C., Cailly T., Fabis F., Millet P., Tournier B. B. // *Brain Commun.* – 2021. – 3(2) – fcab029. doi: 10.1093/braincomms/fcab029. PMID: 34286270; PMCID: PMC8287930.
5. Iasevoli F. Dopamine Dynamics and Neurobiology of Non-Response to Antipsychotics, Relevance for Treatment Resistant Schizophrenia: A Systematic Review and Critical Appraisal. / Iasevoli F., Avagliano C., D'Ambrosio L., Barone A., Ciccarella M., De Simone G., Mazza B., Vellucci L., de Bartolomeis A. // *Biomedicines.* – 2023 – 11(3). – P. 895. doi: 10.3390/biomedicines11030895. PMID: 36979877; PMCID: PMC10046109.
6. Шестидневная динамика индекса тревожности высокотревожных крыс-самок при блокаде МАО-в / Д. Р. Хусаинов, А. Н. Лукьянцева, Н. С. Трибрат [и др.] // *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture.* – 2023. – Т. 15, № 6. – С. 29–50. – DOI 10.12731/2658-6649-2023-15-6-958. – EDN QEVHQN.
7. Schulz D. "Rats bred for helplessness exhibit positive reinforcement learning deficits which are not alleviated by an antidepressant dose of the MAO-B inhibitor deprenyl" / D. Schulz, F. A. Henn, D. Petri and J. P. Huston // *Neuroscience.* – 2016. – Vol. 329. – P. 83–92.
8. Finberg J. P. Inhibitors of MAO-A and MAO-B in Psychiatry and Neurology. / Finberg J. P., Rabey J. M. // *Front Pharmacol.* – 2016. – 7. – P. 340. doi: 10.3389/fphar.2016.00340. PMID: 27803666; PMCID: PMC5067815.
9. Tábi T. Selegiline: a molecule with innovative potential. / Tábi T., Vécsei L., Youdim M. B., Riederer P., Szókö É. // *J Neural Transm (Vienna).* – 2020. – 127(5) – P. 831–842. doi: 10.1007/s00702-019-02082-0. Epub 2019 Sep 27. PMID: 31562557; PMCID: PMC7242272.
10. Rossano F. Efficacy and safety of selegiline across different psychiatric disorders: A systematic review and meta-analysis of oral and transdermal formulations. / Rossano F., Caiazza C., Sobrino A., Solini N., Vellucci A., Zotti N., Fornaro M., Gillman K., Cattaneo C. I., Van den Eynde V., Birkenhager T. K., Ruhé H. G., Stahl S., Iasevoli F., de Bartolomeis A. // *Eur Neuropsychopharmacol.* – 2023 – 72 – P. 60–78. doi: 10.1016/j.euroneuro.2023.03.012. Epub 2023 Apr 21. PMID: 37087864.
11. Mahmood I. Clinical pharmacokinetics and pharmacodynamics of selegiline / Mahmood I. // *Clinical pharmacokinetics.* – 1997. – Т. 33, № 2. – С. 91–102.
12. Borbe H. O. Kinetic evaluation of MAO-B-activity following oral administration of selegiline and desmethyl-selegiline in the rat / *Journal of Neural Transmission* / Borbe H.O., Niebch G., Nickel B. // *Amine Oxidases and Their Impact on Neurobiology* / P. Riederer and M. B. H. Youdim (eds.) (Proceedings of the 4th International Amine Oxidases Workshop, Wurzburg, Federal Republic of Germany, July 7-10) – 1990. Springer-Verlag, Wien – New York. – P. 131-137. DOI: 10.1007/978-3-7091-9113-2_18
13. Heikkila R. E. Monoamine oxidase and the bioactivation of MPTP and related neurotoxins: relevance to DATATOP / *Journal of Neural Transmission* / Heikkila R. E., Terleckyj I., Sieber B. A. // *Amine Oxidases and Their Impact on Neurobiology* / P. Riederer and M. B. H. Youdim (eds.) // *Proceedings of the 4th International Amine Oxidases Workshop, Wurzburg, Federal Republic of Germany, July 7-10, – 1990.* Springer-Verlag, Wien – New York. – P. 217–227. DOI: 10.1007/978-3-7091-9113-2_32
14. The monoamine-oxidase B inhibitor deprenyl increases selection of high-effort activity in rats tested on a progressive ratio/chow feeding choice procedure: Implications for treating motivational dysfunctions / Yohn S.E., Reynolds S., Tripodi G., Correa M., Salamone J. D. // *Behav Brain Res.* – 2018. – Vol. 16, No 342. – P. 27–34. doi: 10.1016/j.bbr.2017.12.039

15. Selection of sucrose concentration depends on the effort required to obtain it: studies using tetrabenazine, D1, D2, and D3 receptor antagonists / Pardo M., López-Cruz L., San Miguel N., Salamone J. D., Correa M. // *Psychopharmacology (Berl)*. – 2015. – Vol. 232(13), No 23. – P. 77–91. doi: 10.1007/s00213-015-3872-7
16. Harsing LG. Jr. Striking Neurochemical and Behavioral Differences in the Mode of Action of Selegiline and Rasagiline. / Harsing LG. Jr, Timar J, Miklya I. // *Int J Mol Sci*. – 2023. – 28 – 24(17) – P. 13334. doi: 10.3390/ijms241713334. PMID: 37686140; PMCID: PMC10487936.
17. Ishikawa T. Selegiline ameliorates depression-like behaviors in rodents and modulates hippocampal dopaminergic transmission and synaptic plasticity. / Ishikawa T., Okano M., Minami A., Tsunekawa H., Satoyoshi H., Tsukamoto Y., Takahata K., Muraoka S. // *Behav Brain Res*. – 2019. – 1– P. 359–353–361. doi: 10.1016/j.bbr.2018.10.032. Epub 2018 Oct 22. PMID: 30359642.
18. Shimazu S. Antidepressant-like effects of selegiline in the forced swim test. / Shimazu S., Minami A., Kusumoto H., & Yoneda F. // *European neuropsychopharmacology*. – 2005. – 15(5). – P. 563–571.
19. Nowakowska E. Investigating potential anxiolytic, antidepressant and memory enhancing activity of deprenyl. / Nowakowska E., Kus K., Chodera A., & Rybakowski J. // *J Physiol Pharmacol*. – 2001. – 52(4 Pt 2). – P. 863–73.
20. Birukova Elena. Participation of dopaminergic system in the dynamics of behavioral reactions of aging rats of both sexes under daily testing in the open field. / Birukova Elena, Khusainov Denis, Chajka Andrew, Tribrat Natalia, Dzhemalyadinova Zera, Dmitrenko Natalia, Chornobay Svitlana. // *BIO Web of Conferences*. – 2021. – 30. – P. 06003. 10.1051/bioconf/20213006003.

CHANGES IN THE INDEX OF DEPRESSION IN LOW-, MEDIUM- AND HIGHLY DEPRESSED RATS DEPENDING ON THE DURATION OF MONOAMINE OXIDASE-B BLOCKADE

Khusainov D. R., Tumanyants K. N., Aidinov I. D., Ivanova V. R.

*Institute of Biochemical Technologies, Ecology and Pharmacy (structural division) of the V. I. Vernadsky Crimean Federal University, Simferopol, Republic of Crimea, Russia
E-mail: gangliu@yandex.ru*

To date, the scientific community has generally acknowledged the undeniable role of dopamine in the regulation of a wide variety of behavioural and psychoemotional manifestations and functions. Thus, the dopaminergic theory of schizophrenia has been formed [1, 2]; participation in the pathogenesis of Parkinson's [3] and Alzheimer's [4] diseases and in the manifestation of psychosis [5] is noted. Also, anxiolytic [6] and antidepressant effects [7, 8] have been observed when central dopamine concentration increases, including under conditions of monoamine oxidase blockade. At the same time, the issues related to the involvement of the dopaminergic system in the formation of the initial level of psychoemotional characteristics of animals and humans remain open and debatable; studies on the effects of monoamine oxidase blockade are also promising [9, 10]. We believe that the time before the test is relevant and may have an impact on the parameters recorded. For the above considerations, a working hypothesis was proposed: the effect of monoamine oxidase blockade will be maximised in animals with high levels of depression and will depend on the time interval after blocker administration. Within the framework of this hypothesis, in the present work, we elucidated the dependence of the

effect of monoamine oxidase-B (MAO-B) blockade on the initial level of depressiveness of rats and the time from the blocker administration to the beginning of animal testing.

The study was conducted in 2 separate stages: selection and experimental (main) and was carried out in the period from 2021 to 2023. A total of 183 Wistar rats (Branch of SIC 'Kurchatov Institute' – JINR – 'Rappolovo') aged 7.5–8 months were tested at the selection stage, from which 44 male rats with the level of depressivity index (DI) 0.36 ± 0.012 , hereinafter referred to as 'low level of depressivity', were selected; 44 male rats with an ID of 0.51 ± 0.007 , hereafter 'medium level of depressiveness' and 44 male rats with an ID of 0.82 ± 0.022 , hereafter 'high level of depressiveness'.

The ID was calculated according to the formula $(t - t_a) / t$, where t is the time of testing in the Porsolt test (5 min), t_a is the time of active swimming. The semantic approach of this calculation is quite simple: the longer the animal is in the state of active swimming, the lower the level of depression. Consequently, if $t_a = t$, the ID is minimal and equal to zero and, conversely, if $t_a = 0$, the ID is maximal and equal to one.

The selected animals within each group of the corresponding level of depression were divided into 4 subgroups of 11 animals each: one subgroup received intraperitoneal injection of the MAO-B blocker selegiline at a dose of 2.5 mg/kg (0.2 ml solution volume) 1 hour before testing, the second subgroup – 2 hours before testing, the third subgroup – 3 hours before testing; and one subgroup was a control subgroup, whose animals received intraperitoneal injection of physiological solution. It should be noted that initially three control subgroups were allocated and animals were tested 1 hour, 2 hours and 3 hours after physiological solution injection. And according to the result no significant differences were found between these control subgroups, the ID of the animals was essentially identical. Therefore, we abandoned such a 'triplicity' of control and formed one control subgroup, rats of which were placed in the Porsolt test one hour after the injection of physiological solution.

Statistical analysis of all arrays was carried out in the GraphPadPrism 8.0 programme using descriptive statistics, the Shapiro-Wilk criterion, the variance of arrays was compared using the Barlett criterion, and for multiple comparisons the analysis of variance and the Tukey test were used.

It was found out that in low-depressed animals a single blockade of central monoamine oxidase-B by selegiline does not cause significant changes in the level of depression. In moderately depressed animals ID during MAO-B blockade: control – 0.55 ± 0.008 ; 1 hour after selegiline administration – 0.49 ± 0.018 ; after 2 hours – 0.49 ± 0.016 ; after 3 hours – 0.42 ± 0.016 at $p < 0.001$ in comparison with the control level and at $p < 0.05$ in comparison with ID after 1 and 2 hours of MAO-B blockade. In highly depressed rats, the ID in control was 0.81 ± 0.023 ; 1 hour after selegiline administration, 0.71 ± 0.011 at $p < 0.05$ compared to control; 2 hours later, 0.65 ± 0.019 at $p < 0.0001$ and 3 hours later, 0.56 ± 0.017 at $p < 0.0001$ compared to control levels. Also, the ID of rats after three-hour MAO-B blockade was significantly lower than the values of the group of rats with one-hour duration of blockade at $p < 0.0001$ and compared to two-hour duration of MAO-B blockade at $p < 0.01$.

The hypothesis put forward by us (see introduction) was fully confirmed: it was found that the effect of MAO-B blockade has a significant dependence on the duration of blockade and is also related to the initial level of depression.

Keywords: depression, selegiline, monoamine oxidase, dopamine.

References

1. Seeman P. Schizophrenia and dopamine receptors. *Eur Neuropsychopharmacol.*, **23(9)**, 999 (2013). doi: 10.1016/j.euroneuro.2013.06.005. Epub 2013 Jul 13. PMID: 23860356.
2. Gründer G., Cumming P. "The Dopamine Hypothesis of Schizophrenia". *The Neurobiology of Schizophrenia. Elsevier*, 109 (2016). doi:10.1016/b978-0-12-801829-3.00015-x
3. Zhou Z. D., Yi L. X., Wang D. Q. et al. Role of dopamine in the pathophysiology of Parkinson's disease. *Transl Neurodegener.*, **12**, 44 (2023). <https://doi.org/10.1186/s40035-023-00378-6>
4. Ceyzériat K., Gloria Y., Tsartsalis S., Fossey C., Cailly T., Fabis F., Millet P., Tournier B. B. Alterations in dopamine system and in its connectivity with serotonin in a rat model of Alzheimer's disease. *Brain Commun.*, **10**, **3(2)**, fcab029 (2021) doi: 10.1093/braincomms/fcab029. PMID: 34286270; PMCID: PMC8287930.
5. Iasevoli F., Avagliano C., D'Ambrosio L., Barone A., Ciccarelli M., De Simone G., Mazza B., Vellucci L., de Bartolomeis A. Dopamine Dynamics and Neurobiology of Non-Response to Antipsychotics, Relevance for Treatment Resistant Schizophrenia: A Systematic Review and Critical Appraisal. *Biomedicines.*, **14**, 11(3), 895 (2023) doi: 10.3390/biomedicines11030895. PMID: 36979877; PMCID: PMC10046109.
6. Khusainov D. R., Lukyantseva A. N., Tribat N. S. [et al.] Six-day dynamics of anxiety index of highly anxious female rats under MAO-in blockade, *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture.*, **15**, **6**, 29 (2023). DOI 10.12731/2658-6649-2023-15-6-958. EDN QEVHQN
7. Schulz D., Henn F. A., Petri D. and Huston J. P. "Rats bred for helplessness exhibit positive reinforcement learning deficits which are not alleviated by an antidepressant dose of the MAO-B inhibitor deprenyl", *Neuroscience*, **329**, 83 (2016).
8. Finberg J. P., Rabey J. M. Inhibitors of MAO-A and MAO-B in Psychiatry and Neurology. *Front Pharmacol.*, **18**, **7**, 340 (2016) doi: 10.3389/fphar.2016.00340. PMID: 27803666; PMCID: PMC5067815.
9. Tábi T., Vécsei L., Youdim M. B., Riederer P., Szökő É. Selegiline: a molecule with innovative potential. *J Neural Transm (Vienna)*. **127(5)**, 831 (2020) doi: 10.1007/s00702-019-02082-0. Epub 2019 Sep 27. PMID: 31562557; PMCID: PMC7242272.
10. Rossano F., Caiazza C., Sobrino A., Solini N., Vellucci A., Zotti N., Fornaro M., Gillman K., Cattaneo C. I., Van den Eynde V., Birkenhager T. K., Ruhé H. G., Stahl S., Iasevoli F., de Bartolomeis A. Efficacy and safety of selegiline across different psychiatric disorders: A systematic review and meta-analysis of oral and transdermal formulations. *Eur Neuropsychopharmacol.*, **72**, 60 (2023) doi: 10.1016/j.euroneuro.2023.03.012. Epub 2023 Apr 21. PMID: 37087864.
11. Mahmood I. Clinical pharmacokinetics and pharmacodynamics of selegiline, *Clinical pharmacokinetics.*, **33**, **2**, 91 (1997).
12. Borbe H. O., Niebch G., Nickel B. Kinetic evaluation of MAO-B-activity following oral administration of selegiline and desmethyl-selegiline in the rat, *Journal of Neural Transmission, Amine Oxidases and Their Impact on Neurobiology* / P. Riederer and M. B. H. Youdim (eds.) // Proceedings of the 4th International Amine Oxidases Workshop, Wurzburg, Federal Republic of Germany, July 7-10, 131 (Springer-Verlag, Wien – New York, 1990). DOI: 10.1007/978-3-7091-9113-2_18
13. Heikkilä R. E., Terleckyj I., Sieber B. A. Monoamine oxidase and the bioactivation of MPTP and related neurotoxins: relevance to DATATOP / *Journal of Neural Transmission / Amine Oxidases and Their Impact on Neurobiology* / P. Riederer and M. B. H. Youdim (eds.) // Proceedings of the 4th International Amine Oxidases Workshop, Wurzburg, Federal Republic of Germany, July 7-10, 217 (Springer-Verlag, Wien – New York, 1990). DOI: 10.1007/978-3-7091-9113-2_32
14. Yohn S. E., Reynolds S., Tripodi G., Correa M., Salamone J. D., The monoamine-oxidase B inhibitor deprenyl increases selection of high-effort activity in rats tested on a progressive ratio/chow feeding

- choice procedure: Implications for treating motivational dysfunctions, *Behav Brain Res.*, **16**, **342**, 27 (2018). doi: 10.1016/j.bbr.2017.12.039
15. Pardo M., López-Cruz L., San Miguel N., Salamone J. D., Correa M. Selection of sucrose concentration depends on the effort required to obtain it: studies using tetrabenazine, D1, D2, and D3 receptor antagonists, *Psychopharmacology (Berl.)*, **232(13)**, **23**, 77 (2015). doi: 10.1007/s00213-015-3872-7
 16. Harsing LG. Jr, Timar J., Miklya I. Striking Neurochemical and Behavioral Differences in the Mode of Action of Selegiline and Rasagiline. *Int J Mol Sci.*, **28**, **24(17)**, 13334 (2023) doi: 10.3390/ijms241713334. PMID: 37686140; PMCID: PMC10487936.
 17. Ishikawa T., Okano M., Minami A., Tsunekawa H., Satoyoshi H., Tsukamoto Y., Takahata K., Muraoka S. Selegiline ameliorates depression-like behaviors in rodents and modulates hippocampal dopaminergic transmission and synaptic plasticity. *Behav Brain Res.*, **359**, 353 (2019) doi: 10.1016/j.bbr.2018.10.032. Epub 2018 Oct 22. PMID: 30359642.
 18. Shimazu, S., Minami, A., Kusumoto, H., & Yoneda, F. Antidepressant-like effects of selegiline in the forced swim test. *European neuropsychopharmacology*, **15(5)**, 563 (2005).
 19. Nowakowska E., Kus K., Chodera A., & Rybakowski J. Investigating potential anxiolytic, antidepressant and memory enhancing activity of deprenyl. *J Physiol Pharmacol*, **52(4 Pt 2)**, 863 (2001).
 20. Birukova Elena & Khusainov Denis & Chajka Andrew & Tribat Natalia & Dzhemalyadinova Zera & Dmitrenko Natalia & Chornobay Svitlana. Participation of dopaminergic system in the dynamics of behavioral reactions of aging rats of both sexes under daily testing in the open field. *BIO Web of Conferences*. **30**, 06003 (2021). 10.1051/bioconf/20213006003.

УДК 615.281: [615.33:633.88]

DOI 10.29039/2413-1725-2024-10-4-230-238

ОЦЕНКА СОДЕРЖАНИЯ ОСНОВНЫХ ГРУПП БИОЛОГИЧЕСКИ АКТИВНЫХ ВЕЩЕСТВ И АНТИОКСИДАНТНАЯ АКТИВНОСТЬ ЭКСТРАКТА ЛИСТЬЕВ *RUBUS CAESIUS* L.

**Цибизова А. А., Бирюкова Е. Н., Сергалиева М. У.,
Ганиуллима А. Р., Макалатия М. К.**

**ФГБОУ ВО «Астраханский государственный медицинский университет» Минздрава
России, Астрахань, Россия
E-mail: charlina_astr@mail.ru**

Работа посвящена количественной оценке биологически активных веществ и антиоксидантной активности экстракта листьев *Rubus caesius*. Антиоксидантную активность экстракта листьев *R. caesius* проводили на модельной биологической системе (желточные липопротейды куриных яиц), изучая интенсивность перекисного окисления липидов. Индуцирование перекисного окисления способствовало усилению свободнорадикальных процессов по сравнению с контролем; введение извлечения листьев *R. caesius* привело к снижению уровней ТБК-реактивных продуктов и скорости индуцированного ПОЛ. Таким образом, результаты оценки содержания основных групп биологически активных веществ экстракта листьев *R. caesius* показали высокое содержание флавоноидов, дубильных веществ, аскорбиновой кислоты и наличие антиоксидантной активности сопоставимой с препаратом сравнения – мексидолом, что оправдывает необходимость дальнейших детальных исследований фармакологической активности извлечений, полученных на основе данного растения.

Ключевые слова: *Rubus caesius*, листья, количественный анализ, антиоксидантная активность, перекисное окисление липидов.

ВВЕДЕНИЕ

Разработка и применение препаратов природного происхождения, и в большей степени растительного, является актуальным направлением современной фармации, что связано с преимуществами фитопрепаратов по сравнению с синтетическими средствами, а именно: относительной безопасностью, нетоксичностью, широкой фармакологической активностью и возможностью длительного применения при лечении хронических заболеваний [1, 2].

Растение ежевика сизая (*Rubus caesius* L.) семейства *Rosaceae* получило широкое распространение в Астраханской области. Известно, что *R. caesius* является многолетним кустарником, обладает лечебными свойствами и используется в народной медицине как средство лечения различных заболеваний, оказывая выраженный фармакологический эффект. Научные данные свидетельствуют о наличии у данного растения противовоспалительной, антиоксидантной, общеукрепляющей, регенерирующей и других видов активности.

Широкое фармакологическое действие определяется составом биологически активных веществ (БАВ) [3]. Установлено, что в плодах *R. caesius* обнаружены витамины, органические кислоты, флавоноиды, дубильные вещества, углеводы, микроэлементы. В качестве лекарственного сырья представляют интерес и листья ежевики, в составе которых установлено наличие кверцетина, рутина, кемпферола, астрагалина, лютеолина, апигенина, а также дубильных веществ и витаминов [4, 5]. Известно, что количество БАВ, а в конечном итоге и выраженность фармакологической активности, находятся в зависимости от климатических условий произрастания растения.

Цель работы – количественная оценка биологически активных веществ и антиоксидантной активности экстракта листьев *R. caesius*, произрастающей в Астраханской области.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Объектом исследования выступали листья *R. caesius*, заготовка которых была произведена в мае 2022 г. в юго-восточной части дельты Астраханской области, вдоль берега Тишковского канала, расположенного в Володарском районе. Собранное сырье было предварительно очищено от пыли, и высушено воздушно-теневым способом в хорошо проветриваемом помещении, затем листья были измельчены до размера частиц 7 мм. БАВ определяли согласно общепринятым методам (спектрофотометрический (флавоноиды) и титриметрический метод (аскорбиновая кислота, дубильные вещества).

Количество БАВ определяли в извлечении, полученном настаиванием подготовленного сырья на водяной бане на протяжении 2 часов при температуре 60 °С при периодическом перемешивании в соотношении 1:5, используя в качестве экстрагента спирт этиловый 60 %, с последующим его удалением на вакуумном испарителе «Hei-VAP Value G3» («Heidolph», Германия). Полученное извлечение представляло собой густую жидкость с влажностью 80 %. Общее количество экстрактивных веществ в полученном извлечении определяли согласно ОФС.1.5.3.0006.15.

Исследованиями установлено, что при экстракции водными и спиртовыми растворителями рутин определяется в любых частях растения *R. caesius* [6]. В связи с чем, количественную оценку флавоноидов производили в пересчете на рутин (стандартный образец CAS № 5373-11-5), определяя оптическую плотность раствора при длине волны 410 нм на спектрофотометре ПЭ-5400В (Россия). 5 мл исследуемого экстракта помещали в мерную колбу на 25 мл, прибавляли 1 мл 2 %-ного спиртового раствора хлорида алюминия ($AlCl_3$), 0,5 мл 5 %-ного раствора уксусной кислоты (CH_3COOH) и доводили до метки 95 % этанолом. Через 30 минут измеряли оптическую плотность полученного раствора относительно раствора сравнения. Для приготовления раствора сравнения 5 мл раствора помещали в мерную колбу на 25 мл, прибавляли 10 мл 95 %-ного этанола и 0,5 мл 33 %-ной CH_3COOH . Полученный объем доводили до метки добавлением 95 %-ного спирта этилового и тщательно перемешивали. Одновременно с этим измеряли оптическую плотность раствора стандартного образца рутина, приготовленного следующим

образом: 0,05 г рутина помещали в мерную колбу объемом 100 мл, прибавляли 70 мл спирта этилового 95 %, перемешивали до полного растворения и доводили до метки этим же растворителем. Затем 1 мл раствора помещали в мерную колбу на 25 мл, добавляли 0,5 мл 33 % раствора CH_3COOH и 2 мл 2 % раствора AlCl_3 и доводили объем раствора спиртом этиловым 95 % до метки, перемешивали. Через 30 минут измеряли оптическую плотность полученного раствора при 410 нм относительно раствора Б (1 мл раствора А помещали в мерную колбу вместимостью 25 мл, добавляли 0,5 мл 33 % раствора CH_3COOH и доводили спиртом этиловым 95 % до метки). Содержание суммы флавоноидов определяли по формуле:

$$x = \frac{A_x \times a_{ст} \times 10 \times 100}{A_{ст} \times a_x \times (100 - W)}$$

где A_x – оптическая плотность испытуемого раствора; $A_{ст}$ – оптическая плотность раствора стандартного образца рутина; $a_{ст}$ – масса стандартного образца рутина, г; a_x – масса навески сырья, г; W – влажность, %.

Количественную оценку дубильных веществ осуществляли в пересчете на танин титрованием 0,1 н. перманганатом калия; анализ аскорбиновой кислоты – титрованием раствором 2,6-дихлорфенолиндофенолят натрия.

25 мл полученного извлечения помещали в коническую колбу на 1 л и добавляли 750 мл воды и 25 мл раствора индиго-сульфоокислоты. Затем титровали при постоянном перемешивании 0,1 н. перманганатом калия до появления золотисто-желтого окрашивания. Параллельно проводили контрольное титрование 25 мл индиго-сульфоокислоты в 750 мл воды 0,1 н. перманганатом калия так же до золотисто-желтого окрашивания. Содержание дубильных веществ (%) в пересчете на танин рассчитывали по формуле:

$$x = \frac{(V_1 - V_2) \times K \times 0,00582 \times V \times 100 \times 100}{m \times V_3 \times (100 - w)}$$

где V_1 – объем 0,1 н. перманганата калия, пошедшего на титрование, мл; V_2 – объем 0,1 н. перманганата калия, пошедшего на контрольный опыт, мл; K – поправка на титр (по щавелевой кислоте); 0,00582 – коэффициент пересчета на танин для дубильных веществ; V – общий объем экстракта, мл; m – масса навески сырья, г; V_3 – объем экстракта, взятого для титрования, мл; w – влажность сырья, %.

1 мл полученного водного извлечения, 1 мл 2 %-ного раствора соляной кислоты, 13 мл воды дистиллированной вносили в колбу на 100 мл и титровали из микробюретки 0,001 н. раствором 2,6-дихлорфенолиндофенолята натрия до появления розовой окраски, которая не исчезала в течение 1 минуты. Содержание аскорбиновой кислоты в процентах (X) в пересчете на абсолютно сухое сырье рассчитывали по формуле:

$$x = \frac{V \times F \times 0,000088 \times V_1 \times 100 \times 100}{m \times V_2 \times (100 - w)}$$

где V – объем 0,001 н. раствора 2,6-дихлорфенолиндофенолята натрия, израсходованного на титрование, мл; F – поправка на титр 0,001 н. раствора 2,6-дихлорфенолиндофенолята натрия; V_1 – объем извлечения, соответствующий всей навеске, мл; m – масса навески сырья, г; V_2 – объем извлечения, взятого для титрования, мл; w – потеря в массе сырья при высушивании, %.

Экспериментальные исследования проводили в 5-кратной повторности. Статистическую обработку, полученных результатов проводили с использованием унифицированных метрологических характеристик. Статистически значимыми считали показатели, если относительное стандартное отклонение (RSD) не превышало 1 %.

Антиоксидантную активность (АОА) экстракта листьев *R. caesius* проводили на модельной биологической системе (желточные липопропротеиды (ЛП) куриных яиц) изучая интенсивность перекисного окисления липидов (ПОЛ) [7]. Желток гомогенизировали с фосфатным буферным раствором, после чего полученную суспензию ЛП смешивали ее этим же буфером (pH=7) в соотношении 1:25; затем к 1 мл разведенной суспензии ЛП прибавляли такой же объем экстракта и 25 мМ раствора железа сульфата, а также 7 мл фосфатного буфера. В качестве препарата сравнения при оценке АОА использовали раствор мексидола 50 % (Фармасофт НПК; Россия) в объеме 1 мл. Выбор мексидола связан с его прямой антиоксидантной активностью и выраженным подавлением перекисного окисления липидов. Пробы термостатировали 15 минут при температуре 37 °С. Из каждой пробы отбирали по 2 мл и прибавляли по 1 мл 17,5 % трихлоруксусной кислоты и 0,8 % тиобарбитуровой кислоты (ТБК), после чего пробирки выдерживали на кипящей водяной бане в течение 10 мин, охлаждали, центрифугировали 15 мин при 1000 оборотах/мин. Оптическую плотность надосадочной жидкости измеряли на спектрофотометре (ПЭ-5400В; Россия) при длине волны 530 нм.

АОА рассчитывали по формуле: $(D_{\text{контр}} - D_{\text{обр}}) / D_{\text{контр}} \times 100\%$, где $D_{\text{контр}}$ – оптическая плотность контрольной пробы, $D_{\text{обр}}$ – оптическая плотность опытных проб.

Полученные экспериментальные данные обрабатывали статистически с помощью программы «STATTECH» (Россия) с вычислением средней арифметической, ошибки средней и использованием t-критерия Стьюдента, так как исходные данные имели нормальное распределение. Изменения показателей считали статистически значимыми при $p < 0,05$.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Проведенный анализ показал, что в экстракте листьев *R. caesius*, произрастающей в Астраханской области, общее количество экстрактивных веществ составило $23 \pm 0,85$, количество суммы флавоноидов в пересчете на рутин составило $1,85 \pm 0,12$ (RSD=0,39 %), дубильных веществ в пересчете на танин – $9,24 \pm 0,85$ (RSD=2,15 %), аскорбиновой кислоты – $1,12 \pm 0,14$ (RSD=2,22 %).

Дифференциальный спектр комплекса суммы флавоноидов листьев *R. caesius* с $AlCl_3$ представлен на рисунке 1.

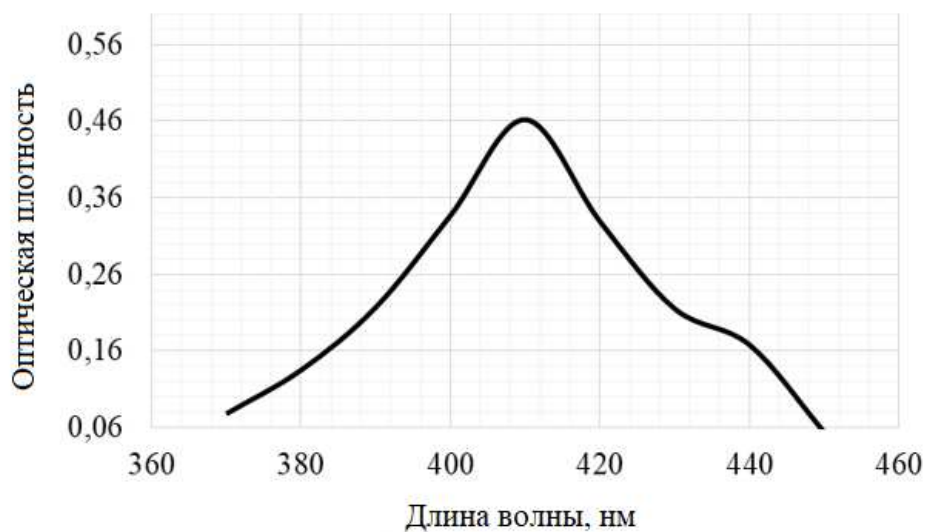


Рис. 1. Дифференциальный спектр комплекса флавоноидов листьев *R. caesius* с хлоридом алюминия.

Результаты оценки антиоксидантной активности экстракта листьев *R. caesius* представлены в таблице 1.

Таблица 1
Интенсивность перекисного окисления липидов под влиянием экстракта листьев *R. Caesius*

№	Экспериментальные пробы	Исходный уровень ТБК-реактивных продуктов, нмоль/л	Скорость индуцированного ионами железа ПОЛ, нмоль/л
1	Контроль	5,36±0,57	17,63±1,09
2	Желточные липопротеиды + сульфат железа	9,63±0,97**	31,65±2,07**
3	Желточные липопротеиды + экстракт листьев <i>R. caesius</i>	7,04±0,72#	27,58±1,00#
4	Желточные липопротеиды + раствор мексидола	6,17±0,45##	23,24±1,06##

Примечание: ** – $p < 0,01$ – относительно пробы «контроль»; # – $p < 0,05$; ## – $p < 0,01$ – относительно пробы «желточные липопротеиды + сульфата железа»

Результаты показали, что индуцирование перекисного окисления способствовало повышению уровней ТБК-реактивных продуктов и скорости индуцированного ПОЛ на 80 % ($p < 0,01$) по сравнению с контролем; введение экстракта листьев *R. caesius* привело к снижению указанных показателей по

отношению к пробе «желточные липопротеиды + сульфат железа» на 27 и 13 % ($p < 0,05$) соответственно; на фоне препарата сравнения изучаемые показатели также уменьшились на 36 и 27 % ($p < 0,01$) соответственно. Таким образом, изменения показателей ПОЛ свидетельствуют о наличии у экстракта листьев *R. caesius* антиоксидантной активности.

Результаты проведенного фитохимического анализа подтверждаются другими исследованиями. Установлено, что листья *R. caesius*, произрастающей на территории Астраханской области, накапливают дубильных веществ и аскорбиновой кислоты больше в сравнении с другими местами произрастания, что вероятнее всего связано с климатическими особенностями [4, 7, 8]. Известно, что повышенная инсоляция и сниженная влажность способствуют накоплению биологически активных веществ, в частности флавоноидов [2].

Исследованиями доказано, что листья ежевики сизой обладают выраженной антиоксидантной активностью [5, 9]. Способность ингибировать перекисное окисление липидов связано с наличием в листьях *R. caesius* большого количества флавоноидов и аскорбиновой кислоты. Доказано, что антиоксидантное действие флавоноидов связано с их способностью взаимодействовать с перокси- и алкоксирадикалами, образующимися в процессе ПОЛ, снижать скорость образования активных форм кислорода, образовывать комплексы и хелатировать катионы металлов [10–12]. Антиоксидантное действие аскорбиновой кислоты объясняется ее способностью выступать в основном как донор одиночных атомов водорода, а образующийся монодегидроаскорбат реагирует с другими радикалами гораздо быстрее, чем с полностью окисленными или полностью восстановленными соединениями [13, 14].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, результаты оценки содержания основных групп биологически активных веществ экстракта листьев *R. caesius*, произрастающей на территории Астраханской области, показали высокое содержание флавоноидов, дубильных веществ, аскорбиновой кислоты и наличие антиоксидантной активности сопоставимой с препаратом сравнения – мексидолом, что оправдывает необходимость дальнейших детальных исследований фармакологической активности извлечений, полученных на основе данного растения.

Список литературы

1. Пахнова Л. Р. Пелоидотерапия заболеваний кожи / Л. Р. Пахнова, М. А. Самотруева, О. А. Башкина [и др.] // Астраханский медицинский журнал. – 2017. – Т. 12, № 1. – С. 8–21.
2. Сальникова Н. А. Фитохимический анализ листьев лоха серебристого *Elaeagnus argentea* / Н. А. Сальникова, Ю. В. Шур, А. А. Цибизова // Разработка и регистрация лекарственных средств. – 2021. – Т. 10, № 3. – С. 95–99.
3. Асадуллаева Д. А. Биологические свойства ежевики сизой (*Rubus caesius*) произрастающей в естественных условиях Узбекистана / Д. А. Асадуллаева // Science and innovation. – 2023. – № 2(Special Issue 6). – С. 459–463.

4. Магеррамова С. И. К. Химический состав и пищевая ценность ежевики, произрастающей в Азербайджанской республике, и их зависимость от вида и региона произрастания / С. И. К. Магеррамова // Химия растительного сырья. – 2022. – № 2. – С. 147–156.
5. Grokhovsky D. M. Antiproliferative and antioxidant effect of *Rubus caesius* leaf extracts in vitro and evaluation of their quality / D. M. Grokhovsky, R. Paduch, A. Wind [et al.] // Evidence-based Complementary and Alternative Medicine. – 2016. – P. 1–8.
6. Goering A. Polyphenolic characteristics, antioxidant, antihyaluronidase and antimicrobial activity of young leaves and stem extracts from *Rubus caesius* L. / A. Goering, J. Stefanovic-Hajduk, R. Gallas [et al.] // Molecules. – 2022. – Vol. 27, № 19. – P. 61–81.
7. Цибизова А. А. Оценка влияния экстрактов плодов и листьев лоха узколистного (*Elaeagnus angustifolia* L.) на интенсивность перекисного окисления липидов / А. А. Цибизова, М. У. Сергалиева, М. К. Макалатия [и др.] // Международный научно-исследовательский журнал. – 2022. – № 12(126).
8. Schädler V. *Rubus caesius* L. leaves: pharmacognostic analysis and study of hypoglycemic activity / V. Schädler, S. Dergatschewa // National Journal of Physiology, Pharmacy and Pharmacology. – 2017. – Vol. 7, № 5. – P. 501.
9. Oshmyansky Y. Determination of phenolic compounds and antioxidant activity in the leaves of wild species *Rubus* L. / Y. Oshmyansky, A. Vodilo, P. Novitskaya [et al.] // Molecules. – 2015. – Vol. 20, № 3. – P. 4951–4966.
10. Agatti G. Are flavonoids effective antioxidants in plants? Twenty years of our investigation / G. Agatti, K. Brunetti, A. Fini // Antioxidants. – 2020. – Vol. 9, № 11. – P. 1098.
11. Panche A. N. Flavonoids: an overview / A. N. Panche, A. D. Divan, S. R. Chandra // Journal of Nutrition Science. – 2016. – № 5. – P. e47.
12. Шахмарданова С. А. Антиоксиданты: классификация, фармакотерапевтические свойства, использование в практической медицине / С. А. Шахмарданова, О. Н. Гулевская, В. В. Селецкая [и др.] // Журнал фундаментальной медицины и биологии. – 2016. – № 3. – С. 4–15.
13. News D. Ascorbic acid: the chemical composition underlying its antioxidant properties / D. News, M. Kelly, Y. J. Tu, H. B. Schlegel // Biology and Medicine of Free Radicals. – 2020. – № 159. – P. 37–43.
14. Arjani T. Radical absorbing activity of ascorbic acid analogues: kinetics and mechanisms / T. Arjani, H. R. Alvarez-and da boy // Theoretical Chemistry. – 2018. – № 137. – P. 1–8.

ASSESSMENT OF THE CONTENT OF THE MAIN GROUPS OF BIOLOGICALLY ACTIVE SUBSTANCES AND ANTIOXIDANT ACTIVITY OF *RUBUS CAESIUS* L. LEAF EXTRACT

Tsibizova A. A., Biryukova E. N., Sergaliev M. U., Ganiullina A. R., Makalatia M. K.

Astrakhan State Medical University, Astrakhan, Russia
E-mail: charlina_ast@mail.ru

An analysis of scientific sources has shown that *Rubus caesius* shrub is promising as a basis for the development of medicines, extracts of fruits and leaves of which have a versatile pharmacological effect, provided by the presence of biologically active substances, the amount of which depends on the climatic conditions of the plant's growth. The work is devoted to the quantitative assessment of biologically active substances and antioxidant activity of *R. caesius* leaf extract growing in the Astrakhan region. The object of the study was castings *R. caesius*, which were harvested in May 2022 in the Astrakhan region. For the quantitative determination of biologically active substances,

spectrophotometric (flavonoids) and titrimetric methods (ascorbic acid, tannins) were used. The amount of biologically active substances was determined in the extraction obtained by infusing the prepared raw materials in a water bath for 2 hours at a temperature of 60 °C with periodic stirring in a ratio of 1:5, using 60 % ethyl alcohol as an extractant, followed by its removal. The antioxidant activity of *R. caesius* leaf extract was carried out on a model biological system (yolk lipoproteins of chicken eggs), studying the intensity of lipid peroxidation. The analysis showed that in the extract of *R. caesius* leaves growing in the Astrakhan region, the amount of flavonoids in terms of rutin was 1.85 %, tannins in terms of tannin – 9.24 %, ascorbic acid – 1.12 %. The induction of peroxidation contributed to the intensification of free radical processes compared with the control; the introduction of leaf extraction of *R. caesius* led to a decrease in the levels of TBK-reactive products and the rate of induced lipid peroxidation in relation to the "yolk lipoproteins + iron sulfate" sample by 27 and 13 % ($p < 0.05$), respectively; with the introduction of a mexidol solution of 50 % concentration, the studied indicators also decreased by 36 and 27 % ($p < 0.01$), respectively. Thus, the results of the assessment of the content of the main groups of biologically active substances of the extract of the leaves of *R. caesius*, growing in the Astrakhan region, showed a high content of flavonoids, tannins, ascorbic acid and the presence of antioxidant activity comparable to the comparison drug mexidol, which justifies the need for further detailed studies of the pharmacological activity of extracts obtained on the basis of this plant.

Keywords: *Rubus caesius*, leaves, quantitative analysis, antioxidant activity, lipid peroxidation.

References

1. Pakhnova L. R., Samotrueva M. A., Bashkina O. A., Tsibizova A. A., Bryntseva I. A., Avdeeva E. S., Bogdanyants M. V. Peloidotherapy of skin diseases. *Astrakhan Medical Journal*, **12(1)**, 8 (2017).
2. Salnikova N. A., Shur Yu. V., Tsibizova A. A. Phytochemical analysis of the leaves of the silver loch *Elaeagnus argentea*. *Development and registration of medicines*, **10(3)**, 95 (2021).
3. Asadullayeva D. A. Biological properties of blueberry (*Rubus caesius*) growing in natural conditions of Uzbekistan. *Science and innovation*, **2(Special Issue 6)**, 459 (2023).
4. Magerramova S. I. K. Chemical composition and nutritional value of blackberries growing in the Republic of Azerbaijan, and their dependence on the type and region of growth. *Chemistry of plant raw materials*, **2**, 147 (2022).
5. Grokhovsky D. M., Paduch R., Wind A., Dudik A., Pleshchinskaya M., Shamchikova M., Tomczyk M. Antiproliferative and antioxidant effect of *Rubus caesius* leaf extracts in vitro and evaluation of their quality. *Evidence-based Complementary and Alternative Medicine*, **1** (2016).
6. Goering A., Stefanovic-Hajduk J., Gallas R., Oleh M., Novak R., Kosinski, Okhotsk J. R. Polyphenolic characteristics, antioxidant, antihyaluronidase and antimicrobial activity of young leaves and stem extracts from *Rubus caesius*. *Molecules*, **27(19)**, 61 (2022).
7. Tsibizova A. A., Sergalieva M. U., Makalatia M. K., Samotruev A. V., Kashtanova O. A. Assessment of the effect of extracts of fruits and leaves of the narrow-leaved loch (*Elaeagnus angustifolia* L.) on the intensity of lipid peroxidation. *International Scientific Research Journal*, **12(126)** (2022).
8. Schädler V., Dergatschewa S. *Rubus caesius* L. leaves: pharmacognostic analysis and study of hypoglycemic activity. *National Journal of Physiology, Pharmacy and Pharmacology*, **7(5)**, 501 (2017).
9. Oshmyansky Y., Vodilo A., Novitskaya P., Teleshko, M., Cibulyak T., Volanin M. Determination of phenolic compounds and antioxidant activity in the leaves of wild species *Rubus* L. *Molecules*, **20(3)**, 4951 (2015).

10. Agatti G., Brunetti K., Fini A. Are flavonoids effective antioxidants in plants? Twenty years of our investigation. *Antioxidants*, **9(11)**, 1098 (2020).
11. Panche A. N., Divan A. D., Chandra S. R. Flavonoids: an overview. *Journal of Nutrition Science*, **5**, e47 (2016).
12. Shakhmardanova S. A., Gulevskaya O. N., Seletskaya V. V., Zelenskaya A.V., Khananashvili Ya. A., Nefedov D. A., Galenko-Yaroshevsky P. A. Antioxidants: classification, pharmacotherapeutic properties, use in practical medicine. *Journal of Fundamental Medicine and Biology*, **3**, 4 (2016).
13. News D., Kelly M., Tu Y. J., Schlegel H. B. Ascorbic acid: the chemical composition underlying its antioxidant properties. *Biology and Medicine of Free Radicals*, **159**, 37 (2020).
14. Arjani T., Alvarez-and da boy H. R. Radical absorbing activity of ascorbic acid analogues: kinetics and mechanisms. *Theoretical Chemistry*, **137**, 1 (2018).

УДК 612.335.2:663.18

DOI 10.29039/2413-1725-2024-10-4-239-250

ИЗМЕНЕНИЕ МОРФОМЕТРИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ СЕЛЕЗЕНКИ КРЫС ПРИ ВВЕДЕНИИ ПРОБИОТИКА «ПРОБИОВИТ» В МОДЕЛИ ДИСБИОЗА

*Ярмолюк Н. С., Джелдубаева Э. Р., Ржевская В. С., Туманянц К. Н.,
Аединова Д. З., Ковальчук И. О.*

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

Большинство доступных в настоящее время исследований сосредоточено на метаболических свойствах пробиотиков, в то время как их иммуномодулирующее действие изучено еще относительно мало. Кроме того, одной из наиболее частых причин нарушений является воздействие на организм антибактериальными препаратами и возникновении дисбиоза. Выявлены изменения морфометрических показателей селезенки у крыс при введении пробиотика «Пробиовит» в модели дисбиоза. Пробиотики уменьшают отрицательные эффекты антибиотиков на иммунную систему и микробиоту, что отражается на структуре селезенки, включая улучшение соотношения красной и белой пульпы, что свидетельствует о восстановлении общего состояния здоровья и иммунной функции.

Ключевые слова: пробиотик «Пробиовит», модель дисбиоза, антибиотик, селезенка.

ВВЕДЕНИЕ

Использование пробиотиков является эффективным терапевтическим методом, который уменьшает негативные последствия для микробиоты макроорганизма в целом. Пробиотики – это живые микроорганизмы, которые могут быть полезными для здоровья человека, особенно для кишечника [1]. Показано, что пробиотические бактерии могут взаимодействовать и стимулировать иммунные клетки кишечника и комменсальную микрофлору, модулируя специфические иммунные функции и иммунный гомеостаз [2, 3]. Все больше данных показывает, что пробиотические бактерии обладают и иммуномодулирующими свойствами [4].

Одним из самых крупных органов лимфоидной системы, выполняющего функции лимфопоэза, накопления тромбоцитов, а также иммунную функцию, является селезенка [5–7]. На ее функционирование оказывают влияние различные факторы. Поэтому изучение влияния иммуностимуляторов на анатомо-гистологические особенности органов является актуальным. Исследования на животных моделях по воздействию пробиотиков при некоторых заболеваниях показали многообещающие результаты [8]. Введение состава из четырех различных

пробиотических штаммов, т.е. *Lactobacillus acidophilus*, *Lactobacillus Casei*, *Lactobacillus Reuteri*, *Streptococcus thermophilus* и *Bifidobacterium bifidum*, может способствовать подавлению иммунных нарушений, таких как воспалительное заболевание кишечника, атопический дерматит и ревматоидный артрит.

При этом механизмы взаимодействия между иммунными клетками хозяина и пробиотиками описаны лишь частично. Примечательно, что большинство доступных в настоящее время исследований сосредоточено на метаболических свойствах пробиотиков, в то время как их иммуномодулирующее действие изучено еще относительно мало. Более того, также необходима идентификация новых и появляющихся штаммов пробиотиков с данными свойствами [9].

Кроме того, одной из наиболее частых причин нарушений является воздействие на нее антибактериальными препаратами. С целью создания модели дисбиоза, антибиотико-обусловленного стресса у животных в экспериментах используют комбинированное применение пробиотика с антибиотиком широкого спектра.

В связи с этим, целью данного исследования было выявить изменения морфометрических показателей селезенки у крыс при введении пробиотика «Пробиовит» в модели дисбиоза.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Работа выполнялась в Центре коллективного пользования научным оборудованием «Экспериментальная физиология и биофизика» на 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 выполнены на белых половозрелых крысах-самках линии Wistar, которые были специально выведены для лабораторных исследований. Общая выборка животных составила 40 здоровых крыс-самок массой 220–240 г. со средней двигательной активностью, которые, согласно литературным данным, составляют большинство в популяции и, соответственно, у них развивается наиболее типичная реакция на любое воздействие.

Исследуемые животные были разделены на 4 равноценные группы по 10 особей в каждой. Крысы первой группы «контроль» (К) содержались в стандартных условиях вивария, которым вводили эквивалентный объем питьевой воды. Второй группе «Антибиотик» (АБ) давали антибиотик широкого спектра действия доксициклин в дозе 5 мг/кг. Животным третьей группы «Пробиотик» (ПБ) давали 1 % раствор пробиотика «ПРОБИОВИТ®». Крысам четвертой группы «Комбинация» (АБ+ПБ) на протяжении всего эксперимента комбинированно давали антибиотик и пробиотик. Исследуемые вещества вводились животным внутрижелудочно путем использования желудочного орального зонда для кормления мышей и крыс, в соответствии с дозой 3 мл для каждого препарата. Кратность введения исследуемого препарата составляла 1 раз в сутки на протяжении 14 дней.

Все манипуляции с крысами, в рамках эксперимента, реализовывались с соблюдением требований разработки и реализации этапов доклинических исследований, каждый из которых проводился в соответствии с необходимыми условиями гуманного обращения с лабораторными животными.

Пробиотик готовился в виде молочнокислых заквасок и вводился в виде 1 % раствора в дозе 81gКОЕ/мл, которая в пересчёте на массу тела крысы соответствует максимальной дозе 3 мл [10].

Синтез тестируемого пробиотика проводился на кафедре ботаники и физиологии растений и биотехнологий ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет имени В. И. Вернадского» под руководством Ржевской В. С. Микробный консорциум 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 У-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 следующего состава (г/л): пептон ферментативный – 10,0; экстракт пекарных дрожжей – 4,0; твин-80 – 1,0 мл; мясной экстракт – 8,0; глюкоза – 20,0; калий фосфорнокислый однозамещенный – 2,0; натрий уксуснокислый 3-водный – 5,0; аммоний лимоннокислый однозамещенный – 2,0; магний сернокислый 7-водный – 0,1; марганец хлористый 4-водный – 0,05; рН среды – 6,3; режим стерилизации: 0,75 атм, 20 мин. Культивирование микроорганизмов проводили в биореакторе Minifors 2 объемом 4 л (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 1,3·10⁹ КОЕ.

Животных выводили из эксперимента путем декапитации. Подготовка гистологического материала осуществлена в ЦКП «Молекулярная биология» ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет имени В. И. Вернадского». Гистологические препараты готовили в соответствии со стандартными методиками.

Фиксировали поперечные тонкие срезы толщиной 4 мкм на уровне ворот селезенки в 10 %-м забуференном формалине (рН 7,2) в течение 24 часов. После этого осуществляли дегидратацию и пропитку парафином в микроволновом гистологическом процессоре LOGOS (Mielstone, Италия) с использованием программы, рекомендованной производителем. Пропитанные парафином кусочки органов заливали в блоки, из которых изготавливали гистологические срезы. Срезы окрашивали гематоксилином и эозином [11].

Гистопрепараты просматривали под микроскопом DM2000 с объективами Plan5x, 10x и 40x и фотографировали камерой DFC295 (Leica). Морфометрические измерения выполняли на микрофотографиях в программе ImageJ с использованием шкалы TS-M1 PW106011 (1div=0.01mm) stage micrometer, используя метод наложения точечных морфометрических сеток.

Процентное соотношение белой/красной пульпы селезенки считали на увеличении 5х методом точек, обводя заданные области, и затем вычисляли процентное соотношение.

Анализ структур лимфатического узла (ЛУ) на гистопрепаратах проводили при увеличении 10х методом точек, обводя заданные области, и затем вычисляли процентное соотношение зон лимфоузла: герминативный центр (ГЦ), периартериальная, мантийная, маргинальная зоны.

Статистическая обработка полученных данных выполнялась с использованием прикладного программного документа «STATISTICA – 10.0» (StatSoft, США) с помощью непараметрических методов, оценка достоверного уровня различий между экспериментальными группами по U-критерию Манна-Уитни. Достоверными показателями считаются показатели меньше $p < 0,05$.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Изменение процентного соотношения белая/красная пульпа у крыс при введении пробиотика на фоне дисбиоза

При анализе процентного соотношения белой и красной пульпы в селезенке крыс были выявлены некоторые изменения. Так на гистологических срезах селезенки крыс второй группы, подвергнутых введению пробиотика (ПБ) наблюдается увеличение белой пульпы до 69 % ($p < 0,05$), и уменьшение объема красной пульпы до 31 % ($p < 0,05$), что на 19 % отклоняется от данных контрольной группы (рис. 1, 2). Известно, что пробиотики обладают иммуностимулирующими свойствами и могут активировать иммунные клетки, такие как макрофаги и дендритные клетки, в селезенке. Это приводит к пролиферации лимфоцитов и увеличению белой пульпы [12]. Кроме того, пробиотики могут модулировать иммунный ответ, способствуя развитию толерантности и подавляя воспалительные реакции [13]. Это может привести к уменьшению относительного объема красной пульпы, которая в основном состоит из макрофагов, участвующих в фагоцитозе и воспалении (рис. 1).

У крыс третьей группы (АБ) также отмечается увеличение объема белой пульпы до 63 % ($p < 0,05$), и соответственно уменьшение объема красной пульпы до 37 % ($p < 0,05$), что на 13 % отклоняется от значений в контрольной группе животных (рис. 1, 2).

Как правило антибиотики ингибируют рост и размножение бактерий, что приводит к уменьшению лимфоцитарной реакции и, следовательно, к уменьшению белой пульпы в селезенке, но в наших исследованиях отмечено увеличение ее объема относительно красной пульпы, что может свидетельствовать о воспалительной реакции или иммунном ответе на инфекцию или повреждение, вызванные антибиотиками. Это может быть связано с активацией иммунных клеток в ответ на изменения в микробиоте или прямое токсическое действие антибиотиков.

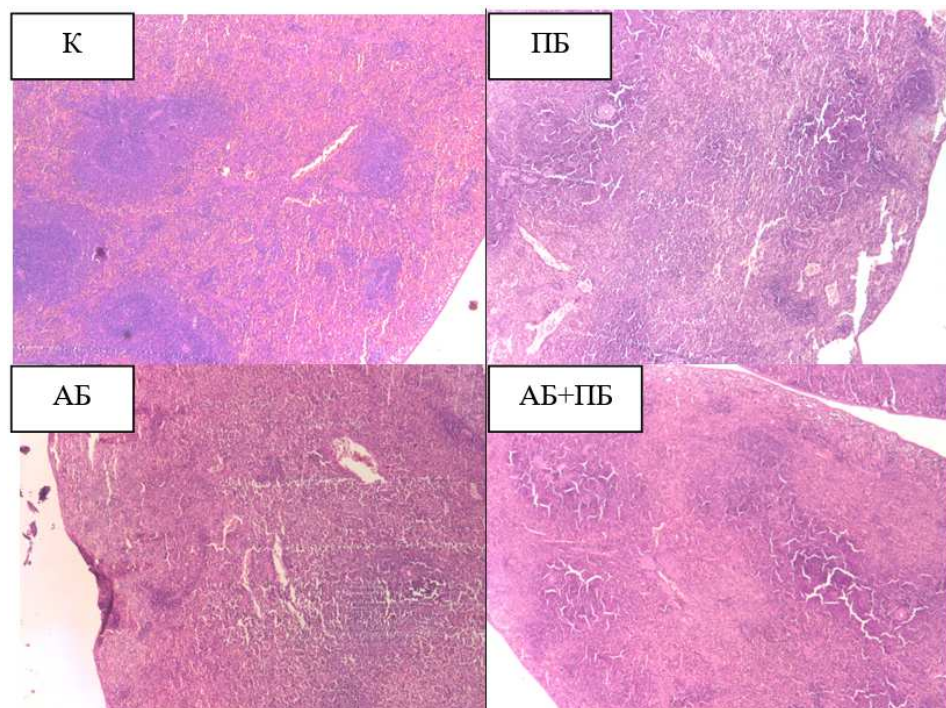


Рис. 1. Гистологические срезы селезенки крыс в контроле (К), при изолированном и комбинированном введении пробиотика (ПБ) и антибиотика (АБ) (ув. х5).

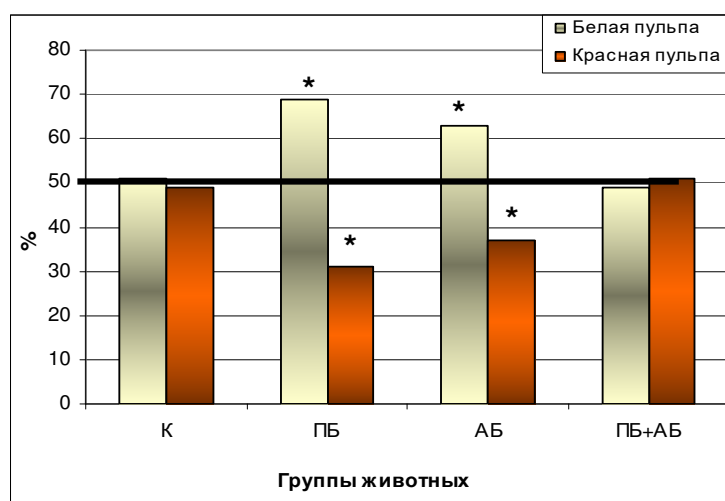


Рис. 2. Процентные соотношения белой и красной пульпы селезенки в исследуемых группах животных.

Примечание: достоверность различий относительно контрольной группы * – $p < 0,05$

У крыс четвертой группы (ПБ+АБ) на гистосрезах селезенки достоверно значимых изменений не обнаружено, данные процентного соотношения белой и красной пульпы практически совпадают со значениями контрольной группы (рис. 1, 2).

Таким образом, стабилизация объема белой пульпы при введении пробиотиков на фоне дисбиоза может свидетельствовать о нескольких важных аспектах. Пробиотики могут помогать уменьшать отрицательные эффекты антибиотиков на иммунную систему и микробиоту. Это проявляется в стабилизации или увеличении объема белой пульпы, что указывает на восстановление или поддержание нормальной иммунной функции. Кроме того, пробиотики могут способствовать восстановлению нормального состава кишечной микробиоты после антибиотикотерапии. Это может отражаться на структуре селезенки, включая улучшение соотношения красной и белой пульпы, и свидетельствует о восстановлении общего состояния здоровья и иммунной функции.

Комбинированное введение пробиотиков и антибиотиков может снижать воспалительные процессы, вызванные дисбиозом и прямым воздействием антибиотиков. Уменьшение воспаления может проявляться в уменьшении гиперплазии белой пульпы и стабилизации объема красной пульпы. Также можно предположить, что пробиотики способствуют поддержанию гомеостаза иммунной системы и предотвращению чрезмерных иммунных реакций, вызванных антибиотиками. Это может проявляться в нормализации соотношения красной и белой пульпы селезенки.

В целом, изменения соотношения красной и белой пульпы селезенки при комбинированном введении антибиотиков и пробиотиков могут свидетельствовать о восстановлении и поддержании иммунного и гематологического гомеостаза, уменьшении негативных эффектов дисбиоза и улучшении общего состояния организма.

Изменение структур лимфоузлов селезенки крыс при введении пробиотика на фоне дисбиоза

При анализе различных областей ЛУ селезенки крыс под воздействием пробиотика, антибиотика и их комбинации выявили значимые изменения в сравнении с показателями интактных животных.

У крыс второй группы ПБ отмечается увеличение площади маргинальной (на 66,7 %; $p < 0,05$), мантийной (на 29,4 %; $p < 0,05$) и периартериальной (на 120,8 %; $p < 0,05$) зон лимфоузлов селезенки по сравнению с данными контрольной группы. Это может свидетельствовать о стимуляции иммунной активности пробиотиком, усилении функции Т-лимфоцитов, которые концентрируются в периартериальной зоне (рис. 3, 4). Увеличение площади герминативного центра на 17,9 % указывает на активацию В-лимфоцитов и улучшение гуморального иммунитета.

У животных третьей группы (АБ) на фоне дисбиоза отмечается незначительное увеличение площадей маргинальной (на 11,1 %) и мантийной (на 11,8 %) зон, снижение площади герминативного центра на 45,1 % ($p < 0,05$) в сравнении с контролем, что отражает угнетение иммунной функции. Площадь периартериальной зоны лимфоузлов селезенки увеличивается на 66,7 % ($p < 0,05$) по сравнению с

показателями крыс первой группы (К), что является компенсаторной реакцией на иммунный стресс (рис. 3, 4).

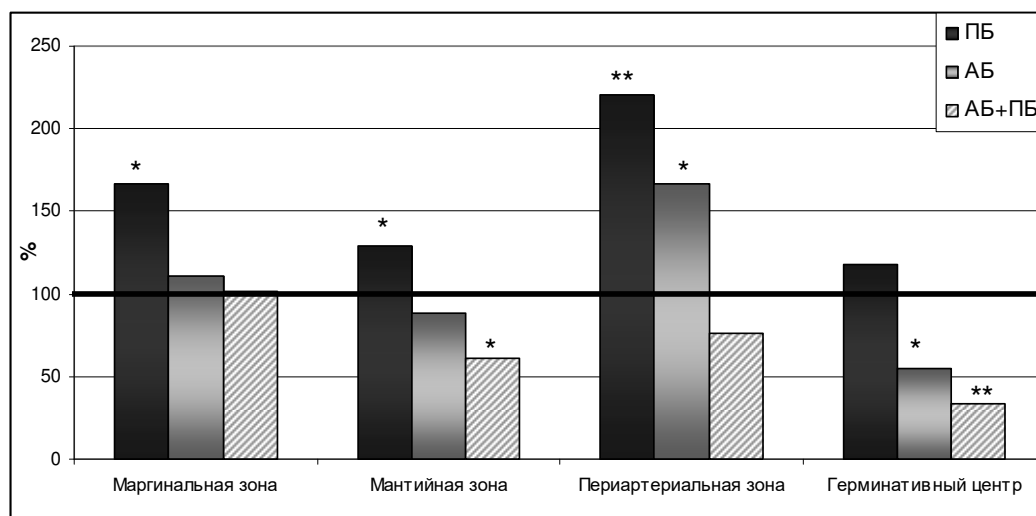


Рис. 3. Изменение площади различных областей ЛУ селезенки у крыс при введении пробиотика, антибиотика и их комбинации относительно данных контрольной группы.

Примечание: достоверность различий относительно контрольной группы * – $p < 0,05$; ** – $p < 0,01$.

У крыс четвертой группы (ПБ+АБ) площадь маргинальной зоны существенно не изменилась по сравнению с таковыми показателями в контроле, что указывает на ослабленный эффект пробиотика в присутствии антибиотика. Вместе с тем, уменьшение на 39,1 % по сравнению с контролем площади мантийной зоны свидетельствует о компенсирующем разрушительном воздействии антибиотика на эту зону. Площадь периартериальной зоны уменьшается на 24,1 % относительно данных интактных животных (рис. 3, 4), вследствие подавления иммунных процессов при комбинированном воздействии антибиотика и пробиотика. Площадь герминативного центра лимфоузлов селезенки снижается ещё сильнее (на 66,8 % ($p < 0,01$)), что указывает на серьёзное подавление активности В-лимфоцитов, несмотря на наличие пробиотика.

Таким образом, введение пробиотика вызывало у крыс увеличение площади всех зон лимфоузлов селезенки, что свидетельствует о его иммуностимулирующем эффекте. Наиболее заметное влияние наблюдается в периартериальной и маргинальной зонах. Введение антибиотика оказывало угнетающее воздействие на мантийную зону и герминативный центр, что указывает на снижение В-клеточной и общей иммунной активности. При этом в периартериальной зоне наблюдается относительное увеличение площади как компенсаторный механизм. При введении пробиотика на фоне дисбиоза показано, что пробиотик не компенсирует полностью негативное влияние антибиотика, особенно в мантийной зоне и герминативном

центре, что указывает на ограниченную способность пробиотиков защищать иммунную систему в условиях дисбиоза.

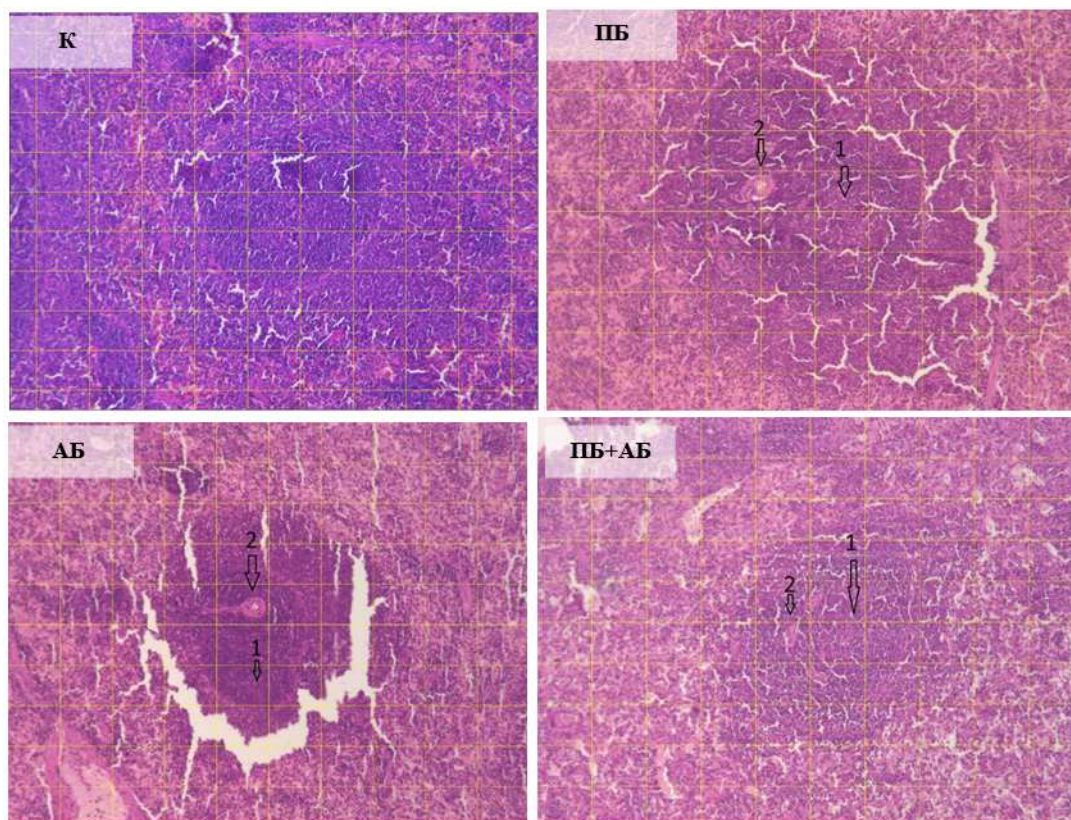


Рис. 4. Гистологические срезы селезенки крыс в контроле (К), при изолированном и комбинированном введении пробиотика (ПБ) и антибиотика (АБ) (ув. x10).

Эти данные подчёркивают как стимулирующий эффект пробиотиков на иммунную систему, так и разрушительное воздействие антибиотиков, особенно на гуморальный иммунитет.

Известно, что пробиотики стимулируют активацию и пролиферацию лимфоцитов, включая Т-клетки, В-клетки и естественные клетки-киллеры, что приводит к увеличению их популяции в лимфоузлах селезенки [14]. Кроме того, пробиотики модулируют иммунную систему, индуцируя выработку лимфокинов, таких как интерлейкины и интерфероны, которые способствуют дифференцировке и активации лимфоцитов в лимфоузлах селезенки. Также пробиотики могут снижать апоптоз лимфоцитов в лимфоузлах селезенки, что и приводит к увеличению популяции лимфоцитов и усилению иммунного ответа [15]. В некоторых случаях пробиотики могут стимулировать образование новых лимфоузлов в селезенке, что приводит к увеличению общей площади лимфоидной ткани.

Тогда как введение антибиотика приводит к подавлению роста бактерий, соответственно стимуляция В-клеток в герминативных центрах снижается [16]. В отсутствие антигенной стимуляции В-клетки в герминативных центрах подвергаются апоптозу, что и приводит к сокращению площади герминативного центра. В ответ на уменьшение герминативных центров ткань селезенки перестраивается, это включает увеличение площади лимфоцитарных зон и уменьшение площади герминативных центров.

Изучение влияния пробиотиков на иммунную систему в условиях дисбиоза является актуальной и перспективной областью исследований. Это направление имеет потенциал не только для расширения фундаментальных знаний о взаимодействии микробиоты и иммунной системы, но и для разработки новых терапевтических стратегий и улучшения клинической практики. Понимание влияния пробиотиков на иммунную систему может привести к разработке новых методов лечения и профилактики заболеваний, связанных с дисфункцией иммунной системы. Результаты таких исследований могут быть использованы для улучшения схем терапии при инфекционных заболеваниях, воспалительных состояниях и иммунных нарушениях.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Проведен анализ морфометрических показателей селезенки крыс при введении пробиотика «Пробиовит» в условиях моделирования дисбиоза.
2. При анализе процентного соотношения белой и красной пульпы в селезенке крыс были выявлены некоторые изменения. На гистосрезках селезенки крыс группы пробиотик наблюдается увеличение белой пульпы до 69 % ($p < 0,05$), и уменьшение объема красной пульпы до 31 % ($p < 0,05$), что на 19% отклоняется от данных контрольной группы. У крыс группы антибиотик также отмечается увеличение объема белой пульпы до 63 % ($p < 0,05$) и уменьшение объема красной пульпы до 37 % ($p < 0,05$), что на 13 % отклоняется от значений в контрольной группе животных. В группе комбинация достоверных изменений не обнаружено.
3. При изучении на гистологических препаратах различных областей лимфатических узлов селезенки выявлено, что в группе пробиотик достоверно увеличиваются площади маргинальной зоны на 66 % ($p < 0,05$), мантийной зоны на 30 % ($p < 0,05$) и периартериальной зоны на 120,8 % ($p < 0,01$) относительно данных контрольной группы животных. В группе животных антибиотик отмечено увеличение площади периартериальной зоны на 67 % ($p < 0,05$) и уменьшение площади герминативного центра лимфатического узла селезенки на 45,1 % ($p < 0,05$). В группе животных комбинация отмечено уменьшение площади мантийной зоны на 39,1 % ($p < 0,05$) и герминативного центра лимфатического узла селезенки на 66,8 % ($p < 0,01$) относительно данных контрольной группы.

Список литературы

1. Боровкова Е. А. Изучение биологических свойств и пробиотического потенциала кишечных лактобацилл / Е. А. Боровкова, Е. В. Алиева, Т. В. Фролова // Acta Biomedica Scientifica. – 2019. – №1. – С. 124–132.
2. Яруллина Д. Р. Бактерии рода *Lactobacillus*: общая характеристика и методы работы с ними: Учебно-методическое пособие / Д. Р. Яруллина, Р. Ф. Фахруллин. // Казанский университет. – 2014. – 51 с.
3. Kihl P. Effect of gluten-free diet and antibiotics on murine gut microbiota and immune response to tetanus vaccination. / P. Kihl [et al.] // Public Library of Science One. – 2022. – № 17(4). – P. 1–21.
4. Nyangahu D. D. Antibiotic Treatment during Gestation Enhances Susceptibility to Mycobacterium tuberculosis in Offspring. / D. D. Nyangahu [et al.] // Microbiology Spectrum. – 2022. – № 10(6) – P. 1–11.
5. Заславская М. И. Перспективы использования бактериоцинов нормальной микрофлоры в антибактериальной терапии (обзор) / М. И. Заславская и др. // Современные технологии медицины. – 2019. – №3. – С. 136–144.
6. Козлов Р. С. Место доксицилина в современной клинической практике / Р. С. Козлов, А. В. Голуб // Журнал МС. – 2014. – №9. – С. 118–124.
7. Костюкевич О. И. Современные представления о микробиоценозе кишечника. Дисбактериоз и его коррекция / О. И. Костюкевич // Русский медицинский журнал. – 2007. – № 28, 2176. – С. 1.
8. Ouwehand A. In vitro adhesion of propionic acid bacteria to human intestinal mucus. / A. Ouwehand [et al.] // Dairy Science & Technology. – 2002. – №82 (1) – P. 123–130.
9. Aniagyei W. Doxycycline Treatment of Mansonella perstans-infected Individuals Affects Immune Cell Activation and Causes Long-term T-cell Polarization. / W. Aniagyei [et al.] // Clinical Infectious Diseases. – 2023. – № 76 (3). – P. 1399–1407.
10. Руководство по экспериментальному (доклиническому) изучению новых фармакологических веществ / Под общей ред. член-корр. РАМН, проф. Р.У. Хабриева. – 2-изд., перераб. и доп. – М.: ОАО «Издательство «Медицина», 2005. – 832 с.
11. Мустафина Л. Р. Частный курс гистологии: учебное пособие: в 2 частях / Л. Р. Мустафина, А. В. Герасимов, А. В. Потапов [и др.]. – Томск: СибГМУ, 2022. – 169 с.
12. Ермоленко Е. И. Иммуномодулирующее действие пробиотических бактерий при заболеваниях желудочно-кишечного тракта / Ермоленко Е. И. // Вестник Санкт-Петербургского университета. – 2014. – Сер. 11, Вып. 4. – С. 5–17
13. de Kivit S. Regulation of intestinal immune responses through TLR activation: implications for pro- and prebiotics. / de Kivit S., Tobin M. C., Forsyth C. B., Keshavarzian A., Landay A. L. // Front Immunol. – 2014. – 5. – P. 60.
14. Топол И. А. Роль кишечной микрофлоры в регуляции иммунных реакций в иммунной системе кишечника в условиях стресса и при модуляции её состава путём введения антибиотиков и пробиотиков. / Топол И. А., Полякова И. С., Елькова А. В. // Журнал микробиологии, эпидемиологии и иммунобиологии. – 2022. – 99(6) – P. 722–733. DOI: https://doi.org/10.36233/0372-9311-270_
15. Wagner R. D. Probiotic bacteria prevent – induced suppression of lymphoproliferation in mice by an immunomodulatory mechanism. / Wagner R. D., Johnson S. J. // BMC Microbiol. – 2017. – Mar 29 – 17(1) – P. 77. doi: 10.1186/s12866-017-0990-x
16. Ali M. S. Modulating effects of heat-killed and live *Limosilactobacillus reuteri* PSC102 on the immune response and gut microbiota of cyclophosphamide-treated rats. / Ali M. S., Lee E. B., Quah Y., Sayem S. A. J., Abbas M. A., Suk K., Lee S. J., Park S. C., Vet Q. // 2024. – 44(1). – P. 1–18. doi: 10.1080/01652176.2024.2344765

**CHANGES IN MORPHOMETRIC PARAMETERS OF RAT SPLEEN UPON
ADMINISTRATION OF PROBIOTIC «PROBIVIT» UNDER DYSBIOSIS
CONDITIONS**

*Yarmolyuk N. S., Dzheldubaeva E. R., Rzhetskaya V. S., Tumanyants K. N.,
Aedinova D. Z., Kovalchuk I. O.*

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

Most of the currently available research focuses on the metabolic properties of probiotics, while their immunomodulatory effects are still relatively poorly understood. In addition, one of the most frequent causes of disorders is exposure to antibacterial drugs. The aim of the work was to reveal changes in hematologic blood parameters and morphometric indices of the spleen in rats upon administration of probiotic “Probiovit” in the model of dysbiosis.

The experiments were performed on white sexually mature female rats of the Wistar line (n = 40), weighing 220–240 g with average motor activity and low emotionality, determined in the “open field” test. Four experimental groups were allocated, which were intragastrically administered 1 % probiotic solution (3 ml each) and broad-spectrum antibiotic doxycycline at a dose of 5 mg/kg for 14 days. The reliable level of differences between the experimental groups was assessed using Mann's U-criterion.

The results of the study showed that when probiotic was administered against the background of dysbiosis, there was an increase in the number of leukocytes due to the fact that antibiotics can disrupt the balance of intestinal microbiota, which can “weaken” the immune system. Whereas probiotics help restore a healthy microbiota, which in turn can strengthen the immune system by increasing its activation, leading to increased production of white blood cells including lymphocytes, monocytes and granulocytes.

Probiotics may help reduce the negative effects of antibiotics on the immune system and microbiota. Which may be reflected in the structure of the spleen, including improvement in the ratio of red to white pulp, indicating restoration of overall health and immune function.

The study of the effect of probiotics on the immune system in conditions of dysbiosis is an urgent and promising area of research. This area has the potential not only to expand fundamental knowledge about the interaction between the microbiota and the immune system, but also to develop new therapeutic strategies and improve clinical practice. Understanding the effects of probiotics on the immune system may lead to the development of novel therapies for the treatment and prevention of diseases associated with immune system dysfunction. The results of such studies can be used to improve therapeutic regimens for infectious diseases, inflammatory conditions and immune disorders.

Keywords: probiotic “Probiovit”, dysbiosis model, antibiotic, spleen.

References

1. Borovkova E. A., Alieva E. V., Frolova T. V. Study of biological properties and probiotic potential of intestinal lactobacilli, *Acta Biomedica Scientifica*, **1**, 124 (2019).
2. Yarullina D. R., Fakhrullin R. F. Bacteria of the genus Lactobacillus: general characterization and methods of work with them: Educational and methodological manual, 51 (Kazan University, 2014).
3. Kihl P. [et al.] Effect of gluten-free diet and antibiotics on murine gut microbiota and immune response to tetanus vaccination, *Public Library of Science One*, **17(4)**, 1 (2022).
4. Nyangahu D. D. [et al.] Antibiotic Treatment during Gestation Enhances Susceptibility to Mycobacterium tuberculosis in Offspring, *Microbiology Spectrum*, **10(6)**, 1 (2022).
5. Zaslavskaya M. I. et al. Prospects for the use of bacteriocins of normal microbiota in antibacterial therapy (review), *Modern Technologies of Medicine*, **3**, 136 (2019).
6. Kozlov R. S., Golub A. V. Place doxycycline in modern clinical practice, *Journal of MS*, **9**, 118 (2014).
7. Kostyukovich O. I. Modern ideas about the intestinal microbiocenosis. Dysbacteriosis and its correction, *Russian Medical Journal*, **28**, 2176, 1 (2007).
8. Ouwehand A. [et al.] In vitro adhesion of propionic acid bacteria to human intestinal mucus. / A. Ouwehand, *Dairy Science & Technology*, **82(1)**, 123 (2002).
9. Aniagyei W. [et al.] Doxycycline Treatment of Mansonella perstans-infected Individuals Affects Immune Cell Activation and Causes Long-term T-cell Polarization, *Clinical Infectious Disorders.*, **76(3)**, 1399 (2023).
10. *Manual on experimental (preclinical) study of new pharmacological substances*, Under the general editorship of Corresponding Member of RAMS, Professor R.U. Khabriev. – 2nd edition, revised and supplemented, 832 (Moscow: JSC ‘Izdatelstvo ‘Medicine’, 2005).
11. Mustafina L. R., Gerasimov A. V., Potapov A. V. [et al]. Private course of histology: textbook: in 2 parts, 169 p. (Tomsk: SibGMU, 2022).
12. Ermolenko E. I. Immunomodulatory effect of probiotic bacteria in diseases of the gastrointestinal tract // *Bulletin of St. Petersburg University*, **11, 4**, 5 (2014).
13. de Kivit S., Tobin M. C., Forsyth C. B., Keshavarzian A., Landay A. L. Regulation of intestinal immune responses through TLR activation: implications for pro- and prebiotics. *Front Immunol.*, **5**, 60 (2014).
14. Topol I. A., Polyakova I. S., Elykova A. V. Role of intestinal microbiota in the regulation of immune reactions in the intestinal immune system under stress conditions and at modulation of its composition by introduction of antibiotics and probiotics. *Journal of Microbiology, Epidemiology and Immunobiology*, **99(6)**, 722 (2022) DOI: https://doi.org/10.36233/0372-9311-270_
15. Wagner R. D., Johnson S. J. Probiotic bacteria prevent – induced suppression of lymphoproliferation in mice by an immunomodulatory mechanism, *BMC Microbiol.*, **17(1)**, 77 (2017) doi: 10.1186/s12866-017-0990-x
16. Ali M. S., Lee E. B., Quah Y., Sayem S. A. J, Abbas M. A., Suk K., Lee S. J., Park S. C., Vet Q. Modulating effects of heat-killed and live *Limosilactobacillus reuteri* PSC102 on the immune response and gut microbiota of cyclophosphamide-treated rats, **44(1)**, 1 (2024) doi: 10.1080/01652176.2024.2344765

Ученые записки Крымского федерального университета имени В. И. Вернадского
Биология. Химия. Том 10 (76). 2024. № 4. С. 251–258.

УДК 544.478.1

DOI 10.29039/2413-1725-2024-10-4-251-258

СПОСОБЫ РЕГУЛИРОВАНИЯ СОРБЦИОННЫХ И ФОТОКАТАЛИТИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ДИОКСИДА ТИТАНА

Вяткина О. В.¹, Милюкова О. А.¹, Копылец Т. А.²

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

²*ФГАОУ ВО «Казанский (Приволжский) федеральный университет», Казань, Россия
E-mail: oksana_yyatkina@list.ru*

В статье приведены результаты изучения адсорбционной способности и фотокаталитической активности материалов на основе диоксида титана, модифицированного такими способами как: допирование, ультразвуковое диспергирование, термообработка. В качестве допирующего элемента выбрано железо, допирование проводилось методом расплавленных солей. Свойства материалов изучали на примере адсорбции и фотодеградации красителя метилового оранжевого. Показано, что термообработка улучшает сорбционные свойства диоксида титана независимо от внедрения примесного элемента. Обнаружено уменьшение среднего размера частиц TiO_2 при прокаливании и диспергировании ультразвуком, а также укрупнение частиц со временем вследствие коагуляции. Установлено усиление фотокаталитической активности диоксида титана в УФ-области и на дневном свету после допирования, с ее последующим ослаблением при воздействии длинноволнового УФ-излучения ($\lambda=365$ нм) при дополнительном ультразвуковом диспергировании.

Ключевые слова: адсорбция, диоксид титана, допирование, фотокатализ.

ВВЕДЕНИЕ

Благодаря своей относительно высокой каталитической способности, физической и химической стабильности и дешевизне диоксид титана (TiO_2) находит широкое применение в качестве фотокатализатора для фотодеградации многих органических загрязнителей окружающей среды [1]. Диоксид титана является широкозонным полупроводником: ширины запрещенной зоны рутила, анатаза и брукита оцениваются равными $\approx 3,00$, $3,21$ и $3,13$ эВ при комнатной температуре, соответственно [1]. По этой причине для эффективного воздействия на загрязнители необходимо облучать фотокатализатор ультрафиолетовым светом. Солнечный свет в зависимости от погодных условий содержит до 7 % УФ-волн, поэтому его невозможно напрямую использовать для эффективной активации TiO_2 . В течение

долгого времени большое внимание уделяется регулированию физико-химических свойств диоксида титана, в том числе смещению диапазона поглощения в область видимого света, а, следовательно, увеличению возможностей использования этого соединения для решения экологических проблем. Поэтому целью работы было изучение возможностей регулирования физико-химических свойств диоксида титана.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Объектом исследования являлся диоксид титана (марка R-216, Китай) (образец I). Для проведения допирования был выбран метод расплавленных солей [2]. Были получены образцы для изучения влияния допирования ионами железа на фотокаталитическую активность TiO_2 . Навески по 5 г TiO_2 перемешивали и растирали с предварительно растворенным в 1-2 каплях дистиллированной воды $FeCl_3 \cdot 6H_2O$ (из расчета 0,5 масс. % Fe в образце TiO_2), затем прокачивали в течение 1 часа при 700 °С в муфельной печи ПЛ-10/12,5 (образец II). Часть полученного материала была диспергирована в ультразвуковой ванне CODYSON CDS-300 с водой в качестве дисперсионной среды и высушена в сушильном шкафу в течение 1 часа при температуре до 240 °С (образец III). Для изучения влияния термообработки на физико-химические свойства TiO_2 и исключения этого фактора при анализе эффекта допирования было проведено прокачивание исходного TiO_2 в течение 1 часа при 700 °С в муфельной печи без добавления допирующего агента (образец IV). Характеристика образцов сведена в табл. 1.

Таблица 1

Характеристика образцов диоксида титана

Образец TiO_2	Время прокачивания	Содержание железа	Ультразвуковая обработка
I	–	–	–
II	1 ч	0,5 масс. %	–
III	1 ч	0,5 масс. %	1 час
IV	1 ч	–	–

Образцы I–IV исследовали методами ИК-спектроскопии (ИК-спектрометр Perkin Elmer Spectrum Two), УФ-спектроскопии (спектрофотометр Cintra 4040), размер частиц и фракционный состав определяли на лазерном дифракционном анализаторе гранулометрического состава Fritsch Analysette 22 MicroTec plus при диспергировании в воде.

Фотокаталитическую активность полученных материалов определяли по степени деградации красителя метилового оранжевого (МО) под действием солнечного света, а также излучения УФ-лампы VL-215.LC ($\lambda=254$ нм; 365 нм). Степень фотодegradации контролировали по изменению концентрации МО в системах фотоколориметрическим методом на фотометре «Эксперт-003» ($\lambda=525$ нм,

$l=10$ мм). В 20 мл исходного раствора МО с концентрацией 60 мг/л ($1,8 \cdot 10^{-4}$ моль/л) вносили 0,5 г фотокатализатора, суспендировали и оставляли под источником излучения на 1–2 ч. После центрифугирования (20 мин, 8000 об./мин) и фильтрования измеряли оптическую плотность конечного раствора. Фотокаталитическую деградацию красителя D (%) вычисляли по формуле (1):

$$D = \Delta C / C_0 \cdot 100\% - A \quad (1)$$

где: ΔC – изменение концентрации красителя, моль/л, C_0 – начальная концентрация красителя, моль/л; A – степень адсорбции красителя, %.

Для определения степени адсорбции систему из раствора МО и исследуемого образца фотокатализатора, описанную выше, оставляли без доступа видимого света на 1 ч. После центрифугирования и фильтрования определяли оптическую плотность раствора. Концентрацию красителя вычисляли по калибровочной кривой. Степень адсорбции A (%) вычисляли по формуле (2):

$$A = \Delta C / C_0 \cdot 100\% \quad (2)$$

где: ΔC – изменение концентрации красителя, моль/л, C_0 – начальная концентрация красителя, моль/л.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Структура образцов I, II, IV, а также наличие примесей в исходном TiO_2 исследовались методом ИК-спектроскопии. Расшифровка основных полос поглощения в спектрах образцов представлена в виде табл. 2.

Таблица 2

Характеристические полосы ИК-спектров исследуемых образцов TiO_2

Колебания связей	Характеристические частоты	Образец I	Образец II	Образец IV
$\nu(OH)$	3600...3000 cm^{-1}	+	–	–
$\nu(C=O)$	1444 cm^{-1}	+	–	–
$\nu(Ti-O)$	1018 cm^{-1}	+	+	+
$\delta(OCO)$	885 cm^{-1}	+	–	–
$\nu(Ti-O-Ti)$ в TiO_6	800...400 cm^{-1}	+	+	+

На ИК-спектре образца I обнаружены максимумы поглощения 1444 cm^{-1} и 885 cm^{-1} , которые могут быть обусловлены существованием карбонатов титана на поверхности частиц: валентными колебаниями $\nu(C=O)$ и деформационными $\delta(OCO)$ соответственно [3]. Максимум поглощения 1018 cm^{-1} соответствует колебаниям концевых связей $Ti-O$. Интенсивная полоса поглощения в диапазоне 800...400 cm^{-1} обусловлена колебаниями мостиковых связей $Ti-O-Ti$ октаэдра TiO_6 [4].

После допирования из диоксида титана были, предположительно, удалены примеси карбонатов титана, так как на ИК-спектре исчезли полосы поглощения с максимумами 1444 см^{-1} и 885 см^{-1} , также исчезла широкая полоса в области $3600\text{--}3000\text{ см}^{-1}$, характерная для колебаний $\nu(\text{OH})$ воды. Кроме того, ИК-спектр диоксида титана, прокаленного при той же температуре в течение того же времени, но без добавления соли железа, совпадает с ИК-спектром допированного образца. Следовательно, изменения в ИК-спектре при допировании связаны с удалением примесей и обусловлены прокаливанием.

Основная полоса поглощения в диапазоне $1016\text{--}400\text{ см}^{-1}$ не была смещена и не характеризовалась появлением новых максимумов, следовательно, судить об изменениях в кристаллической решетке TiO_2 по данным ИК-спектроскопии мы не можем. Поэтому для подтверждения факта допирования ионами железа образцы исследовали методом УФ-спектроскопии.

УФ-спектроскопией исходного TiO_2 обнаружено ожидаемое поглощение в УФ-области с максимумом 340 нм . Допированные образцы характеризуются появлением слабого поглощения в видимой области с локальным максимумом около 490 нм , максимум в 340 нм не смещен относительно исходного диоксида титана (Рис. 1).

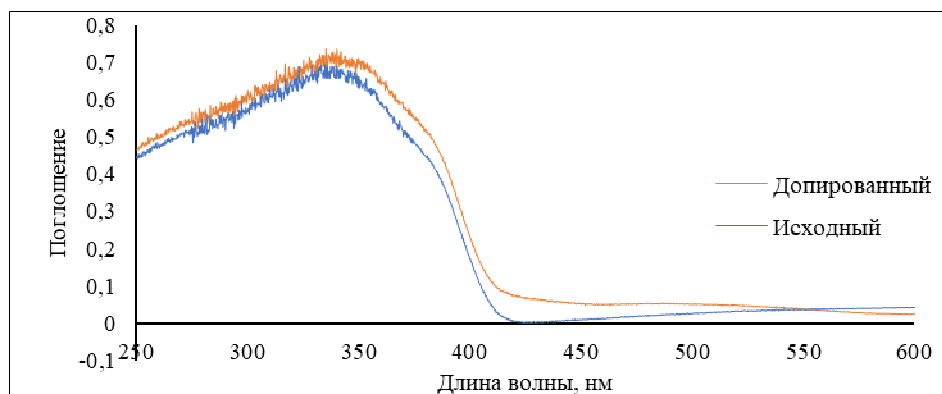


Рис. 1. УФ-вид-спектр образца I и образца II.

УФ-спектроскопия показала, что ультразвуковое диспергирование допированного TiO_2 не приводит к смещению полосы поглощения относительно недиспергированного образца (образцы II и III). Смещение полос также не происходит при прокаливании исходного диоксида титана при $700\text{ }^\circ\text{C}$ в течение 1 ч, что коррелирует с отсутствием у образцов I и IV фотокаталитической активности на видимом свете.

Лазерный дифракционный анализ показал изменение фракционного состава и увеличение массовой доли частиц большего радиуса с течением времени, что обусловлено коагуляцией первичных частиц в жидкой дисперсионной среде (Рис. 2). Данное явление должно оказывать влияние на кинетику процессов, происходящих на поверхности частиц, что необходимо учитывать в будущих исследованиях.

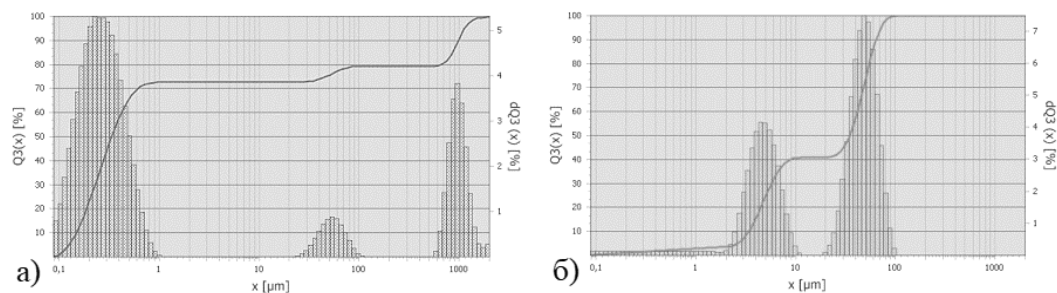


Рис. 2. Интегральное ($Q_3(x)$) и дифференциальное ($dQ_3(x)$) распределение частиц TiO_2 по радиусам: а) через 1 мин, б) через 4 мин.

Результаты лазерного дифракционного анализа представлены в табл. 3. Следует отметить, что после ультразвуковой обработки (образец III) часть частиц имела значения размеров ниже предела обнаружения лазерного дифракционного анализатора, то есть менее 80 нм.

Таблица 3

Фракционный состав образцов TiO_2

Образец	Средний радиус фракции, мкм	Массовая доля фракции, %
I	0,31	100
II	0,23	71,67
	48,69	28,33
III	0,13	84,25
	59,40	15,75
IV	0,23	96,73
	59,40	3,27

Для определения адсорбционной способности образцов была исследована степень обесцвечивания раствора МО при выдерживании с исследуемым материалом в темноте в течение часа. Данные по исследованию всех образцов сведены в табл. 4.

Таблица 4

Сравнение адсорбционных свойств образцов

Образец TiO_2		Степень адсорбции, %
I	Исходный	$1,2 \pm 0,7$
II	Прокаленный с 0,5 % Fe при $700^\circ C$	38 ± 1
III	Диспергированный образец II	38 ± 2
IV	Прокаленный при $700^\circ C$	39 ± 2

Эксперимент показал, что прокаливание диоксида титана при 700 °С, независимо от внедрения примеси, улучшает адсорбционные свойства материала, а значимые различия по данному параметру между образцами II–IV отсутствуют.

Для определения фотокаталитической активности образцов была исследована степень фотодеградациии МО при воздействии в течение 1 ч и 2 ч следующих видов излучения: естественного солнечного света, УФ-излучения с длиной волны 254 нм и 365 нм. Из общего значения обесцвечивания раствора был вычтен вклад адсорбции красителя на частицах TiO₂. При этом в течение первого часа воздействия солнечного света обесцвечивание раствора МО происходит за счет адсорбции красителя на частицах катализатора, а степень фотодеградациии не может быть определена. Данные по исследованию всех образцов сведены в табл. 5.

Таблица 5

Сравнение фотокаталитической активности образцов

Образец TiO ₂		Степень фотодеградациии МО, %				
		Дневной свет (2 ч)	254 нм (1 ч)	254 нм (2 ч)	365 нм (1 ч)	365 нм (2 ч)
I	Исходный	4 ± 1	3 ± 1	5 ± 2	8 ± 2	11 ± 2
II	Прокаленный с 0,5% Fe при 700°С	11 ± 3	31 ± 2	36 ± 1	14 ± 1	20 ± 3
III	Диспергированный образец II	9 ± 2	32 ± 2	35 ± 2	5 ± 2	11 ± 3
IV	Прокаленный при 700°С	–	11 ± 2	12 ± 2	6 ± 2	7 ± 2

Исследование показало, что исходный диоксид титана (образец I) малоэффективен как фотокатализатор. Прокаленный без добавления соли железа диоксид титана (образец IV) не обладает фотокаталитической активностью на дневном свете. Под действием на данный образец УФ-излучения, в случае обоих длин волн, степень фотодеградациии не изменилась от одного к двум часам облучения.

Допированные образцы II и III по сравнению с недопированными образцами проявляют большую фотокаталитическую активность, в том числе при воздействии дневного света в течение двух часов. При этом ультразвуковое диспергирование допированного материала не влияет на способность к фотокатализу при действии коротковолнового УФ-излучения ($\lambda=254$ нм), но ухудшает фотоактивность при

работе в более длинноволновой области ($\lambda=365$ нм), в том числе на солнечном свете. В дальнейших исследованиях целесообразно подробнее изучить влияние диспергирования на свойства материала, варьируя его продолжительность и прочие условия проведения.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Показано, что прокаливание диоксида титана при $700\text{ }^{\circ}\text{C}$ с допирующим агентом, содержащим Fe^{3+} , приводит к такому же повышению сорбционных свойств материала, что и прокаливание при этой температуре без добавления примесей. Таким образом, при использовании допированного данным методом диоксида титана более эффективная очистка воды от органического красителя происходит именно за счет фотокаталитического процесса.
2. Обнаружено уменьшение среднего размера частиц TiO_2 при прокаливании и диспергировании ультразвуком. Также обнаружено укрупнение частиц со временем вследствие коагуляции.
3. Установлено усиление фотокаталитической активности диоксида титана в УФ-области, а также на дневном солнечном свете после допирования.
4. Выявлено негативное влияние продолжительного (1 час) ультразвукового диспергирования на фотокаталитическую активность допированного диоксида титана в длинноволновом УФ-диапазоне ($\lambda=365$ нм).

Список литературы

1. Armaković, S. J. Titanium Dioxide as the Most Used Photocatalyst for Water Purification: An Overview / S. J. Armaković, M. M. Savanović, S. Armaković // Catalysts – 2023. – Vol. 13 (1), № 26. – P. 1–29.
2. Ghorbanpour, M. Iron-doped TiO_2 Catalysts with Photocatalytic Activity / M. Ghorbanpour, A. Feizi // J. Water Environ. Nanotechnol. – 2019. – Vol. 4, № 1. – P. 60–66.
3. Физические методы исследования: колебательная спектроскопия. Учебное пособие/ Н. Н. Буков [и др.]. – Краснодар: Кубанский гос.ун-т, 2008. – 47 с.
4. Qu, Z.-W. Theoretical Study of the Electronic Structure and Stability of Titanium Dioxide Clusters $(\text{TiO}_2)_n$ with $n = 1-9$ / Z.-W. Qu, G.-J. Kroes // J. Phys. Chem. B. – 2006. – Vol. 110, № 18. – P. 8998–9007.

METHODS FOR REGULATING THE PHYSICO-CHEMICAL PROPERTIES OF TITANIUM DIOXIDE

Vyatkina O. V.¹, Milyukova O. A.¹, Kopylets T. A.²

¹*V.I. Vernadsky Crimean Federal University, Simferopol, Crimea, Russian Federation*

²*Kazan (Volga region) Federal University, Kazan, Russian Federation*

E-mail: oksana_vyatkina@list.ru

The article presents the results of the study of the adsorption ability and photocatalytic activity of materials based on TiO_2 modified by such methods as: doping, ultrasonic dispersion and heat treatment. Doping was carried out by the molten salt

method using iron as the doping element. TiO_2 was heat treated with $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ (0.5 wt% Fe) to introduce impurities into the crystal structure. The change in the properties of TiO_2 upon calcination under the same conditions without the addition of Fe^{3+} was investigated. The effect of particle size on photocatalyst properties is exemplified by Fe-doped TiO_2 samples before and after ultrasonic dispersion. The degree of adsorption of methyl orange dye was chosen as a parameter of the adsorption properties of the obtained materials. The photocatalytic activity was determined by the degree of degradation of methyl orange under the action of sunlight as well as UV radiation ($\lambda=254$ nm; 365 nm). Fe-doped TiO_2 was found to exhibit absorption in the visible region of the spectrum ($\lambda \approx 490$ nm) by ultraviolet–visible spectroscopy.

It is shown that heat treatment improves the adsorption properties of TiO_2 from 1 % to 38–39 %, irrespective of the introduction of the impurity element. Under the conditions of the present experiment, the degree of adsorption is also not affected by ultrasonic dispersion of the doped material. A decrease in the average particle size of TiO_2 was observed during heat treatment, although ultrasonic dispersion resulted in nano-sized particles that did not exceed the sensitivity threshold of the laser diffraction analyser (up to 80 nm). In all samples, the primary particles increased in size with time due to coagulation in the liquid dispersion medium. Fe-doped TiO_2 was found to have enhanced photocatalytic activity in the UV and under natural daylight. The maximum degree of photodegradation was recorded at 2 h exposure of the system of Fe-doped TiO_2 and methyl orange solution to radiation at $\lambda=254$ nm, the value of the parameter was 36 % without taking into account adsorption. Upon additional ultrasonic dispersion, the doped photocatalyst decreased the photocatalytic ability under sunlight and UV radiation with $\lambda=365$ nm.

Keywords: adsorption, titanium dioxide, doping, photocatalysis.

References

1. Armaković S. J., Savanović M. M. and Armaković S., Titanium Dioxide as the Most Used Photocatalyst for Water Purification: An Overview, *Catalysts*, **13**(1), 26 (2023).
2. Ghorbanpour M. and Feizi A. Iron-doped TiO_2 Catalysts with Photocatalytic Activity, *J. Water Environ. Nanotechnol*, **4**(1), 60 (2019).
3. Bukov N. N., Kolokolov F. A., Kostyrina T. V. and Kuznetsova S. L., *Physical research methods: vibrational spectroscopy*. Textbook, 47 p. (Kuban State University, Krasnodar, 2008). (in Russ.).
4. Qu Z.-W. and Kroes G.-J., Theoretical Study of the Electronic Structure and Stability of Titanium Dioxide Clusters $(\text{TiO}_2)_n$ with $n = 1-9$, *J. Phys. Chem. B.*, **110**(18), 8998 (2006).

УДК 615.32: 547.972+543.544

DOI 10.29039/2413-1725-2024-10-4-259-264

**СРАВНИТЕЛЬНОЕ ФИТОХИМИЧЕСКОЕ ИЗУЧЕНИЕ ЗДОРОВЫХ
И ПОРАЖЕННЫХ ГРИБАМИ *GOLOVINOMYCES CICHORACEARUM* (DC.)
HELUTA И *PUCCINIA LACTUCARUM* P. SYD. ЛИСТЬЕВ ЛАТУКА
ДУБРАВНОГО *LACTUCA QUERCINA* L., ПРОИЗРАСТАЮЩЕГО
В ГОРНОМ КРЫМУ**

Гришкова В. И., Просянникова И. Б., Шмакова Е. А.

*Институт биохимических технологий, экологии и фармации (структурное подразделение)
ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет им. В. И. Вернадского», Симферополь,
Республика Крым, Россия
E-mail: vladgri@ukr.net*

Проведено сравнительное фитохимическое изучение здоровых и больных растений *Lactuca quercina* L., пораженных двумя видами облигатных фитотрофных грибов-паразитов – мучнисторосяного *Golovinomyces cichoracearum* (DC.) *Heluta* и ржавчинного *Puccinia lactucarum* P. Syd., произрастающих в Горном Крыму. В составе листьев как здорового, так и пораженного грибами питающего растения идентифицированы преобладающие вторичные метаболиты – известные фенольные соединения (флавоноиды) апигенин, лютеолин, кверцетин, 7-О-β-D-глюкопиранозид лютеолина и 3-О-β-D-глюкопиранозид кверцетина. Установлено, что поражение грибами практически не изменяет как качественный, так и количественный состав фенольных соединений. Отмечено лишь незначительное увеличение доли негликозильированных форм фенольных соединений, что предположительно связано с гликозидазной активностью ферментных систем паразитных грибов.

Ключевые слова: *Lactuca quercina* L., грибы-паразиты *Golovinomyces cichoracearum* и *Puccinia lactucarum*, Asteraceae, вторичные метаболиты, флавоноиды, апигенин, лютеолин, кверцетин, 7-О-β-D-глюкопиранозид лютеолина и 3-О-β-D-глюкопиранозид кверцетина.

ВВЕДЕНИЕ

Умеренно-холодный и влажный климат Крымских гор с элементами средиземноморского климата способствует развитию разнообразной флоры и столь же разнообразной по видовому составу фитотрофной микобиоты. В Горном Крыму среди зарослей «дубков» – участков дубового и дубового-грабового леса, с преобладанием низкорослого дуба пушистого (*Quercus pubescens* Willd.) в окрестностях пгт. Научный Бахчисарайского района Республики Крым была обнаружена ценопопуляция латука дубравного *Lactuca quercina* L. (Asteraceae) с признаками поражения листьев двумя видами фитотрофных облигатных грибов-паразитов – мучнисторосяного *Golovinomyces cichoracearum* (DC.) *Heluta* и ржавчинного *Puccinia lactucarum* P. Syd.

Ранее этот вид растения, культивируемый в Саду медицинских растений Института фармакологии Польской академии наук в Кракове, исследовался польскими учеными, обнаружившими в корнях растения сесквитерпеновые лактоны [1], а в листьях флавоноиды и их гликозиды [2].

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Идентификацию образцов грибов *Golovinomyces cichoracearum* и *Puccinia lactucarum* на листьях растения-хозяина проводили стандартным методом с помощью определителей [3, 4], а название растения-хозяина представлено по источнику [5]. Современный таксономический статус видов грибов приведен согласно интерактивным базам – Index Fungorum [6] и Mycobank Database [7].

Здоровые и пораженные грибами *G. cichoracearum* и *P. lactucarum* листья *Lactuca quercina* собраны в июне 2024 года в фазе массового цветения растения в окрестностях поселка городского типа Научный и высушены без нагревания в проветриваемом помещении до состояния ломкости.

Для анализа химического состава навески здоровых и пораженных листьев весом по 0,2 г тщательно измельчены в ступке с добавлением кварцевого песка до пылевидного состояния и экстрагированы 70 %-ным водным этиловым спиртом при комнатной температуре с выдержкой в течение 10 дней. Экстракты анализировались тонкослойной хроматографией на пластинках Silufol с использованием следующих хроматографических систем растворителей: хлороформ–метанол (9:1), хлороформ–метанол (8:2), хлороформ–метанол (7:3), насыщенными дистиллированной водой или 25 %-ным водным аммиаком. Системы растворителей хлороформ–метанол в пропорции 9:1 использовались для свободных флавоноидов, остальные – для их гликозилированных форм.

В качестве «свидетелей» при хроматографическом детектировании фенольных соединений (ТСХ) использованы заведомые образцы апигенина, лютеолина, кверцетина и их глюкозидов – 7-О-β-D-глюкопиранозида лютеолина и 3-О-β-D-глюкопиранозида кверцетина.

Детектирование хроматографических зон проводили с помощью УФ-излучения (365 нм), а также помощью спиртовых растворов хлорида алюминия, фосфорновольфрамовой кислоты, серной кислоты с последующим нагреванием хроматограмм.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

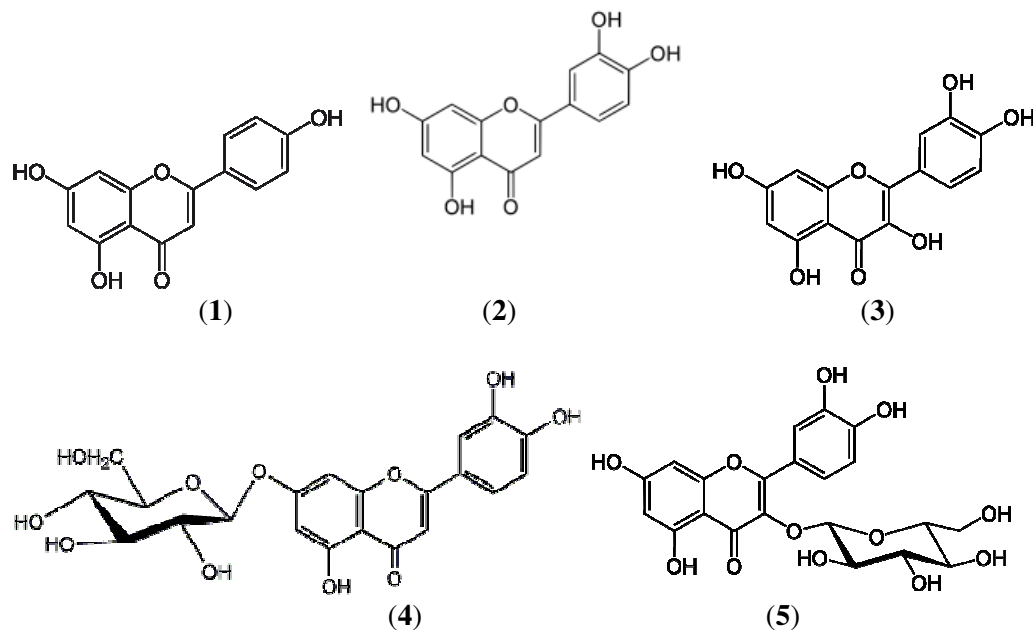
Согласно данным литературы питающее растение латук дубравный *Lactuca quercina* имеет европейско-средиземноморский ареал, который охватывает Европу от юго-восточной ее части до центральной Германии, а на востоке его границы доходят вплоть до юга России, включая Крымский полуостров. *L. quercina* является двулетней монокарпической травой, высотой 60–200 см, цветёт преимущественно в летний (6–8 месяцы) 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, растение ядовито

и встречается очень редко на лесных опушках, среди кустарников только в Горном Крыму [8, 9]). В Германии *L. quercina* считается видом, находящимся под угрозой исчезновения [10].

В настоящей работе мы провели сравнительное фитохимическое исследование листьев *L. quercina*, произрастающего в Горном Крыму. Исследовались листья в здоровом состоянии и пораженные двумя видами облигатных грибов-паразитов – *G. cichoracearum* и *P. lactucarum*.

Экстракцию листьев *L. quercina* проводили обычно используемым 70 %-ным водным этиловым спиртом, извлекающим как вещества малой, так и средней полярности, за исключением белков и полисахаридов. Экстракты анализировали методом тонкослойной хроматографии. Использование в качестве детектирующего реагента фосфорновольфрамовой кислоты показало отсутствие соединений терпеноидной природы, тогда как использование других детектирующих реагентов (хлорида алюминия, серной кислоты) и просмотр хроматограмм под УФ-излучением (365 нм) показало наличие фенольных соединений (флавоноидов) по характерной окраске хроматографических зон и люминесценции.

Хроматографическое сравнение с заведомыми образцами в различных системах растворителей позволило детектировать в экстрактах листьев следующие известные флавоноиды и их глюкозиды – апигенин (1), лютеолин (2), кверцетин (3), 7-О-β-D-глюкопиранозид лютеолина (4) и 3-О-β-D-глюкопиранозид кверцетина (5). Эти соединения, судя по относительной площади хроматографических зон, находится примерно в сопоставимых количествах, тогда как количество кверцетина (3) существенно меньше. Соединения 1, 2, 4 и 5 ранее были выделены из листьев *L. quercina*, произрастающей в Польше [2].



Анализ хроматограмм экстрактов листьев показывает, что поражение грибами практически не изменяет как качественный, так и количественный состав фенольных соединений листьев *L. quercina*. Отмечено лишь незначительное увеличение доли негликозилированных форм фенольных соединений (1–3), что предположительно связано с гликозидазной активностью ферментных систем грибов. Очевидно, что поражение паразитными грибами *Golovinomyces cichoracearum* и *Puccinia lactucarum* практически не затрагивает биосинтез флавоноидов растения-хозяина *Lactuca quercina*, являющихся вторичными метаболитами.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Исследованы здоровые и пораженные двумя видами фитотрофно-облигатных грибов-паразитов – мучнисторосяного *Golovinomyces cichoracearum* и ржавчинного *Puccinia lactucarum* растения *Lactuca quercina*, произрастающего в Горном Крыму.
2. В листьях растения методом ТСХ идентифицированы апигенин, лютеолин, кверцетин, 7-О-β-D-глюкопиранозид лютеолина и 3-О-β-D-глюкопиранозид кверцетина.
3. Показано, что поражение грибами практически не изменяет как качественный, так и количественный состав фенольных соединений.

Список литературы

1. Kisiel W. Sesquiterpene lactones from roots of *Lactuca quercina* / W. Kisiel, E. Szneler // Pol. J. Chem. – 1998. – Vol. 72. – P. 799–802.
2. Kisiel W. Flavonoids from *Lactuca quercina* and *L. tatarica* / W. Kisiel // Acta Societatis Botanicorum Poloniae. – 1998. – Vol. 67, № 3-4. – P. 247–248.
3. 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.
4. Купревич, В. Ф. Определитель ржавчинных грибов СССР. Часть 1 / В. Ф. Купревич, В. И. Ульянищев. – Минск: Наука и техника, 1975. – Ч. 1. – 485 с.
5. WFO The Plant List [электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.theplantlist.org> (дата обращения: 15.11.2024).
6. Index Fungorum [электронный ресурс]. 2003. Режим доступа: <http://www.indexfungorum.org> [веб-сайт, версия 1.00] (дата обращения: 12.11.2024).
7. Mycobank Database [электронный ресурс]. 2004. Режим доступа: <http://www.mycobank.org> (дата обращения: 12.11.2024).
8. Определитель высших растений Крыма / под общей ред. Рубцова Н. И. – Л.: Наука, 1972. – 550 с.
9. Голубев В. Н. Биологическая флора Крыма / В. Н. Голубев. – Ялта, НБС-ННЦ, 1996. – 126 с.
10. *Lactuca quercina* L. [электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.floraweb.de/php/artenhome.php?suchnr=3245&> (дата обращения: 15.11.2024).

COMPARATIVE PHYTOCHEMICAL STUDY OF HEALTHY AND FUNGAL-AFFECTED *GOLOVINOMYCES CICHORACEARUM* (DC.) HELUTA AND *Puccinia lactucarum* P. SYD. LEAVES OF *LACTUCA QUERCINA* L., NATIVE TO THE MOUNTAINOUS CRIMEA

Grishkovets V. I., Prosyannikova I. B., Shmakova E. A.

V. I. Vernadsky Crimean Federal University, Simferopol, Russia
E-mail: vladgri@ukr.net

The *Lactuca quercina* L. plant is poisonous and is very rare on forest edges, among shrubs in the Mountainous Crimea. A comparative phytochemical study of the leaves *L. quercina* of, which grows wildly in the obligate phototrophic parasitic fungi *Golovinomyces cichoracearum* и *Puccinia lactucarum* area of the Crimean Peninsula in a healthy state and affected by the parasitic fungi. Leaves in a healthy state and affected by two types of obligate parasite fungi were studied – *G. cichoracearum* and *P. lactucarum* in the mass flowering phase. Leaf extraction was carried out with a commonly used 70 % aqueous ethyl alcohol, which extracts both substances of low and medium polarity, with the exception of proteins and polysaccharides. The extracts were analyzed by thin-layer chromatography. The use of phosphoric acid as a detecting reagent showed the absence of terpenoid compounds, whereas the use of other detecting reagents (aluminum chloride, sulfuric acid) and viewing chromatograms under UV radiation (365 nm) showed the presence of phenolic compounds (flavonoids) by the characteristic color of chromatographic zones and luminescence.

Chromatographic comparison with known samples in various solvent systems made it possible to detect the following known flavonoids and their glucosides in leaf extracts – apigenin (**1**), luteolin (**2**), quercetin (**3**), 7-O- β -D-glucopyranoside of luteolin (**4**) and 3-O- β -D-glucopyranoside of quercetin (**5**). These compounds, judging by the relative area of the chromatographic zones, are found in approximately comparable quantities, whereas the amount of quercetin (**3**) is significantly less. Compounds **1**, **2**, **4** and **5** were previously isolated from the leaves of *L. quercina*, native to Poland.

The analysis of chromatograms of leaf extracts shows that the fungal lesion practically does not change both the qualitative and quantitative composition of phenolic compounds. There was only a slight increase in the proportion of non-glycosylated forms of phenolic compounds (1-3), which is presumably related to the glycosidase activity of the enzyme systems of the fungus. It is obvious that the defeat of the parasite fungi *G. cichoracearum* and *P. lactucarum* practically does not affect the biosynthesis of *L. quercina* flavonoids, which are secondary metabolites.

Keywords: *Lactuca quercina* L., parasitic fungi *Golovinomyces cichoracearum* and *Puccinia lactucarum*, Asteraceae, secondary metabolites, flavonoids, apigenin, luteolin, quercetin, 7-O- β -D-glucopyranoside of luteolin and 3-O- β -D-glucopyranoside of quercetin.

References

1. Kisiel W., Szneler E., Sesquiterpene lactones from roots of *Lactuca quercina*, *Pol. J. Chem.*, **72**, 799 (1998).
2. Kisiel W. Flavonoids from *Lactuca quercina* and *L. tatarica*, *Acta Societatis Botanicorum Poloniae*, **67** (3-4), 247 (1998).
3. 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).
4. Kuprevich V. F., Ulyanischev V. I., *Determinant of rust fungi of the USSR*. Part 1 (Science and Technology, Minsk, 1975). (in Russ.).
5. *WFO The Plant list* [electronic resource]. 2013. Access mode: <http://www.theplantlist.org/> (reference date: 15.11.2024).
6. *Index Fungorum* [electronic resource]. 2003. Access mode: <http://www.indexfungorum.org> [website, version 1.00] (reference date: 12.11.2024).
7. *Mycobank Database* [electronic resource]. 2004. Access mode: <http://www.mycobank.org> (reference date: 12.11.2024).
8. *Determinant of higher plants of the Crimea* (Nauka, Leningrad, 1972). (in Russ.).
9. Golubev V. N. *Biological flora of Crimea* (NBS-NNTs, Yalta, 1996). (in Russ.).
10. *Lactuca quercina* L. [electronic resource]. Access mode: <https://www.floraweb.de/php/artenhome.php?suchnr=3245> & (reference date: 15.11.2024).

УДК 666.913.2

DOI 10.29039/2413-1725-2024-10-4-265-273

ВЛИЯНИЕ ЛИТИЕВЫХ, НАТРИЕВЫХ И КАЛИЕВЫХ СОЛЕЙ ЯБЛОЧНОЙ КИСЛОТЫ НА ПРОЦЕСС ОТВЕРЖДЕНИЯ ГИПСА

Гришковец В. И.¹, Яковишин Л. А.², Корж Е. Н.², Чистотин Д. И.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*

Изучена концентрационная зависимость ингибирующего действия моно- и дилитиевых, а также динатриевых и дикалиевых солей яблочной кислоты на процесс отверждения строительного гипса. Проведено сравнение активности этих солей со свободной яблочной кислотой. Показано, что наибольшей замедляющей активностью из изученных солей обладает дилитиевая соль, тогда как монолитиевая соль несколько менее активна, но более активна, чем яблочная кислота. Динатриевая и дикалиевая соли менее активны в сравнении с дилитиевой солью, но превосходят незамещенную яблочную кислоту. Оптимальный диапазон концентраций рабочих растворов изученных солей яблочной кислоты составляет 0,006–0,025 М (0,1–0,45 % для безводной соли) без потери механической прочности отливок.

Ключевые слова: вяжущие материалы, гипс, литиевые соли яблочной кислоты, динатриевая и дикалиевая соли яблочной кислоты.

ВВЕДЕНИЕ

Ранее мы исследовали замедляющее действие незамещенной рацемической яблочной кислоты на процесс отверждения строительного гипса [1]. Сама яблочная кислота обладает ярко выраженным ретардантным эффектом, сравнимым с действием хорошо изученной, в частности и нами [2, 3], лимонной кислоты и ее солей. Поэтому интересным было исследовать и растворимые литиевые, натриевые и калиевые соли яблочной кислоты, сопоставить их активность с незамещенной яблочной кислотой, проследить зависимость ретардантного действия от степени замещения в кислоте, а также в ряду дизамещенных солей щелочных металлов в зависимости от ионного радиуса катиона металла. Кроме того, предполагается изучение концентрационных зависимостей ингибирующего действия вышеперечисленных солей в сравнении с незамещенной яблочной кислотой в широком диапазоне концентраций.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В работе использовались вещества: строительный гипс марки Г5, рацемическая яблочная кислота (ч.д.а.). В качестве исходного раствора для получения всех солей

использовался 0,1 М водный раствор яблочной кислоты. Монолитиевая соль яблочной кислоты получена непосредственно в растворе нейтрализацией 1 эквивалентом гидроксида лития (х.ч.) в виде точной навески сухого препарата. Дилитиевые, динатриевые и дикалиевые соли получены аналогично добавлением к 0,1 М раствору яблочной кислоты в виде точных навесок 2 эквивалентов сухих гидроксидов лития, натрия и калия (х.ч.), соответственно. Путем последовательного разбавления дистиллированной водой были получены растворы следующих молярностей: 0,05; 0,025; 0,0125; 0,0062; 0,0031; 0,0016 и 0,0008 М.

Для получения отвержденных гипсовых образцов брали навески гипса по 2,0 г, к которым добавляли по 1,3 мл исследуемых растворов каждой из солей в разных концентрациях. Смеси 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. Момент помутнения глянцевої поверхности 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.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Изучение ингибирующего действия литиевых, натриевых и калиевых солей яблочной кислоты (H_2Mt) проводилось по нашей методике, заключающейся в быстром замешивании гипса с водой или растворами исследуемого модификатора с убывающей концентрацией (в весовой пропорции гипс/раствор – 1/0,65). Время начала процесса схватывания определялось по исчезновению глянцевого блеска исходной гипсовой массы, а время окончания отверждения как момент потери пластичности при надавливании на гипсовую массу твердым (металлическим или стеклянным) предметом и появления характерного «стеклянного» звука при ударе.

Исследовался диапазон молярных концентраций водных растворов солей рацемической яблочной кислоты от 0,1 М до 0,0008 М. В том же диапазоне концентраций для сравнения ингибирующего действия одновременно тестировался и раствор незамещенной рацемической яблочной кислоты. Концентрации изученных растворов уменьшались с шагом 1/2, что позволяло достаточно уверенно проследить зависимость ингибирующего действия от концентрации ингибитора. Нижний предел концентрации растворов (0,0008 М) определялся по практическому исчезновению эффекта ингибирования. Полученные результаты приведены в таблицах 1–4 и на рисунках 1–4.

Первоначально исследовались моно- и дизамещенные литиевые соли яблочной кислоты с целью выявить влияние степени замещения на ингибирующую активность. В результате было установлено (Табл. 1, 2), что ингибирующее действие увеличивается при переходе от незамещенной яблочной кислоты к ее монолитиевой соли и далее к ее дилитиевой соли. С учетом этого факта и значительно большей коммерческой доступности в работе исследовались только дизамещенные натриевые и калиевые соли рацемической яблочной кислоты.

Таблица 1
Ингибирующее действие растворов моно- и дилитиевых солей яблочной кислоты на начало отверждения гипса

Концентрация C (моль/л)	Яблочная кислота (H ₂ Mt) (мин)	LiHMt (мин)	Li ₂ Mt (мин)
0,1000	20	140	200
0,0500	125	180	190
0,0250	140	160	160
0,0125	100	105	130
0,0063	65	70	80
0,0032	50	50	55
0,0016	35	35	45
0,0008	25	25	30

Примечание: время начала отверждения гипса в дистиллированной воде – 20 мин.

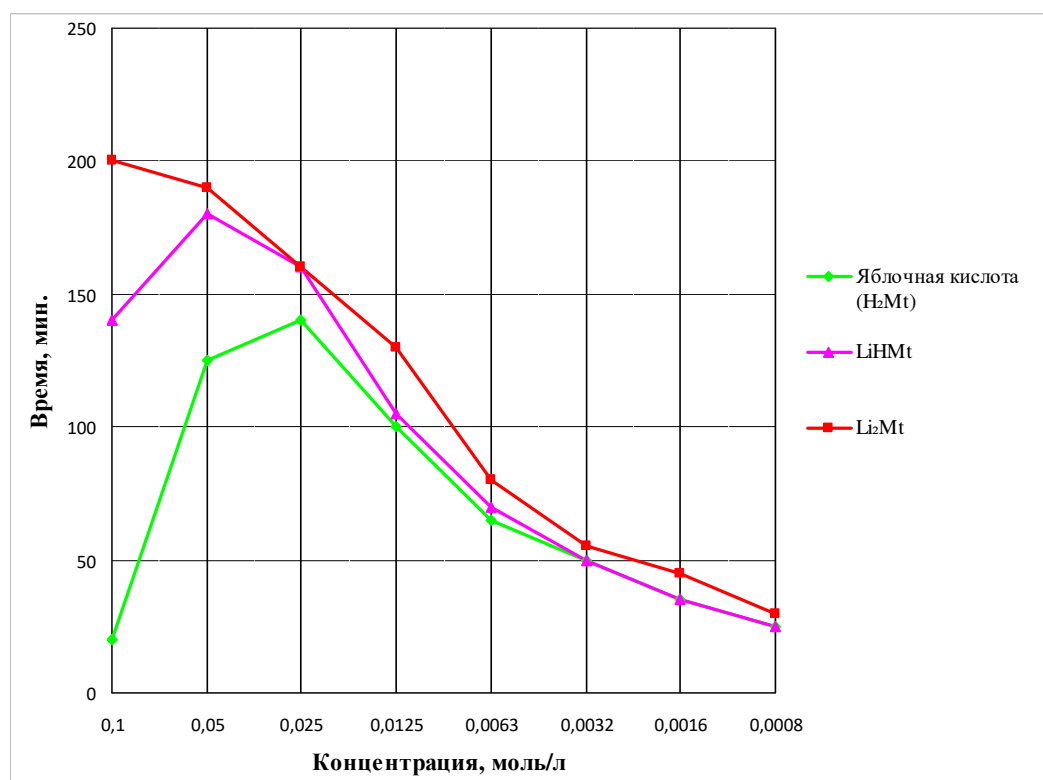


Рис. 1. Ингибирующее действие растворов моно- и дилитиевых солей яблочной кислоты на начало отверждения гипса.

Таблица 2
Ингибирующее действие растворов моно- и дилитиевых солей яблочной кислоты на окончание отверждения гипса

Концентрация C (моль/л)	Яблочная кислота (H ₂ Mt) (мин)	LiHMt (мин)	Li ₂ Mt (мин)
0,1000	180	360	400
0,0500	270	330	360
0,0250	250	250	330
0,0125	180	130	220
0,0063	100	100	140
0,0032	90	90	95
0,0016	65	70	80
0,0008	50	55	60

Примечание: время окончания отверждения гипса в дистиллированной воде – 45 мин.

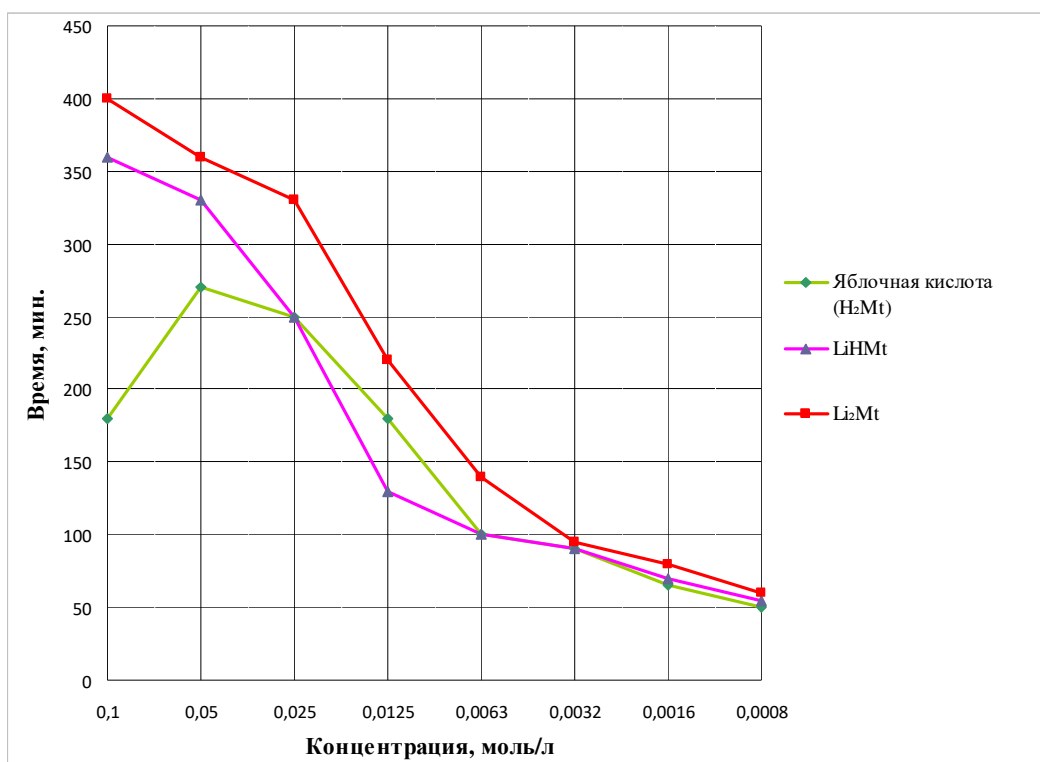


Рис. 2. Ингибирующее действие растворов моно- и дилитиевых солей яблочной кислоты на окончание отверждения гипса.

Таблица 3

Ингибирующее действие растворов дилитиевых, динатриевых и дикалиевых солей яблочной кислоты на начало отверждения гипса

Концентрация C (моль/л)	Li ₂ Mt (мин)	Na ₂ Mt (мин)	K ₂ Mt (мин)
0,1000	200	170	150
0,0500	190	180	130
0,0250	160	140	110
0,0125	130	110	95
0,0063	80	100	80
0,0032	55	70	55
0,0016	45	45	30
0,0008	30	25	25

Примечание: время начала отверждения гипса в дистиллированной воде – 20 мин.

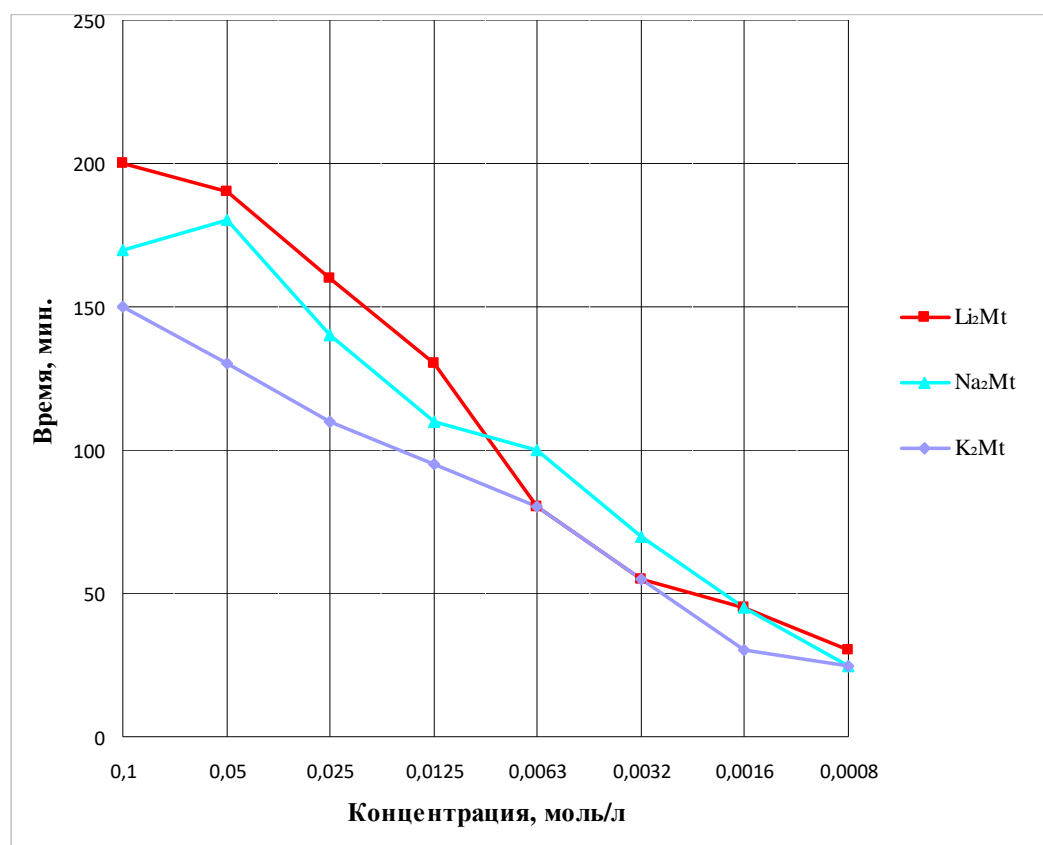


Рис. 3. Ингибирующее действие растворов дилитиевых, динатриевых и дикалиевых солей яблочной кислоты на начало отверждения гипса.

Таблица 4
Ингибирующее действие растворов дилитиевых, динатриевых и дикалиевых солей яблочной кислоты на окончание отверждения гипса

Концентрация C (моль/л)	Li ₂ Mt (мин)	Na ₂ Mt (мин)	K ₂ Mt (мин)
0,1000	400	550	500
0,0500	360	450	420
0,0250	330	280	250
0,0125	220	200	170
0,0063	140	150	140
0,0032	95	130	90
0,0016	80	60	60
0,0008	60	50	50

Примечание: время окончания отверждения гипса в дистиллированной воде – 45 мин.

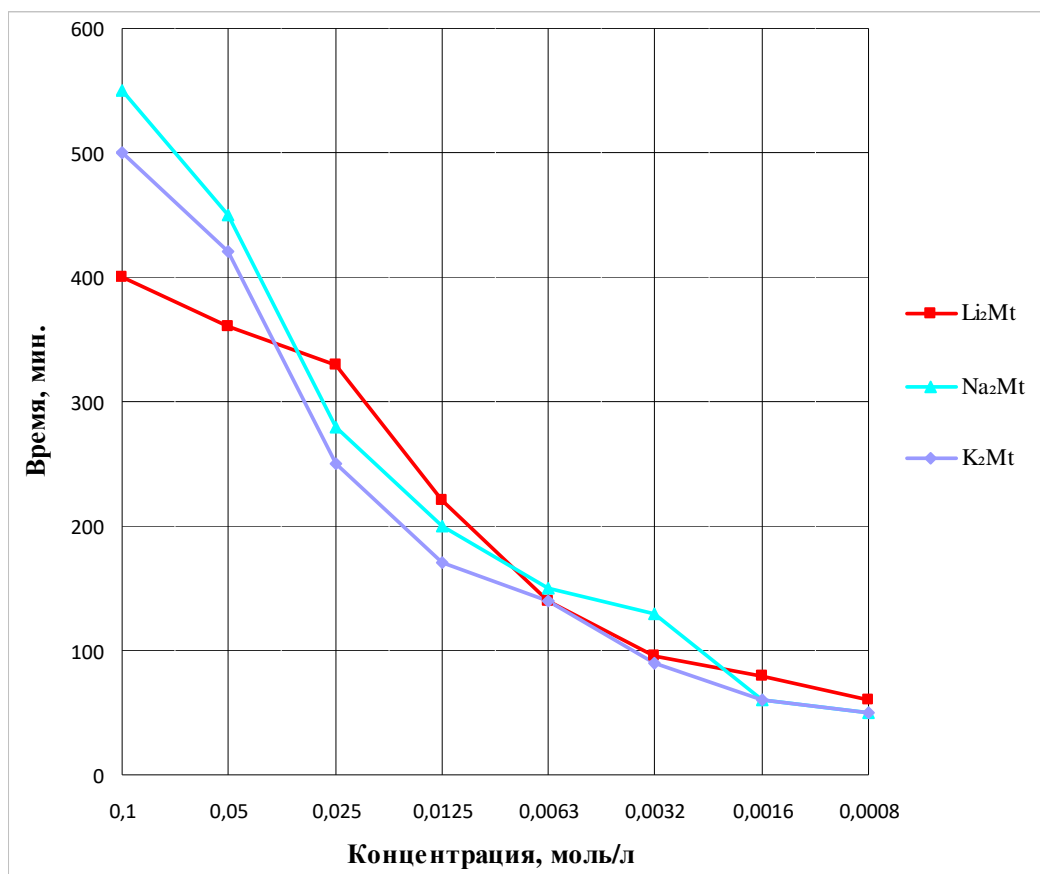


Рис. 4. Ингибирующее действие растворов дилитиевых, динатриевых и дикалиевых солей яблочной кислоты на окончание отверждения гипса.

Сравнение ингибирующей активности динатриевых и дикалиевых солей с дилитиевой солью яблочной кислоты (Табл. 3, 4) показывает, что активность несколько убывает в ряду $\text{Li}_2\text{Mt}-\text{Na}_2\text{Mt}-\text{K}_2\text{Mt}$. Однако все равно активность даже дикалиевой соли превышает активность незамещенной яблочной кислоты как по времени начала, так и окончания процесса отверждения гипса.

Интересно отметить, что сравнение ретардантной активности солей щелочных металлов яблочной кислоты с аналогичными солями лимонной кислоты [2, 3] показывает сходный характер изменения их свойств как в отношении замещения атомов водорода в кислотах на ионы металлов, так и в отношении уменьшения ретардантной активности солей с увеличением ионного радиуса катиона металла. Однако сравнение полученных в этой работе результатов с таковыми для солей этилендиаминтетрауксусной кислоты (ЭДТА) [4] показывает противоположные направления изменения свойств, поскольку активность натриевых солей ЭДТА уменьшалась в ряду динатриевая–тринатриевая–тетранатриевая соли. В связи с этим фактом можно предположить, что механизмы ингибирующего действия солей сходных по строению яблочной и лимонной кислот несколько отличаются от механизмов действия солей ЭДТА. В частности, связывание ионов кальция в комплексы очевидно не является главной причиной ингибирующего действия этого ряда соединений, поскольку константы устойчивости кальциевых комплексов яблочной ($0,625 \cdot 10^2$) и лимонной ($1,48 \cdot 10^3$) кислот на 7–8 порядков ниже константы устойчивости кальциевого комплекса с ЭДТА ($3,88 \cdot 10^{10}$) [5], но ретардантная активность солей яблочной и лимонной кислот несравненно выше активности натриевых солей ЭДТА. Очевидно, что процессы сорбции анионов кислот как на исходных кристаллах полуводного сульфата кальция, так и на зародышевых кристаллах двуводного сульфата кальция играют значительно более существенную роль в механизме отверждения гипса, нежели процессы комплексообразования с ионами кальция в затворяющем растворе.

Качественное исследование прочностных свойств полученных образцов гипсовых отливок показало, что в изученном диапазоне концентраций литиевых, натриевых и калиевых солей яблочной кислоты прочность отливок не снижается до концентрации 0,025 М, тогда как для двух самых высоких концентраций затворяющих растворов (0,05 М и, особенно, 0,1 М) наблюдалось снижение механической прочности полученных отливок. Количественное изучение прочностных свойств гипсовых отливок на сжатие и изгиб с различными модификаторами предполагается в дальнейшем в отдельном исследовании.

Таким образом, анализ полученных результатов показывает, что дизамещенные соли яблочной кислоты со щелочными металлами в среднем в 1,5 раза активнее незамещенной яблочной кислоты, а с коммерческой и с практической точек зрения наиболее интересна динатриевая соль в диапазоне концентраций 0,006–0,025 М (0,1–0,45 % для безводной соли) в зависимости от желаемого времени начала схватывания.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Изучена концентрационная зависимость ингибирующего действия водных растворов литиевых, натриевых и калиевых солей рацемической яблочной кислоты на процесс отверждения гипса.
2. Показано, что из изученных солей наиболее активна дилитиевая соль яблочной кислоты, ингибирующее действие которой в 1,5–2 раза сильнее в сравнении с незамещенной яблочной кислотой. Обсужден возможный механизм ингибирующего действия солей яблочной и лимонной кислот.
3. Показано, что с практической точки зрения оптимальный диапазон концентраций рабочих растворов дизамещенных солей яблочной кислоты составляет 0,006–0,025 М без потери механической прочности отливок.

Список литературы

1. Влияние яблочной кислоты на процесс отверждения гипса / В. И. Гришковец, Д. И. Чистотин, Л. А. Яковишин [и др.] // Ученые записки Крымского федерального университета имени В. И. Вернадского. Биология. Химия. – 2023. – Т. 9 (75), № 1. – С. 279–284.
2. Гришковец В. И. Влияние органических кислот на процесс отверждения гипса / В. И. Гришковец, Л. Л. Капора, Л. А. Яковишин // Ученые записки Крымского федерального университета имени В. И. Вернадского. Биология. Химия. – 2016. – Т. 2 (68), № 1. – С. 129–134.
3. Гришковец В. И. Влияние солей лимонной кислоты на процесс отверждения гипса. / В. И. Гришковец, Л. А. Яковишин, Е. Н. Корж // Ученые записки Крымского федерального университета имени В. И. Вернадского. Биология. Химия. – 2016. – Т. 2 (68), № 3. – С. 83–89.
4. 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.
5. Справочник химика. Том 3. Химическое равновесие и кинетика, свойства растворов, электродные процессы / Под ред. Б. П. Никольского. – М.–Л.: Химия, 1965. – 1005 с.

INFLUENCE OF LITHIUM, SODIUM AND POTASSIUM SALTS OF MALIC ACID ON GYPSUM CURING PROCESS

Grishkovets V. I.¹, Yakovishin L. A.², Korzh E. N.², Chistotin D. I.¹

¹*V. I. Vernadsky Crimean Federal University, Simferopol, Crimea Republic, Russia*

²*Sevastopol State University, Sevastopol, Russia*

E-mail: vladgri@ukr.net

The concentration dependence of the inhibitory effect of mono- and dilithium, as well as disodium and dipotassium salts of malic acid on the curing process of construction gypsum has been studied. The activity of these salts was compared with free malic acid. It is shown that the dilithium salt has the greatest retarding activity of the salts studied, while the monolithium salt is somewhat less active but more active than unsubstituted malic

acid. The disodium and dipotassium salts are slightly less active than the dilithium salt, but superior to unsubstituted malic acid.

The study of the inhibitory effect of lithium, sodium and potassium salts of malic acid was carried out according to our method, which consists in rapid mixing of gypsum with water or solutions of the studied modifier with decreasing concentration (in the weight proportion of gypsum/solution – 1/0.65). The time of the beginning of the setting process was determined by the disappearance of the glossy luster of the initial gypsum mass, and the time of the end of curing as the moment of loss of plasticity when pressing on the gypsum mass with a hard object and the appearance of a characteristic “glassy” sound when hitting.

Qualitative study of the strength properties of the obtained samples of gypsum castings showed that in the studied range of concentrations of lithium, sodium and potassium salts of malic acid, the strength of castings does not decrease up to the concentration of 0.025 M, while for the two highest concentrations of the setting acid solutions (0.05 M and especially 0.1 M) a decrease in the mechanical strength of the obtained castings was observed.

Thus, the analysis of the results shows that disubstituted salts of malic acid with alkali metals are on average one and a half times more active than unsubstituted malic acid, and from commercial and practical points of view the most interesting is the dynatrium salt in the concentration range of 0.006–0.025 M (0.1–0.45 %), depending on the desired setting onset time.

Keywords: binder materials, gypsum, lithium salts of malic acid, disodium and dipotassium salts of malic acid.

References

1. Grishkovets V. I., Chistotin D. I., Yakovishin L. A., Korzh E. N., Effect of malic acid to the process of gypsum curing, *Scientific Notes of Crimean V. I. Vernadsky Federal University. Biology. Chemistry*, 9 (1), 279 (2023). (in Russ.).
2. Grishkovets V. I., Kapora L. L., Yakovishin L. A., Effect of organic acids on the process of gypsum curing, *Scientific Notes of Crimean V. I. Vernadsky Federal University. Biology. Chemistry*, 2 (1), 129 (2016). (in Russ.).
3. Grishkovets V. I., Yakovishin L. A., Korzh E. N., Effect of citric acid salts on the process of gypsum curing, *Scientific Notes of V. I. Vernadsky Crimean Federal University. Biology. Chemistry*, 2 (3), 83 (2016). (in Russ.).
4. 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.).
5. Nikolsky B. P., *Chemist's handbook. Vol. 3. Chemical equilibrium and kinetics, solution properties, electrode processes*, 1005 p. (Khimiya, Moscow, Leningrad, 1965) (in Russ.).

УДК 543.062: 543.23: 544.42 :57.037

DOI 10.29039/2413-1725-2024-10-4-274-287

КИНЕТИЧЕСКИЙ МЕТОД КОЛИЧЕСТВЕННОГО ОПРЕДЕЛЕНИЯ ГЛЮКОЗЫ В ВОДНЫХ РАСТВОРАХ

Устименко В. Н.¹, Пономарёва Т. Г.², Ходаков Г. В.³

¹Крымский инженерно-педагогический университет имени Февзи Якубова, Симферополь, Россия

²Институт биохимических технологий, экологии и фармации ФГАОУ ВО «КФУ им. В.И. Вернадского», Симферополь, Республика Крым, Россия

³Агротехнологическая академия ФГАОУ ВО «КФУ им. В.И. Вернадского», Симферополь, Россия
E-mail: uvn_@mail.ru

Впервые кинетический метод анализа (метод тангенсов) применен для количественного определения глюкозы в водных растворах с использованием метиленового синего как вещества-индикатора при pH 9–11. Получены уравнения калибровочных графиков в координатах «тангенсы углов наклона индикаторных прямых–концентрация глюкозы» и «концентрация глюкозы – тангенсы углов наклона индикаторных прямых» в области концентраций глюкозы $3,47 \cdot 10^{-3}$ – $2,22$ моль/л. Определены параметры формального кинетического уравнения ($1,88 \cdot 10^{-7}$ для эффективной константы скорости, порядки реакции по реагентам: первый для глюкозы и $-0,5$ для метиленового синего).

Ключевые слова: глюкоза, метиленовый синий, формальная кинетика, эффективная константа скорости, калибровочный график, статистические критерии, уравнение регрессии.

ВВЕДЕНИЕ

В работах [1, 2] дан обзор методов определения глюкозы: титриметрических, гравиметрического, ферментативного (глюкозооксидазного), редуктометрического (феррицианидного), колориметрического (орто-толуидинового) и других. Отмечено, что инструментальные методы анализа наиболее селективные, но они достаточно трудоёмкие и затратные. Метод гравиметрический (по Бертрону) наиболее прост и экономичен, оценивается относительной погрешностью не менее 10 %. Известные титриметрические методы требуют дорогих реактивов и достаточно трудоёмки. Например, в объёмном методе прямого титрования Лейна-Эйнона, в отличие от метода Бертрона, титрование определённого объёма раствора Фелинга производят испытуемым раствором с глюкозой (сушлом или вином) при кипячении до полного восстановления окиси меди в закись, применяя в качестве индикатора метиленовый голубой, который восстанавливается редуцирующими сахарами (в частности, глюкозой) и превращается в бесцветное лейкосоединение [3].

Определение глюкозы в продукции сельскохозяйственных производств, как и в растительном сырье, по-прежнему актуально. Особенно это относится к исследованиям динамики фотосинтеза [3, 4], а также к исследованиям продуцирования терпеновых углеводов в растениях-эфироносках с участием

глюкозы и изопрена [5]. Особенностью исследований динамики продуцирования глюкозы в растительном сырье является оперативность получения и расшифровки аналитического сигнала в рабочих пробах «в полевых условиях» вследствие затруднений в процедурах консервации растительных проб либо экстрактов из них. Стационарные лаборатории обеспечивают требуемое качество арбитражного анализа, но по-прежнему актуальны простые и надёжные методики к нему.

Целью настоящей работы является применение кинетического метода к расчётам содержания глюкозы в водных растворах как наиболее чувствительных методов химического анализа [6] и разработка процедуры анализа, приемлемого для исследований «в полевых условиях».

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Готовились три серии растворов глюкозы (декстрозы) объёмами 10 мл, 50 мл и 100 мл с концентрациями (моль/л): 2,22; $1,11 \cdot 10^{-1}$; $1,11 \cdot 10^{-2}$; $5,56 \cdot 10^{-2}$; $2,78 \cdot 10^{-2}$; $2,08 \cdot 10^{-2}$; $1,39 \cdot 10^{-2}$; $1,04 \cdot 10^{-2}$; $6,94 \cdot 10^{-3}$; $3,47 \cdot 10^{-3}$. Растворы готовились последовательным разбавлением водой раствора глюкозы из ампул (раствор для внутривенного введения 400 мг/мл в пересчёте на безводную, ампулы 10 мл, 10 шт. ПЭТ Фармакотерапевтическая группа), где концентрация декстрозы составляла 2,22 моль/л. Для подщелачивания в каждый раствор добавлялась навеска гидроксида калия так, чтобы его концентрация составляла 0,01 моль/л. Растворы термостатировались при температуре 40 °С.

Для каждой серии опытов в химические ёмкости подходящих размеров приливали порциями соответствующий объём аликвоты глюкозы. Ёмкости перед анализом термостатировали 5 мин. Затем мерной пипеткой в ёмкость подливали соответствующий объём раствора титранта (метиленового синего) концентрацией 1 ммоль/л с учетом номера опыта и включали секундомер. Отсчёт времени прекращался при обесцвечивании содержимого ёмкости (время экспозиции). Опыт для каждой аликвоты проводился от 5-ти до 10-ти кратной повторяемости.

Концентрация метиленового синего пересчитана на его разбавление в анализируемой пробе согласно формуле:

$$C(\text{Mc}) = \frac{i \cdot C_0(\text{Mc}) \cdot V_i}{V_{\text{al}} + i \cdot V_i}, \quad (1)$$

где $C(\text{Mc})$ – общая концентрация добавленного метиленового синего (Mc); i , V_i – номер и объём приливаемого раствора Mc ; V_{al} – объём исследуемой аликвоты.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Анализ был разделен на серии опытов из-за необходимости выявления аналитических границ определения глюкозы в аликвоте, размеров самой аликвоты, а также приемлемых соотношений концентраций метиленового синего и определяемой глюкозы. Исследовались три серии аликвот растворов глюкозы различного объёма, к каждой из которых добавлялись многократно (6–10 раз) одни

и те же объёмы раствора метиленового синего и регистрировалось время их обесцвечивания.

Процедура кинетического анализа отличалась от известных методов отслеживания количественных изменений реагентов во времени с помощью регистрирующих приборов, поскольку интенсивное окрашивание аликвоты Мс, играющего роль реагента-индикатора, затрудняла регистрацию приборами её ослабления со временем по ходу реакции. Напротив, использовалось положение об инерционном протекании сложных реакций с наличием лимитирующей стадии [7], – добавление реагента-индикатора порциями инициировало накопление в растворе продуктов реакции глюкозы с метиленовым синим. Накопление бесцветных форм продуктов реакции синхронно соответствовало полному расходованию окисленной формы Мс, – графики на рисунках 1–3 и уравнения регрессий в таблице 1 отобразили динамику изменения скорости соответствующих процессов. Сама процедура анализа напоминала «титрование во времени» (или «кинетическое титрование»). Ход кривых показывает замедление процесса восстановления глюкозой метиленового синего по мере накопления продуктов реакции, причём, это не могло быть связанным с расходом самой глюкозы, взятой в избытке на несколько порядков (в сто и более раз). Такая кинетика объясняется: а) многостадийностью механизма реакции, б) наличием замедленной стадии и в) ингибированием процесса продуктами реакции [6].

Для сложных реакций согласно [9] применим любой способ линеаризации получаемого аналитического сигнала. Оказалось, что степенная функция от концентрации метиленового синего (в степени 1,5) достаточно эффективно превращает нелинейные графики в линейные, как показано на рисунках 1–3 и соответствующими уравнениями регрессий согласно таблице 1.

Рисунки 1–3 отображают функциональную связь наблюдаемых времён экспозиции с концентрациями индикаторного реагента (Мс): А – в степени один и Б – в степени 1,5.

Именно тангенсы углов наклона прямых на рисунках 2Б, 3Б, 4Б зависимы от величины концентраций глюкозы в начальных аликвотах и использовались далее для построения калибровочных графиков к определению глюкозы в соответствующих сериях растворов.

Линии графиков на рисунках 1–3 для всех одиннадцати исследованных растворов получены с помощью прикладных пакетов MS Excel как «линии тренда» [8] с отображением уравнений регрессии и значений коэффициентов детерминации R^2 , представленных в таблице 1. Коэффициенты при переменных в таких линейных уравнениях (столбец 2) представляют собой искомые тангенсы наклона соответствующих прямых линий к оси времён.

Данные таблицы 1 (столбец 2) позволили применить метод тангенсов [6] для построения калибровочных графиков «С(Гл)–тангенс угла наклона линии регрессии» для каждой серии испытанных растворов глюкозы (рис. 4).

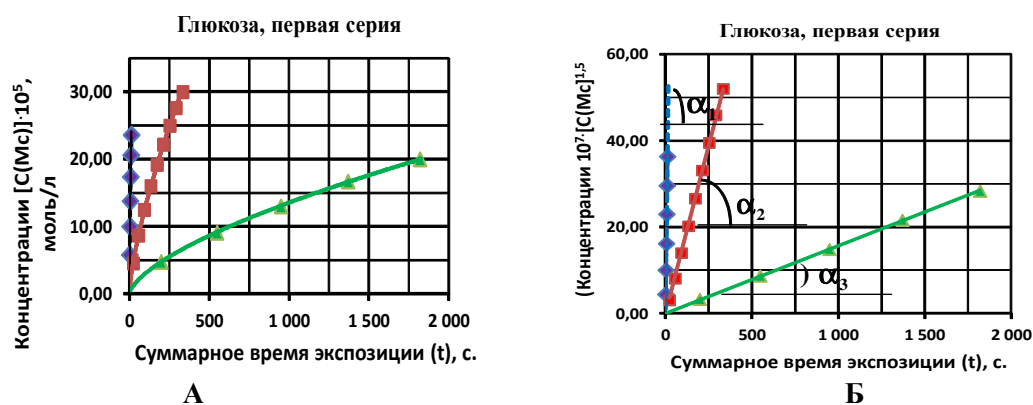


Рис. 1. Графические исследования кинетики восстановления метиленового синего в аликвотах глюкозы первой серии объёмом 10,0 мл с концентрациями (моль/л): \blacklozenge 2,22; \blacksquare $1,11 \cdot 10^{-1}$; \blacktriangle $1,11 \cdot 10^{-2}$, причём А – результаты прямых измерений времени и задаваемой концентрации вещества-индикатора и Б – связь прямых измерений времени со степенной функцией концентрации

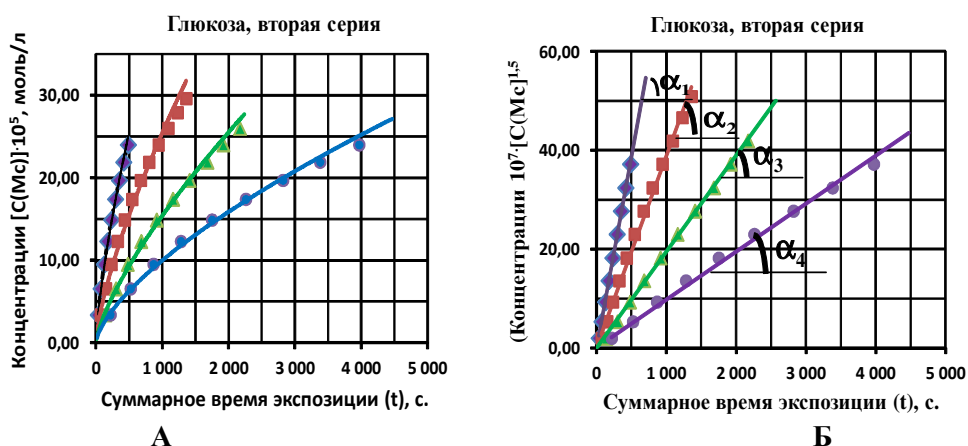


Рис. 2. Графические исследования кинетики восстановления метиленового синего в аликвотах глюкозы второй серии объёмом 50,0 мл с концентрациями (моль/л): \blacklozenge $5,55 \cdot 10^{-2}$; \blacksquare $2,78 \cdot 10^{-2}$; \blacktriangle $1,39 \cdot 10^{-2}$; \bullet $6,94 \cdot 10^{-3}$, причём А – результаты прямых измерений времени и задаваемой концентрации вещества-индикатора и Б – связь прямых измерений времени со степенной функцией концентрации

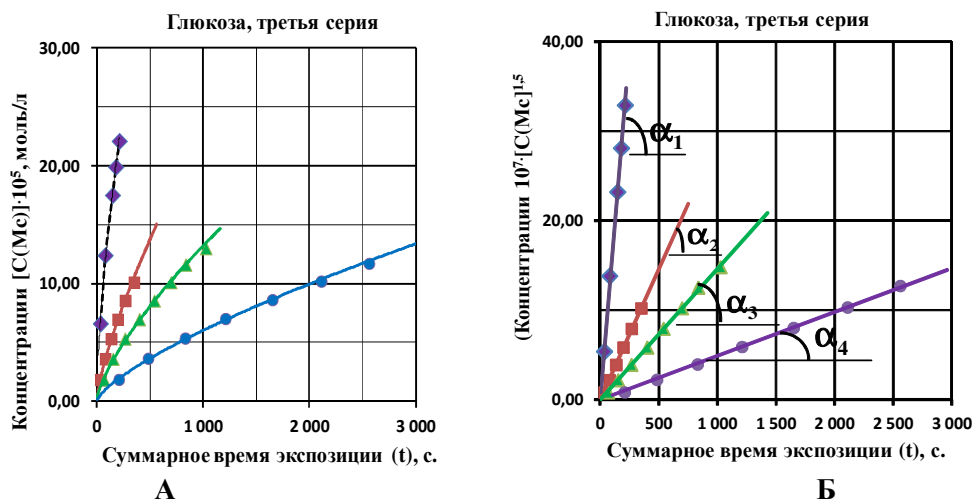


Рис. 3. Графические исследования кинетики восстановления метиленового синего в аликвотах глюкозы третьей серии объёмом 100,0 мл с концентрациями (моль/л): \blacklozenge $1,11 \cdot 10^{-1}$; \blacksquare $2,08 \cdot 10^{-2}$; \blacktriangle $1,04 \cdot 10^{-2}$; \bullet $3,47 \cdot 10^{-3}$, причём А – результаты прямых измерений времени и задаваемой концентрации вещества-индикатора и Б – связь прямых измерений времени со степенной функцией концентрации

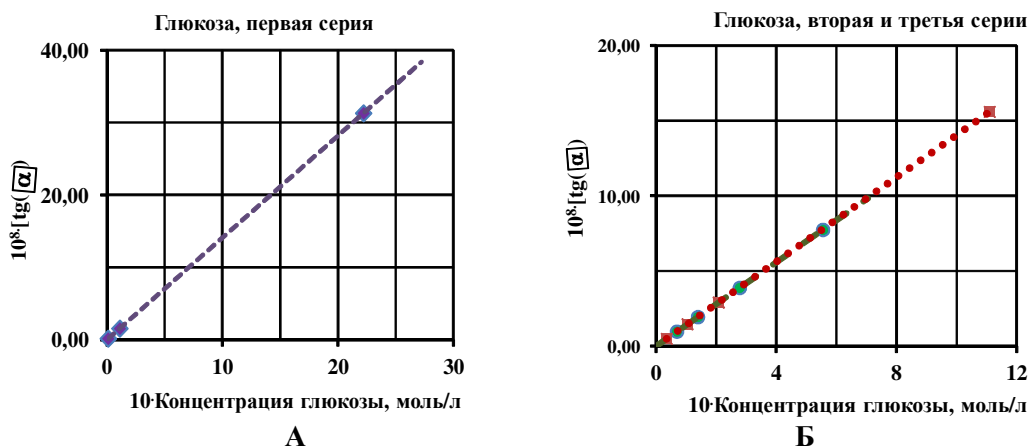


Рис. 4. Калибровочные графики для соотношения величин тангенсов наклона (рис. 2–4) с содержанием глюкозы в аликвотах: А–для первой серии растворов; Б– для второй серии растворов \blacksquare и третьей серии растворов \bullet

Таблица 1
Уравнения регрессии и коэффициенты детерминации R^2 для графических исследований кинетики восстановления метиленового синего в растворах глюкозы

Концентрация глюкозы в аликвоте, моль/л	Уравнения линейных графиков «время экспозиции – $[C(Мс)]^{1,5}$ »	Коэффициенты детерминации R^2
1	2	3
При анализе растворов первой серии		
2,22	$[C(Мс)]^{1,5} = (3,13 \cdot 10^{-7}) \cdot t$	$R^2 = 0,997$
$1,11 \cdot 10^{-1}$	$[C(Мс)]^{1,5} = (1,56 \cdot 10^{-8}) \cdot t$	$R^2 = 0,999$
$1,11 \cdot 10^{-2}$	$[C(Мс)]^{1,5} = (1,56 \cdot 10^{-9}) \cdot t$	$R^2 = 1,000$
При анализе растворов второй серии		
$5,55 \cdot 10^{-2}$	$[C(Мс)]^{1,5} = (7,74 \cdot 10^{-9}) \cdot t$	$R^2 = 0,999$
$2,78 \cdot 10^{-2}$	$[C(Мс)]^{1,5} = (3,88 \cdot 10^{-9}) \cdot t$	$R^2 = 0,994$
$1,39 \cdot 10^{-2}$	$[C(Мс)]^{1,5} = (1,94 \cdot 10^{-9}) \cdot t$	$R^2 = 0,999$
$6,94 \cdot 10^{-3}$	$[C(Мс)]^{1,5} = (9,73 \cdot 10^{-10}) \cdot t$	$R^2 = 0,994$
При анализе растворов третьей серии		
$1,11 \cdot 10^{-1}$	$[C(Мс)]^{1,5} = (1,56 \cdot 10^{-8}) \cdot t$	$R^2 = 0,997$
$2,08 \cdot 10^{-2}$	$[C(Мс)]^{1,5} = (2,91 \cdot 10^{-9}) \cdot t$	$R^2 = 0,998$
$1,04 \cdot 10^{-2}$	$[C(Мс)]^{1,5} = (1,46 \cdot 10^{-9}) \cdot t$	$R^2 = 0,999$
$3,47 \cdot 10^{-3}$	$[C(Мс)]^{1,5} = (4,89 \cdot 10^{-10}) \cdot t$	$R^2 = 0,999$

Обозначения в таблице 1: R^2 – коэффициент детерминации регрессионного уравнения согласно уравнению (2) [8, С. 248]:

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_i \{ [C(Мс)]^{1,5}_i - [C(Мс)]^{1,5}_p \}^2}{\sum_i \{ [C(Мс)]^{1,5}_i - [C(Мс)]^{1,5} \}^2}, \quad (2)$$

где $[C(Мс)]^{1,5}_i$ – опытная (задаваемая) величина концентрации реагента-индикатора (в степени 1,5); $[C(Мс)]^{1,5}_p$ – концентрация реагента-индикатора (в степени 1,5), рассчитываемая из уравнения регрессии согласно наблюдаемому времени экспозиции (столбец 3 в таблице 1); $[C(Мс)]^{1,5}$ – среднее значение всех

величин $[C(Мс)]^{1,5}$ вдоль оцениваемой линии регрессии. Чем ближе значение R^2 к единице, тем больше уравнение регрессии статистически значимо.

Калибровочным прямым линиям на рисунке 4 соответствуют уравнения регрессии:

в первой серии растворов (рис. 5А) $tg(\alpha) = 1,41 \cdot 10^{-7} \cdot C(Гл) (R^2 = 1,000)$;

во второй серии растворов $tg(\alpha) = 1,39 \cdot 10^{-7} \cdot C(Гл) (R^2 = 1,000)$;

в третьей серии растворов $tg(\alpha) = 1,40 \cdot 10^{-7} \cdot C(Гл) (R^2 = 1,000)$.

Из данных рисунка 4 сделано предположение, что угловые коэффициенты калибровочных линий регрессии имеют близкие значения, а лежащие на них экспериментальные точки статистически принадлежат к одной генеральной совокупности вычисляемых величин [9].

Для проверки сравнивались дисперсии локальных величин $tg(\alpha)/[C(Гл)] \equiv h_n$ вдоль калибровочных линий регрессии как показано в таблице 2 (столбцы 3–5).

Таблица 2

Расчётные значения тангенсов наклона прямых линий $tg(\alpha) = d[C(Мс)]^{1,5} / dt$ из таблицы 4 и соотношение их с концентрациями глюкозы в соответствующих сериях растворов согласно рис. 5

Тангенсы наклона прямых для растворов глюкозы из таблицы 4 (столбец 2)		Отношения $tg(\alpha)/[C(Гл)] \equiv h_n$		
		Серии исследованных растворов		
К-ция Гл, моль/л	$tg(\alpha) \cdot 10^9$	Серия 1	Серия 2	Серия 3
1	2	3	4	5
$3,47 \cdot 10^{-3}$	0,49			$1,41 \cdot 10^{-7}$
$6,94 \cdot 10^{-3}$	0,97		$1,40 \cdot 10^{-7}$	
$1,04 \cdot 10^{-2}$	1,46			$1,40 \cdot 10^{-7}$
$1,11 \cdot 10^{-2}$	1,56	$1,40 \cdot 10^{-7}$		
$1,39 \cdot 10^{-2}$	1,94		$1,40 \cdot 10^{-7}$	
$2,08 \cdot 10^{-2}$	2,90			$1,39 \cdot 10^{-7}$
$2,78 \cdot 10^{-2}$	3,88		$1,40 \cdot 10^{-7}$	
$5,56 \cdot 10^{-2}$	7,74		$1,39 \cdot 10^{-7}$	
$1,11 \cdot 10^{-1}$	15,70	$1,41 \cdot 10^{-7}$		
$1,11 \cdot 10^{-1}$	15,56			$1,40 \cdot 10^{-7}$
2,22	312	$1,41 \cdot 10^{-7}$		
Средние, \bar{h}		$1,41 \cdot 10^{-7}$	$1,40 \cdot 10^{-7}$	$1,40 \cdot 10^{-7}$
Дисперсии, s^2		$3,03 \cdot 10^{-19}$	$2,09 \cdot 10^{-19}$	$5,97 \cdot 10^{-19}$

Получены три ряда таких значений (столбцы 3–5) и значения соответствующих им дисперсий (s^2) относительно среднего по формуле (3) [9]:

$$s^2 = \frac{\sum_{n} (h_n - \bar{h})^2}{n-1}, \quad (3)$$

где h_n – расчётные величины $\text{tg}(\alpha)/[C(\text{Гл})] \equiv h_n$ в каждой серии растворов, \bar{h} – средние значения для серии; n – номер аликвоты.

Проверка значимости сделанного предположения показала высокий уровень его достоверности согласно критерию Фишера F (4) [9, С. 63]:

$$F = \frac{S_{\max}^2}{S_{\min}^2} < F_{\text{критич.}}(f_1, f_2, \alpha). \quad (4)$$

Из трёх дисперсий (табл. 2) сравнивались наименьшая (столбец 4) и наибольшая (столбец 5) [9]:, именно :

$$F = 5,97 \cdot 10^{-19} / 2,09 \cdot 10^{-19} = 2,86 < F(3; 3; 0,5) = 9,28.$$

Согласно критерию Фишера, рассмотренные дисперсии однородны, и три различные калибровочные линии регрессии могут быть приведены к одной (рис. 5, б), т.е. результаты калибровки по каждой серии растворов равнозначны, и процедура анализа не зависима от условий приготовления и смешивания растворов реагентов при 40 °С.

По данным всех серий исследованных растворов глюкозы из таблицы 2 составлены обобщённые калибровочные графики в координатах «концентрация С(Гл) в аликвотах – тангенсы наклонов прямых временных зависимостей» и «тангенсы наклонов прямых временных зависимостей – концентрация С(Гл) в аликвотах», инвариантных друг другу (рис. 5, б).

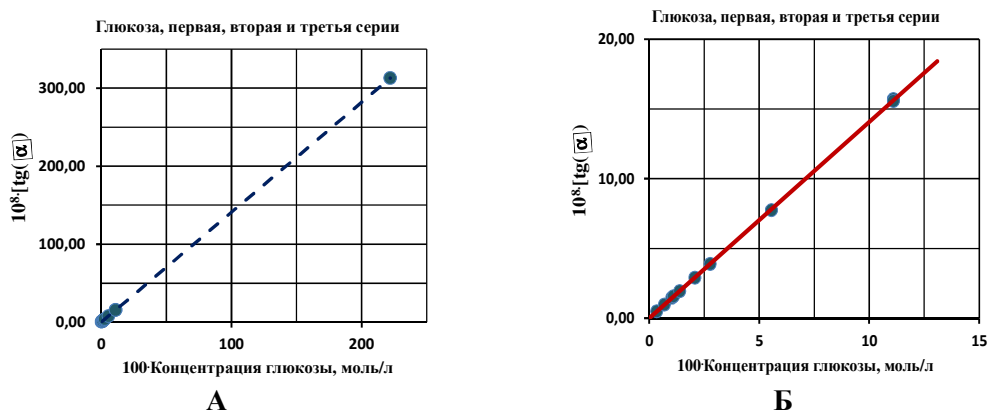


Рис. 5. Калибровочные графики к методу тангенсов по теме статьи: А – в широкой области концентраций глюкозы ($3,47 \cdot 10^{-3} - 2,22$ моль/л) и Б – в области менее концентрированных растворов глюкозы ($3,47 \cdot 10^{-3} - 1,11 \cdot 10^{-1}$ моль/л).

Полученным графикам соответствует обобщённое уравнение регрессии:

$$\operatorname{tg}(\alpha) = 1,41 \cdot 10^{-7} \cdot C(\text{Гл}) \quad (R^2 = 1,000) . \quad (3)$$

На практике более удобно уравнение с обратной зависимостью переменных:

$$C(\text{Гл}) = 7,11 \cdot 10^{+6} \cdot \operatorname{tg}(\alpha), \text{ моль/л}, \quad (4)$$

которому соответствует иной калибровочный график (рис. 6)

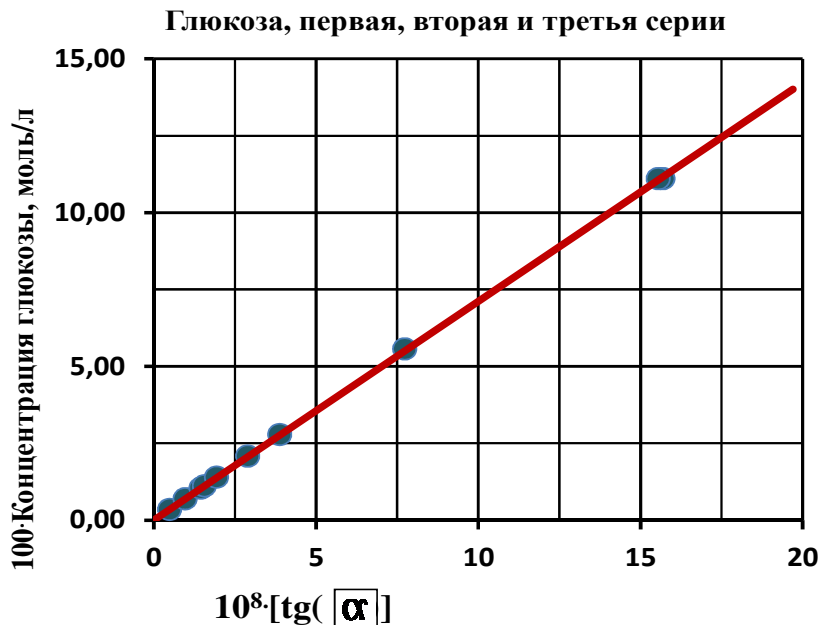


Рис. 6. Калибровочный график к методу тангенсов по теме статьи в области менее концентрированных растворов глюкозы ($3,47 \cdot 10^{-3} - 1,11 \cdot 10^{-1}$ моль/л).

Полученные калибровочные линии регрессии позволяют достаточно эффективно определять концентрацию глюкозы в аликвотах в пределах $3,47 \cdot 10^{-3} - 1,11 \cdot 10^{-1}$ моль/л и $3,47 \cdot 10^{-3} - 2,22$ моль/л (рис. 5, 6) с минимальными затратами реагентов и времени, – достаточно фиксировать суммарное время наблюдения синей окраски раствора при добавках к аликвоте (5–10 раз) по 0,5–2,0 мл раствора метиленового синего концентрацией 1,0 ммоль/л. Чувствительность метода составила 3,5–4,0 ммоль/л глюкозы или, в пересчёте на титр, около 0,72 мг/мл.

Для проверки чувствительности метода проводилось тестирование смеси растворов с разным содержанием глюкозы. **Тест № 1** – смешивались 1:1 растворы с глюкозой концентрацией $1,39 \cdot 10^{-2}$ и $2,78 \cdot 10^{-2}$ моль/л, а в **тесте № 2** – $1,39 \cdot 10^{-2}$ и $6,94 \cdot 10^{-3}$ моль/л.

Процедура анализа включала: 1) нагрев аликвот до $40 \text{ }^{\circ}\text{C}$, 2) 10-разовое вливание в неё по 2,0 мл раствора метиленового синего концентрацией 1,0 ммоль/л, 3) наблюдение исчезновения синей окраски аликвоты с соответствующим фиксированием времени экспозиции, 4) расчёты изменений концентраций реагента-индикатора по мере разбавления его раствора в аликвоте согласно уравнению (1),

5) возведения их величин в степень 1,5; 6) построение графика в координатах «время экспозиции–[C(Мс)]^{1,5}; 7) расчёт тангенса наклона полученной прямой линии к абсциссе, – он составил $2,90 \cdot 10^{-9}$ в первом тесте и $1,46 \cdot 10^{-9}$ во втором.

Подстановка значений этих тангенсов в обобщённое калибровочное уравнение регрессии (4) показала результаты: $(7,11 \cdot 10^{+6}) \cdot (2,90 \cdot 10^{-9}) = 20,65 \cdot 10^{-3}$ и $(7,11 \cdot 10^{+6}) \cdot (1,46 \cdot 10^{-9}) = 10,40 \cdot 10^{-3}$ моль/л для каждого теста. Тестируемые растворы изначально содержали $20,62 \cdot 10^{-3}$ и $10,48 \cdot 10^{-3}$ моль/л глюкозы.

Относительные погрешности анализа тестов здесь составили 0,14 % и 0,77 % соответственно. Приём смешивания растворов известной концентрации с анализируемым применяется в методе добавок и весьма эффективен при анализе растворов глюкозы с низкой её концентрацией, например, в экстрактах природного сырья.

Примечание 1. Графики в таблицах получены после исключения первых 1–2 времён экспозиции и, соответственно, исключением из расчётов первых 1–2 порций добавленного реагента-индикатора. Последнее связано с невозпроизводимостью времени индукционных периодов для первых порций реагента-индикатора. Однако, далее интервалы наблюдаемых времён обесцвечивания аликвот обеспечивали хорошую воспроизводимость рассмотренных тангенсов углов наклона, отмеченных во всех таблицах.

Примечание 2. Графики в таблицах строились после приведения времени экспозиции к температурным условиям 40 °С.

Примечание 3. При контроле температуры водяного термостата важно вести регулярную запись её изменений. Измерения можно не прерывать на установление её значения точно 40 °С, поскольку из массивов данных при регистрируемых колебаниях температуры была определена величина постоянной Вант-Гоффа согласно формуле (6):

$$\frac{t_2}{t_1} = \gamma^{(T_1 - T_2) \cdot 0,1}, \quad (5)$$

$$\text{откуда} \quad \gamma = \left(\frac{t_2}{t_1} \right)^{1/[(T_1 - T_2) \cdot 0,1]}, \quad (6)$$

где T – температура аликвоты, t – время экспозиции.

Всего было проведено 40 парных замеров времени экспозиции в интервалах 8,00–12,00–20,00–30,00–60,00–120,00 с. и диапазонах температур 35–40–55–65 °С.

Найдены значения температурного коэффициента Вант-Гоффа в пяти сериях измерений: 3,28; 3,36; 3,80; 3,65; 3,15. Принято его среднее значение $3,45 \pm 0,01$ с доверительной вероятностью 80 %.

Примечание 4. Полученные данные позволили определить некоторые параметры формального кинетического уравнения процесса восстановления глюкозой метиленового синего в условиях большого молярного избытка глюкозы следующим образом.

1. Преобразованием формулы формальной скорости реакции (7), именно:

$$v_p = -\frac{dC(\text{Mc})}{b \cdot dt} = k \cdot [C(\text{Гл})]^a [C(\text{Mc})]^b, \quad (7)$$

где a, b – порядки реакции по глюкозе и метиленовому синему (ещё не известные).

2. Поскольку $C(\text{Гл})$ в аликвотах остаётся практически неизменной, потребуем, чтобы нашлось уравнение касательной к кривой скорости как постоянной величины:

$$\frac{d[C(\text{Mc})]^{(1-b)}}{(1-b) \cdot b \cdot dt} = -k \cdot [C(\text{Гл})]^a \cong \text{const.}, \quad (8)$$

$$\frac{d[C(\text{Mc})]^{(1-b)}}{dt} = -k \cdot [C(\text{Гл})]^a \cdot (1-b) \cdot b \cong \text{const.} \quad (9)$$

Но в эксперименте все тангенсы углов наклона прямых линий регрессии к оси времён (к абсциссе) описываются выражением:

$$\frac{d[C(\text{Mc})]^{1,5}}{dt} \cong \text{const. при } C(\text{Гл}) \square \text{const.} \quad (10)$$

3. Сопоставлением уравнений (9) и (10) получается, что $1,5 = 1 - b$, откуда $b = -0,5$. Получается рабочее выражение для наблюдаемых тангенсов углов наклона линий регрессии с положительным значением (11):

$$\frac{d[C(\text{Mc})]^{1,5}}{dt} = +0,75 \cdot k \cdot [C(\text{Гл})]^a \cong \text{const.} \quad (11)$$

4. Порядок реакции по $C(\text{Гл})$ определить с помощью приборов не удаётся из-за сильной цветности растворов при избытке метиленового синего. Однако в условиях проводимого анализа эффективный порядок по глюкозе (a) соответствует единице, как это и предусматривает используемый метод тангенса, – это подтверждается типом линий регрессии как калибровочных прямых [6].

5. Из уравнения (11) были рассчитаны значения эффективной константы скорости (k), именно:

$$k = \frac{d[C(\text{Mc})]^{1,5}}{dt} / \{0,75 \cdot [C(\text{Гл})]^a\} = \frac{\text{tg}(\alpha)}{0,75 \cdot [C(\text{Гл})]}. \quad (12)$$

Из уравнений регрессии в таблице 1 (столбцы 2) и формулы (12) следует, что достаточно коэффициент обобщённого калибровочного уравнения (h_n) поделить на число 0,75, чтобы найти значение константы скорости:

$$k = \frac{\text{tg}(\alpha)}{0,75 \cdot [C(\text{Гл})]} = \frac{h_n}{0,75} = \frac{1,41 \cdot 10^{-7}}{0,75} = 1,88 \cdot 10^{-7}. \quad (13)$$

6. Исследование механизма процесса восстановления глюкозой метиленового синего в щелочной среде в статье не предусматривалось.

В итоге нами предложена процедура хода анализа, именно: 1) нагрев аликвот до 40 °С, 2) 6–10 раз вливание в неё по 2,0 мл раствора метиленового синего концентрацией 1,00 ммоль/л, 3) наблюдение исчезновения синей окраски аликвоты с соответствующим фиксированием времени экспозиции (t), 4) расчёты изменений концентраций реагента-индикатора по мере разбавления его раствора в аликвоте

согласно уравнению (1), 5) возведения их величин в степень 1,5; 6) построение графика в координатах «время экспозиции $t - [C(Mc)]^{1,5}$ »; 7) расчёт тангенса угла наклона полученной прямой линии к абсциссе $tg(\alpha)$, 8) подстановка значения этого тангенса в обобщённое уравнение регрессии (13):

$$C(Гл) = (7,11 \cdot 10^{+6}) \cdot tg(\alpha), \quad (13)$$

где
$$tg\alpha = \frac{d[C(Mc)]^{1,5}}{dt} \Big|_{C(Гл)=const} \quad (14)$$

при условии $C(Гл) \gg C(Mc)$.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Впервые кинетический метод анализа (в частности, метод тангенсов) применен для количественного определения глюкозы в водных растворах с использованием метиленового синего как вещества-индикатора при pH 9–11. Впервые получены калибровочные графики и соответствующие инвариантные уравнения линий регрессии в координатах «Тангенсы угла наклона функции концентрации $C(Mc)$ к абсциссе–концентрация глюкозы $C(Гл)$ » и «концентрация глюкозы $C(Гл)$ –Тангенсы угла наклона функции концентрации $C(Mc)$ к абсциссе.
2. Показана возможность использовать метод тангенсов для определения некоторых параметров соответствующего кинетического уравнения. Рассчитаны значения: а) $1,88 \cdot 10^{-7}$ для эффективной константы скорости; б) первый порядок реакции для глюкозы как реагента; –0,5 порядок реакции для реагента-индикатора (метиленового синего).
3. Определена чувствительность применённого метода тангенсов к определению глюкозы в 3,50 ммоль/л (или 0,63 мг/мл).

Список литературы

1. Устименко В. Н. Рациональные методы определения сахаров в растительной продукции (тезисы доклада научной конференции) / В. Н. Устименко, Т. Г. Пономарёва // Сб. тезисов докладов участников Российской теоретической и научно-практической, юбилейной конференции «Агробиологические основы адаптивно-ландшафтного ведения сельскохозяйственного производства» (посвященной 100-летию создания Академии биоресурсов и природопользования) (12–16 октября 2018 г., г. Симферополь). – Симферополь: АБиП КФУ им. В.И. Вернадского, 2018. – С. 19–22
2. Эшворд М. Р. Ф. Титриметрические методы анализа органических соединений. Методы прямого титрования / М. Р. Ф.Эшворд. – М. Химия, 1968. – 555 с.
3. Применение метода Лэйнл–Эйнона в анализе редуцирующих сахаров экстракта физалиса / Т. Ю. Гумсров, К. Ю. Маркова, Д. И. Валоева, О. А. Решетник // Вестник технологического университета. – 2017. – Т. 20, № 2. – С. 144–146.
4. Влияние избытка глюкозы на физиологические и биохимические характеристики листьев сахарной свёклы в зависимости от возраста листа и всего растения / А. К. Романова, А. Р. Игнатъев, В. А. Мудрик, С. Е. Пермяков, Б. Н. Иванов // Физиология растений.– 2008.– Т. 55, № 2.– С 219–229.
5. Устименко В. Н. Термодинамика и кинетические модели природного биосинтеза монотерпеновых компонентов эфирных масел растений рода *Artemisia* / В. Н. Устименко, Г. В. Ходаков // Учёные записки КФУ им. В. И. Вернадского Биология. Химия.– 2018. – Т. 4 (70), № 3. – С. 219–241.

6. Яцимирский К. Б. Кинетические методы анализа / К. Б. Яцимирский. – М.: Химия, 1967. – 200 с.
7. Шмид Р. Неформальная кинетика. В поисках путей химических реакций: пер. с англ. / Р. Шмид, В. Н. Сапунов – М.: Мир, 1985. – 264 с.
8. Ларсен Р. У. Инженерные расчёты в Excel / Р. У. Ларсен. – М.: Вильямс, 2001. – 544 с.
9. Закгейм А. Ю. Введение в моделирование химико-технологических процессов. 2-е изд. перераб. и доп. / А. Ю. Закгейм. – М.: Химия, 1982. – 288 с.

KINETIC METHOD TO DETERMINATE THE QUANTITY OF A GLUCOSE IN WATER SOLUTIONS

Ustimenko V. N.¹, Ponomareva T. G.², Khodakov G. V.³

¹*Crimean engineering and pedagogical university by the name of Fevzi Yakubov, Simferopol, Russia*

²*Institute of biochemical technologies, ecology and pharmacy CFU by the name of V.I. Vernadsky, Simferopol, Russia*

³*Agrotechnological academy CFU by the name of V.I. Vernadsky, Simferopol, Russia*

E-mail: uvn_@mail.ru

In the present article, the application of kinetic method which permits to define the quantity of glucose in water solutions is coincided as most sensitive chemical methods of the analysis. One puts the problem to develop a procedure of the analysis, which is most comprehensible to make researches «in field conditions», especially about a dynamic of photosynthesis and researches about the productivity of terpene hydrocarbons in ethereous plants, where a glucose and isoprene take place.

For the first time kinetic methods of the analysis (in particular, a method of tangents) are applied to quantitative definition of glucose in water solutions, where one used the methylene dark blue as the material-indicator at pH 9–11. By means of applied packages of MS Excel some calibration graphs with the co-ordinates «tangents of line corner –the glucose concentration» and «the glucose concentration–tangents of line corner » in the field of the glucose concentrations such as $3,50 \cdot 10^{-3}$ – $2,22$ mole/L are constructed. The regression equations for these calibration graphs are received, the coefficients of determination R^2 had the value of 1,000.

Possibility to use the method of tangents due to define some parameters of the corresponded formal kinetic equation is shown. There was defined the parameters of the formal kinetic equation such as $1,88 \cdot 10^{-7}$ for an effective kinetic constant, as well as the orders of the reaction between reagents, namely: the first for a glucose and –0,5 for the methylene dark blue. Sensitivity of the applied method of tangents to the glucose definition is defined as 3,5 mmol/L (or 0,63 mg/mL). The temperature coefficient of Vant-Goff by the value $3,45 \pm 0,01$ and the confidential probability by 80 % are calculated.

Keywords: glucose, the methylene dark blue, formal kinetics, an effective kinetic constant, the calibration graph, statistical criteria, the regression equation.

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 546.185 + 547.787.1

DOI 10.29039/2413-1725-2024-10-4-288-295

СИНТЕЗ АЛЬДЕГИДОВ БЕНЗИМИДАЗОЛЬНОГО РЯДА

Цикалов В. В., Цикалова В. Н., Поддубов А. И., Дзикович И. А., Гусейнова У. Р.

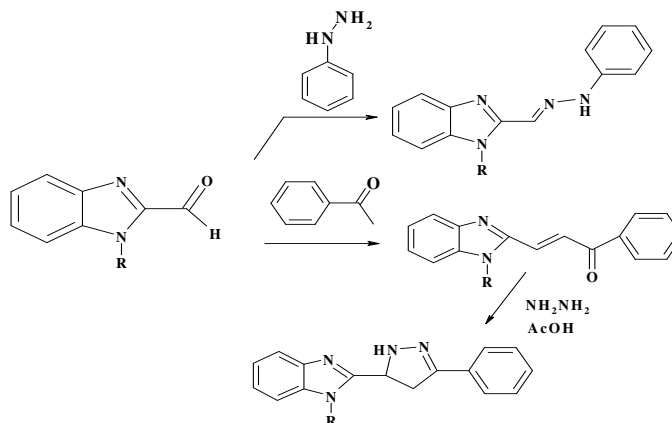
*Институт биохимических технологий, экологии и фармации ФГАОУ ВО «КФУ им. В.И. Вернадского», Симферополь, Республика Крым
E-mail: ts_v_v@mail.ru*

Окислением 1-изобутилбензимидазол-2-илметанола и [1-(2-фторбензил)-бензимидазол-2-ил]метанола эквимольным количеством селенистой кислоты в условиях кипения растворителя были получены соответствующие альдегиды. Синтезы проводили при интенсивном перемешивании в первом варианте в смеси растворителей толуола и 1,4-диоксана, а во втором варианте только в среде толуола. Структура 1-изобутилбензимидазол-2-карбальдегида подтверждена методом ^1H -ЯМР-спектроскопии. Строение 1-(2-фторбензил)-бензимидазол-2-карбальдегида подтверждено методом ^1H -ЯМР-спектроскопии на примере его производного гидроксиметилсульфокислоты. Программой PASSOnline произведен расчет потенциальной противовирусной, психотропной и иммуномодулирующей активностей 1-изобутилбензимидазол-2-илметанола, полученного соответствующего альдегида и потенциального халкона.

Ключевые слова: окисление, альдегиды, бензимидазол, диоксид селена, PASSOnline.

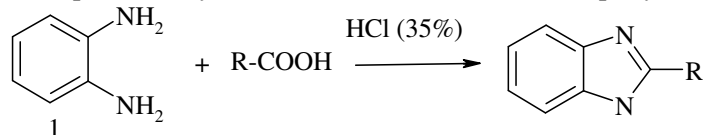
ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время большое количество исследований и трудов в органической химии посвящено разработке новых способов синтеза бензимидазолов с различными фармакофорными группами. Наличие тех или иных заместителей определяет биологическую активность бензимидазола. В органической химии бензимидазолов большое внимание уделяется альдегидам как исходным синтонам для получения других классов соединений, например, халконов, гидразидов, пиразолонов, карбоновых кислот и их эфиров, спиртов и других групп соединений [1, 2].

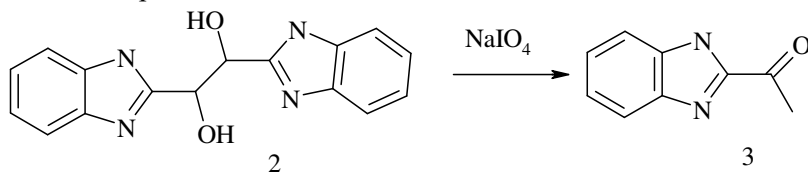


СИНТЕЗ АЛЬДЕГИДОВ БЕНЗИМИДАЗОЛЬНОГО РЯДА

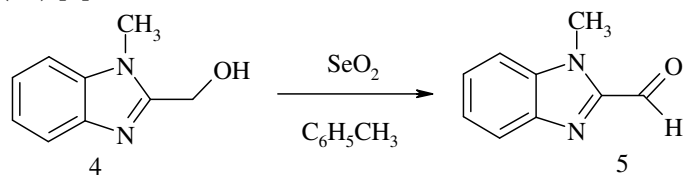
Основной реакцией получения бензимидазолов является конденсация 1,2-фенилендиамина **1** с рядом жирных, жирноароматических и ароматических кислот в присутствии соляной кислоты, в результате чего образуются 2-замещенные бензимидазолы [3–5]. Природа диаминна, карбоновой кислоты и концентрация соляной кислоты определяют условия конденсации и выход продукта реакции.



Для синтеза альдегидов на основе бензимидазолов используют уже целевые их производные, в частности спирты, которые впоследствии окисляют различными неорганическими и органическими окислителями.



Для 2-формилбензимидазола **3** или его аналогов существует несколько методов окисления. В первом варианте эти карбонильные соединения синтезируют окислением соответствующих димерных соединений. Так 2,2-дигидроксиэтилендибензимидазол **2** подвергали воздействию метапериодата натрия в сернокислом растворе [6]. Выход 2-формилбензимидазола **3** составил 98 %. Его гомолог 1-метил-2-формилбензимидазол был получен также с высоким выходом окислением 1,2-ди-(1-метилбензимидазол-2-ил)этандиола-1,2 с помощью ацетата свинца(IV) [7].



Во втором варианте альдегиды получают из соответствующих спиртов путем их окисления диоксидом селена или селенистой кислотой в толуоле или 1,4-диоксане при кипячении растворителя. Так, 1-метил-2-формилбензимидазол **5** был получен с выходами 87–92 %. Однако данные об образовании 2-формилбензимидазола, не замещенного в первом положении при окислении селенистой кислотой или оксидом селена в литературе отсутствуют.

Поскольку альдегидные производные бензимидазола являются исходными синтонами для различных групп органических соединений целью данной работы было получение альдегидов из соответствующих спиртов на основе бензимидазола в присутствии окислителя селенистой кислоты как в смеси растворителей 1,4-диоксана и толуола, так и в чистом толуоле в условиях кипения, а также исследование для ряда веществ потенциальной биологической активности с помощью программы PASSOnline.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В работе использованы: 1,4-диоксан, толуол, бензол, пропан-2-ол, селенистая кислота, гидросульфит натрия.

Анализ состава реакционных смесей, чистоты синтезированных соединений, а также контроль хода реакций осуществляли методом тонкослойной хроматографии (ТСХ) на пластинках Kieselgel 60-F254 (Merck) в системе растворителей бензол–пропан-2-ол, 10:1 (система А). Вещества обнаруживали визуально по люминесценции в УФ (254 нм).

Спектры ^1H -ЯМР получены на приборе Varian VXR-400, (Институт живых систем Северо-Кавказского федерального университета, г. Ставрополь). Внутренний стандарт – тетраметилсилан, химические сдвиги в δ -шкале.

Синтез 1-изобутилбензимидазол-2-карбальдегида (7).

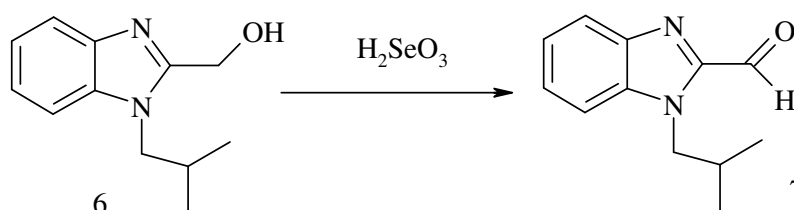


Рис. 1. Схема синтеза 1-изобутилбензимидазол-2-карбальдегида 7.

Вариант 1. В коническую плоскодонную колбу емкостью 50 мл, снабженную магнитным сердечником, ловушкой Дина-Старка и воздушным холодильником помещают 4,36 г (0,021 моль) (1-изобутилбензимидазол-2-ил)метанола **6**, 2,7 г (0,021 моль) селенистой кислоты, добавляют 30 мл смеси растворителей диоксана и толуола в соотношении 1:1. Смесь ставят на электромагнитную мешалку с нагревом и нагревают до кипения. Синтез идет в течение 3–4-х часов при температуре бани 200 С при интенсивном перемешивании. В ходе реакции выделяется 3,6 мл воды. Полноту протекания синтеза проверяют каждый час с помощью тонкослойной хроматографии в системе А. По окончании синтеза колбу охлаждают до комнатной температуры, черный осадок селена отфильтровывают через складчатый фильтр и промывают диоксаном (2 порции по 15 мл). Смесь растворителей диоксана и толуола упаривают на роторном испарителе. Выход аморфного соединения **7**: 72 %.

^1H -ЯМР (DMSO- d_6): 0,85 м.д. (6H, д, $-\text{CH}_2-\text{CH}-(\text{CH}_3)_2$); 2,12 м.д. (1H, д.д, $-\text{CH}_2-\text{CH}-(\text{CH}_3)_2$); 4,41 м.д. (2H, д, $-\text{CH}_2-\text{CH}-(\text{CH}_3)_2$); 7,30–7,92 м.д. (4H, м, Ar); 10,01 м.д. (1H, с, $-\text{CHO}$).

Вариант 2. Синтез проводят аналогично варианту 1 в среде растворителя толуола. Выход соединения **7**: 65 %.

Синтез 1-(2-фторбензил)-бензимидазол-2-карбальдегида (**9**).

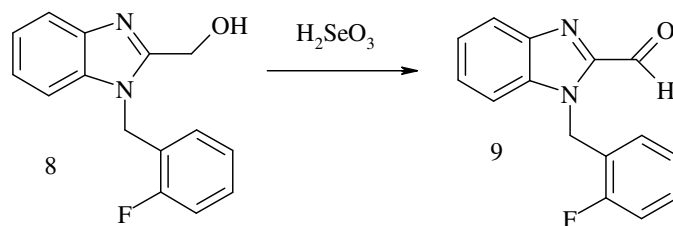


Рис. 2. Схема синтеза 1-(2-фторбензил)бензимидазол-2-карбальдегида **9**.

Вариант 1. В коническую плоскодонную колбу емкостью 50 мл, снабженную магнитной мешалкой, ловушкой Дина-Старка и воздушным холодильником помещают 9,79 г (0,038 моль) [1-(2-фторбензил)-1*H*-бензимидазол-2-ил]метанола **8**, 4,90 г (0,038 моль) селенистой кислоты, добавляют 30 мл смеси растворителей диоксана и толуола. Смесь ставят на электромагнитную мешалку с нагревом и нагревают до кипения. Синтез идет в течение 3–4-х часов при температуре 200–250 °С при интенсивном перемешивании. В ходе реакции выделяется 0,72 мл воды. Полноту протекания синтеза проверяют каждый час с помощью тонкослойной хроматографии в системе А. По окончании синтеза колбу охлаждают до комнатной температуры, черный осадок селена отфильтровывают через складчатый фильтр и промывают диоксаном (2 порции по 15 мл). Диоксан упаривают на роторном испарителе. Выход соединения **9** составил 78 %. Т.пл. = 228–230 °С

Вариант 2. Синтез проводят аналогично варианту 1 в среде растворителя толуола. Выход соединения **9**: 70 %.

Синтез 1-(2-фторбензил)бензимидазол-2-илгидроксиметилсульфонокислоты (**11**).

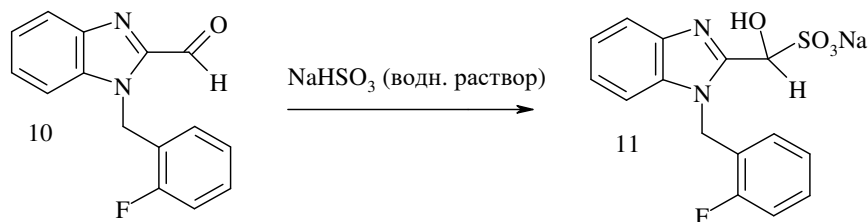


Рис. 3. Схема синтеза 1-(2-фторбензил)бензимидазол-2-илгидроксиметилсульфонокислоты **11**.

К 12,7 г (0,050 моль) стеклообразного альдегида **10**, находящегося в конической плоскодонной колбе емкостью 50 мл, снабженной магнитной мешалкой, приливают свежеприготовленный 40 %-й водный раствор гидросульфита (бисульфита) натрия 7,87 г (0,063 моль). Полученную смесь многократно встряхивают и затем добавляют этанол (20 мл). Выпавшие кристаллы отделяют фильтрованием и промывают на фильтре спиртом. Полученное соединение сушат на воздухе. Выход вещества **11**: 80 %.

^1H -ЯМР (DMSO- d_6): 5,06 м.д. (2H, с, $-\text{CH}_2-$); 5,57 м.д. (1H, с, $-\text{CHOH}-\text{SO}_3\text{Na}$); 6,91–7,42 м.д. (8H, м, Ar); 10,98 м.д. (1H, с, $-\text{CHOH}-\text{SO}_3\text{Na}$).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

В результате проведенной работы были получены новые производные бензимидазола, а именно 1-изобутилбензимидазол-2-карбальдегид **7** и 1-(2-фторбензил)-бензимидазол-2-карбальдегид **9**. Окисление исходных спиртов проводили селенистой кислотой. (1-Изобутилбензимидазол-2-ил)метанол **6** и [1-(2-фторбензил)-бензимидазол-2-ил]метанол **8** подвергали воздействию эквимольных количеств селенистой кислоты в течение 3-4-х часов при температуре бани 200 °С при интенсивном перемешивании в первом варианте в смеси равных объемов растворителей толуола и 1,4-диоксана, а во втором варианте только в среде толуола. После проведения синтеза и обработки выходы для 1-изобутилбензимидазол-2-карбальдегида **7** составили 72 % и 65 % соответственно, а для 1-(2-фторбензил)-бензимидазол-2-карбальдегида **9** 78 % и 70 % соответственно. В результате окисления исходных спиртов селенистой кислотой было показано, что данный окислитель можно использовать для подобных реакций, поскольку он позволяет получить продукты реакции с высокими выходами. Также результаты синтезов показали эффективность использования смеси растворителей, чем одного толуола.

Альдегидная группа соединения **9** взаимодействует с бисульфита натрия в водном растворе. В результате реакции и последующей обработки реакционной смеси было выделено кристаллическое соединение **10** с выходом 80 %

Строение полученных бензимидазолов **7** и **10** было подтверждено ^1H -ЯМР-спектроскопией. В ^1H -ЯМР спектре 1-изобутилбензимидазол-2-карбальдегида наблюдаются следующие характеристические сигналы: дублет шести протонов метиленовых групп с химическим сдвигом 0,85 м.д. изобутильного радикала, дублет дублетов метинового протона с химическим сдвигом 2,12 м.д. изобутильного радикала, дублет двух протонов метиленовой группы с химическим сдвигом 4,41 м.д. изобутильного радикала, мультиплет четырех ароматических протонов с химическим сдвигом 7,30–7,92 м.д. и синглет альдегидного протона с химическим сдвигом 10,01 м.д. В ^1H -ЯМР спектре бисульфитного производного 1-(2-фторбензил)бензимидазол-2-карбальдегида наблюдаются следующие характеристические сигналы: дублет двух протонов метиленовой группы 2-фторфенилметильного радикала с химическим сдвигом 4,41 м.д., синглет метинового протона гидроксиметилсульфогруппы с химическим сдвигом 5,57 м.д., мультиплеты восьми ароматических протонов с химическим сдвигом в области 6,91–7,42 м.д., синглет гидроксильного протона гидроксиметилсульфогруппы с химическим сдвигом 10,98 м.д.

С помощью программы PASSOnline [8] была рассчитана потенциальная биологическая активность 1-изобутилбензимидазол-2-илметанола **6** и 1-изобутилбензимидазол-2-карбальдегида **7**. Для 1-изобутилбензимидазол-2-илметанола были выявлены следующие возможные виды биологической активности – «лечение фобических расстройств» с вероятностью 75 %, «стимулятор выработки

инсулина» с вероятностью 70 %, «антивирусная» с вероятностью 59 %, «нейропсихическая» с вероятностью 54 %. Для 1-изобутилбензимидазол-2-карбальдегида были выявлены следующие возможные виды биологической активности – «лечение фобических расстройств» с вероятностью 72 %, «стимулятор выработки инсулина» с вероятностью 56 %, «антивирусная» с вероятностью 49 %, «нейропсихическая» с вероятностью 51 %.

Для всех рассмотренных видов биологической активности для 1-изобутилбензимидазол-2-карбальдегида прогнозируются меньшие значения, чем для исходного спирта. Полученные данные представлены в таблице 1.

Таблица 1
Оценка биологической активности в программе PASSOnline соединений 6 и 7.

Вещество	Лечение фобических расстройств	Стимулятор выработки инсулина	Антивирусная активность	Нейропсихическая активность
6	0,750	0,698	0,590	0,545
7	0,723	0,562	0,487	0,511

Из 1-изобутилбензимидазол-2-карбальдегида могут быть получены различные производные бензимидазола, например, халкон 3-(1-изобутилбензимидазол-2-ил)-1-фенилпропенон, для которого программой PASSOnline прогнозируются потенциальные иммуномодулирующие свойства. В частности, «интерферон альфа агонист» с вероятностью 73 %, «антагонист интерлейкина 1» с вероятностью 52 %, «иммуномодулятор» с вероятностью 48 %, «антагонист интерлейкина 4» с вероятностью 39 %.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Окислением соответствующих спиртов бензимидазола селенистой кислотой с высокими выходами были получены 1-изобутилбензимидазол- и 1-(2-фторбензил)бензимидазол-2-карбальдегиды.
2. Показана эффективность двуокиси селена в качестве окислителя альдегидной группы в ряду полученных бензимидазолов.
3. С помощью программы PASSOnline показано наличие ряда видов прогнозируемой биологической активности для 1-изобутилбензимидазол-2-карбальдегида и исходного спирта.

Список литературы

1. Оганесян, Э. Т. Взаимосвязь электронная структура – активность производных пропена / Э. Т. Оганесян, А. В. Погребняк // Химико-фармацевтический журнал. – 1995. – № 1. – С. 28–30.
2. Синтез и использование халконов для получения гетероциклических структур / А. В. Великородов, В. А. Ионова, С. И. Темирбулатова [и др.] // Журнал органической химии. – 2013. – Т. 49, № 11. – С. 1631–1637.

3. Facile synthesis of benzimidazole, benzoxazole, and benzothiazole derivatives catalyzed by sulfonated rice husk ash (RHA-SO₃H) as an efficient solid acid catalyst / F. Shirini, M. Mamaghani, M. Seddighi // Res. Chem. Intermed. – 2014. – Vol. 41, № 8. – P. 5611–5619.
4. 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.
5. Green Protocol: Solvent- and Catalyst-Free Synthesis of Benzimidazole Derivatives via Microwave Technique / E. Mentese, I. S. Doğan, B. Kahveci // Chem. Heterocycl. Compd. – 2013. – Vol. 49, № 8. – P. 1136–1140.
6. Пожарский, А. Ф. Синтез бензимидазолов / А. Ф. Пожарский, А. М. Симонов // Журн. общей химии. – 1963. – Т. 33. – С.179–181.
7. Порай-Кошиц, Б. А. Синтез и свойства некоторых производных бензимидазола / Б. А. Порай-Кошиц, Г. М. Хархарова // Журн. общ. химии. – 1955. – Т. 29. – С. 2677–2681.
8. Pharma expert predictive services «PASS online» [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).

SYNTHESIS OF ALDEHYDES OF BENZIMIDAZOLE GROUP

Tsikalo V. V., Tsikalova V. N., Poddubov A. I., Dzikovich I. A., Guseinova U. R.

*V. I. Vernadsky Crimean Federal University, Simferopol, Crimea
E-mail: vika.tim@list.ru*

In the organic chemistry of benzimidazoles, much attention is paid to aldehydes as starting synthons for the preparation of other classes of compounds, for example, chalcones, hydrazides, pyrazolones, carboxylic acids and their esters, alcohols and other groups of compounds. In this work, 1-isobutylbenzimidazole-2-carbaldehyde and 1-(2-fluorobenzyl)-benzimidazole-2-carbaldehyde were obtained. The oxidation of the starting alcohols was carried out with selenous acid. (1-Isobutylbenzimidazol-2-yl)methanol and [1-(2-fluorobenzyl)benzimidazol-2-yl]methanol were exposed to equimolar amounts of selenous acid for 3-4 hours at temperature of 200 °C at intensive stirring. In the first option in a mixture of equal volumes of toluene and 1,4-dioxane solvents, and in the second option only in toluene. After synthesis and processing, the yields for 1-isobutylbenzimidazole-2-carbaldehyde were 72 % and 65 %, respectively, and for 1-(2-fluorobenzyl)-benzimidazole-2-carbaldehyde 78 % and 70 %, respectively. It was shown that selenous acid can be used for such reactions, since it allows one to obtain reaction products in high yields. Also, the results of the syntheses showed the effectiveness of using a mixture of solvents than toluene alone. 1-(2-Fluorobenzyl)-benzimidazole-2-carbaldehyde was treated with an aqueous solution of sodium bisulfite. As a result of synthesis and processing, crystalline compound was isolated in 80 % yield.

In the ¹H-NMR spectrum of 1-isobutylbenzimidazole-2-carbaldehyde the following characteristic signals are observed: a doublet of six protons of methylene groups with a chemical shift of 0.85 ppm. of isobutyl radical, a doublet of doublets of the methine proton with a chemical shift of 2.12 ppm. of isobutyl radical, multiplet of four aromatic protons with a chemical shift of 7.30–7.92 ppm. and a singlet of the aldehyde proton with a chemical shift of 10.01 ppm. In the ¹H-NMR spectrum of the bisulfite derivative of 1-(2-fluorobenzyl)benzimidazole-2-carbaldehyde, the following characteristic signals are

observed: a doublet of two protons of the methylene group of the 2-fluorophenylmethyl radical with a chemical shift of 4.41 ppm, multiplets of eight aromatic protons with a chemical shift in the region 6.91–7.42 ppm, singlet of the hydroxyl proton of the hydroxymethylsulfo group with a chemical shift of 10.98 ppm.

Using the PASSOnline program, the potential biological activity of 1-isobutylbenzimidazol-2-ylmethanol, 1-isobutylbenzimidazole-2-carbaldehyde and chalcone 3-(1-isobutylbenzimidazolyl-2)-1-phenylpropenone was calculated.

Keywords: oxidation, aldehydes, benzimidazole, selenium(IV) dioxide, PASSOnline.

References

1. Oganesyan E. T., Pogrebnyak A. V. Relationship between electronic structure and activity of propenone derivatives, *Chemical-pharmaceutical journal*, **1**, 28 (1995). (in Russ.)
2. Velikorodov A. V., Ionova V. A., Temirbulatova S. I., Titova O. L., Stepkina N.N. Synthesis and use of chalcones for the preparation of heterocyclic structures, *Journal of Organic Chemistry*, **49** (11), 1631 (2013). (in Russ.)
3. Shirini F., Mamaghani M., Seddighi M. Facile synthesis of benzimidazole, benzoxazole, and benzothiazole derivatives catalyzed by sulfonated rice husk ash (RHA-SO₃H) as an efficient solid acid catalyst, *Res. Chem. Intermed.*, **41** (8), 5611 (2014).
4. Soni L. K., Narsinghani T., Sethi A. Anti-microbial benzimidazole derivatives: synthesis and in vitro biological evaluation, *Med. Chem. Res.*, **21** (12), (2012).
5. Menteşe E., Doğan I. S., Kahveci B. Green Protocol: Solvent- and Catalyst-Free Synthesis of Benzimidazole Derivatives via Microwave Technique, *Chem. Heterocycl. Compd.*, **49** (8), 1136 (2013).
6. Pozharsky A. F., Simonov A. M. Synthesis of benzimidazoles, *Journal general chemistry*, **33**, 179 (1963). (in Russ.)
7. Poraj-Koshits B. A., Kharkharov G. M. Synthesis and properties of some benzimidazole derivatives, *Journal of General Chemistry*, **29**, 2677 (1955). (in Russ.)
8. Pharma expert predictive services «PASS online» [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>

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

- Адиева
Айна Ахмедовна** Прикаспийский институт биологических ресурсов Дагестанского федерального исследовательского центра Российской Академии Наук, профессор кафедры естественнонаучных дисциплин; ГАОУ ДО РД «Центр Развития Талантов «Альтаир», педагог дополнительного образования, доктор биологических наук, доцент, e-mail: J120712@yandex.ru
- 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
- Аидинов
Ислям Джевдетович** Институт биохимических технологий, экологии и фармации (структурное подразделение) ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет имени В. И. Вернадского», обучающийся 1 курса аспирантуры кафедры физиологии человека и биофизики, e-mail: aidinov20022@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,
- Амирханова
Ирина Вазировна** Прикаспийский институт биологических ресурсов Дагестанского федерального исследовательского центра Российской академии наук, кандидат биологических наук, научный сотрудник; ГАОУ ДО РД «Центр Развития Талантов «Альтаир»,
- Балтина
Татьяна Валерьевна** Казанский федеральный университет, Институт фундаментальной медицины и биологии, кандидат биологических наук, доцент, e-mail: tvbaltina@gmail.com
- 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
- Бикчентаева
Лейсан Маратовна** Казанский федеральный университет, Институт фундаментальной медицины и биологии, младший научный сотрудник, e-mail: leysanbm@mail.ru

Бирюкова Елена Александровна	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
Бирюкова Елена Николаевна	ФГБОУ ВО Астраханский ГМУ Минздрава России, ассистент кафедры фармакогнозии, фармацевтической технологии и биотехнологии, e-mail: Elenka45411@mail.ru
Борисенко Даниил Александрович	Институт биохимических технологий, экологии и фармации (структурное подразделение) ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет им. В. И. Вернадского», обучающийся направления подготовки 06.03.01
Быкова Тамара Олеговна	Институт биохимических технологий, экологии и фармации (структурное подразделение) ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет им. В. И. Вернадского», старший лаборант, ассистент кафедры общей биологии и генетики
Витер Татьяна Вадимовна	ФГБУН ФИЦ «Институт биологии южных морей им. А. О. Ковалевского РАН», младший научный сотрудник, e-mail: viter_tv@ibss.su
Владычак Виктор Владимирович	ФГКУЗ «Противочумная станция Республики Крым» Роспотребнадзора, зоолог отделения эпизоотологического мониторинга отдела эпидемиологии, e-mail: vladychak.victor@mail.ru
Власенко Сергей Валерьевич	Научно-исследовательский институт детской курортологии, физиотерапии и медицинской реабилитации, невролог, e-mail: vlasenko65@rambler.ru
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
Ганиулли Амира Рафисовна	ФГБОУ ВО Астраханский ГМУ Минздрава России, студентка педиатрического факультета, e-mail: amirag2001@mail.ru
Головин Михаил Сергеевич	Новосибирский государственный педагогический университет, кандидат биологических наук, доцент кафедры анатомии, физиологии и безопасности жизнедеятельности
Горбунов Роман Вячеславович	ФИЦ «Институт биологии южных морей им. А. О. Ковалевского РАН», доктор географических наук, директор

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»
Громыко Михаил Васильевич	Южно-Уральский государственный университет, аспирант кафедры теории и методики физического воспитания и спорта, тренер по скалолазанию, e-mail: mikhailgromyko@mail.ru
Гусейнова Усние Рустемовна	Институт биохимических технологий, экологии и фармации ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет им. В.И. Вернадского», студент 4 курса по направлению подготовки 04.03.01 Химия
Делагарди Эстер Ренардовна	Новосибирский государственный педагогический университет, аспирант кафедры анатомии, физиологии и безопасности жизнедеятельности
Джелдубаева Эльвиза 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
Дзикович Илья Андреевич	Институт биохимических технологий, экологии и фармации (структурное подразделение) ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет им. В.И. Вернадского», обучающийся 4 курса
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»
Ершов Валерий Юрьевич	Великолукская государственная академия физической культуры и спорта, доцент кафедры теории и методики легкой атлетики, e-mail: together-m-m@yandex.ru
Ершова Татьяна Сергеевна	ФГБОУ ВО «Астраханский государственный технический университет», доктор биологических наук, профессор кафедры «Гидробиология и общая экология», e-mail: ershova_ts@mail.ru
Желтухина Ангелина Федоровна	Казанский федеральный университет, Институт фундаментальной медицины и биологии, лаборант-исследователь, e-mail: angelina7385@yandex.ru

- Зайцев Вячеслав Федорович** ФГБОУ ВО «Астраханский государственный технический университет», доктор сельскохозяйственных наук, профессор, заведующий кафедрой «Гидробиология и общая экология», e-mail: viacheslav-zaitsev@yandex.ru
- Ибрагимова Эвелина Энверовна** ГБОУВО РК «Крымский инженерно-педагогический университет имени Февзи Якубова», кандидат биологических наук, доцент, заведующий кафедрой биологии, экологии и безопасности жизнедеятельности
- Иванова Виктория Романовна** Институт биохимических технологий, экологии и фармации ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет имени В. И. Вернадского», обучающаяся 5 курса заочной формы обучения, кафедра физиологии человека и биофизики, e-mail: vika1315204@gmail.com
- Ивашов Анатолий Васильевич** Институт биохимических технологий, экологии и фармации ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет имени В. И. Вернадского», доктор биологических наук, профессор кафедры общей биологии и генетики
- Исрапилова Ашура Исмаиловна** Прикаспийский институт биологических ресурсов Дагестанского федерального исследовательского центра Российской академии наук, аспирант, e-mail: J120712@yandex.ru.
- Кайда Анна Ивановна** Научно-исследовательская лаборатория «Перспективные технологии физической реабилитации, спорта и восстановительной медицины» научно-клинического центра "Технологии здоровья и реабилитации", младший научный сотрудник
- Калюжный Евгений Александрович** ФГБОУ ВО «Приволжский исследовательский медицинский университет» Министерства здравоохранения Российской Федерации, кандидат биологических наук, доцент, доцент кафедры нормальной физиологии им. Н. Ю. Беленкова
- Кезик Екатерина Васильевна** Институт биохимических технологий, экологии и фармации ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет имени В. И. Вернадского», магистр кафедры физиологии человека и животных и биофизики
- Кобечинская Валентина Григорьевна** Институт биохимических технологий, экологии и фармации (СП) ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет имени Вернадского», кандидат биологических наук, доцент кафедры общей биологии и генетики, e-mail: valekohome@mail.ru
- Ковалёва Маргарита Александровна** ФГБУН ФИЦ «Институт биологии южных морей им. А. О. Ковалевского РАН», кандидат биологических наук, старший научный сотрудник, e-mail: kovalevamargarita@ibss-ras.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
Корж Елена Николаевна	ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет», кандидат химических наук, доцент кафедры «Химия и химические технологии»
Корощенко Галина Анатольевна	Новосибирский государственный педагогический университет, кандидат биологических наук, и.о. заведующего кафедры анатомии, физиологии и безопасности жизнедеятельности
Куанова Алина Савитовна	ФГБОУ ВО «Астраханский государственный технический университет», аспирант, ассистент кафедры «Гидробиология и общая экология», e-mail: alina29-94@mail.ru
Лисовая Дарья Сергеевна	Институт биохимических технологий, экологии и фармации ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет имени В. И. Вернадского», выпускница кафедры общей биологии и генетики
Литвинова Наталья Викторовна	ФГБУ «Астраханский ордена Трудового Красного Знамени государственный природный биосферный заповедник», старший научный сотрудник, e-mail: litvinova.mama@yandex.ru
Макалатия Мария Кахаевна	ФГБОУВО Астраханский ГМУ Минздрава России, студентка педиатрического факультета, e-mail: maria.makalatia@yandex.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
Мальцев Владислав Анатольевич	ФГАОУ ВО Крымский федеральный университет имени В. И. Вернадского, доцент кафедры спорта и физического воспитания
Матвеева Анастасия Андреевна	ФГБОУ ВО «Астраханский государственный технический университет», лаборант кафедры «Гидробиология и общая экология», e-mail: yuzhalina_an@mail.ru
Милукова Ольга Александровна	Институт биохимических технологий, экологии и фармации, ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет им. В. И. Вернадского», магистр 1 курса

Михайлова Екатерина Алексеевна	Великолукская государственная академия физической культуры и спорта, кандидат биологических наук, доцент кафедры физиологии и спортивной медицины, e-mail: together-m-m@yandex.ru
Мишин Александр Сергеевич	ФГБУ «Воронежский государственный заповедник», старший научный сотрудник, e-mail: mishin.vrn@gmail.com
Моисеев Сергей Александрович	Великолукская государственная академия физической культуры и спорта, Научно-исследовательский институт проблем спорта и оздоровительной физической культуры, кандидат биологических наук, научный сотрудник, e-mail: sergey_moiseev@vlgafc.ru
Мурталиева Вероника Хамидуллаевна	ФГБОУ ВО Астраханский ГМУ Минздрава России, ассистент кафедры фармакогнозии, фармацевтической технологии и биотехнологии, e-mail: murtalieva90@mail.ru
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
Орехова Лилия Сергеевна	Научно-исследовательская лаборатория «Перспективные технологии физической реабилитации, спорта и восстановительной медицины» научно-клинического центра "Технологии здоровья и реабилитации", ведущий научный сотрудник, медицинский психолог
Парфенова Анастасия Евгеньевна	Московского государственного строительного университета, преподаватель; ФИЦ «Институт биологии южных морей им. А. О. Ковалевского РАН», аспирант
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 Владировна	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 ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет им. В. И. Вернадского», преподаватель кафедры общей химии
Пономарёва Татьяна Геннадиевна	Институт биохимических технологий, экологии и фармации ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет им. В. И. Вернадского», кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры общей химии, e-mail: Sinegorka50@rambler.ru

Попов Максим Николаевич	Гуманитарно-педагогическая академия (филиал) ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет имени В. И. Вернадского» в г. Ялте, кандидат педагогических наук, доцент, заведующий кафедрой здоровья и реабилитации, заместитель директора, e-mail: maks.popov@mail.ru
Просяникова 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.
Пужак Светлана Андреевна	ФГБОУ ВО «Приволжский исследовательский медицинский университет» Министерства здравоохранения Российской Федерации, студент 6 курса лечебного факультета
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
Саченков Оскар Александрович	Казанский федеральный университет, Институт математики и механики им. Н. И. Лобачевского, кандидат биологических наук, заведующий кафедрой, доцент, e-mail: 4works@bk.ru
Семенова Елена Вячеславовна	Казанский федеральный университет, Институт математики и механики им. Н. И. Лобачевского, научный сотрудник, e-mail: elena.semionova2011@gmail.com
Сергалиева Мариям Утежановна	ФГБОУ ВО Астраханский ГМУ Минздрава России, кандидат биологических наук, доцент кафедры фармакогнозии, фармацевтической технологи и биотехнологии, e-mail: charlina_astr@mail.ru
Сидякин Андрей Иванович	Институт биохимических технологий, экологии и фармации ФГАОУ ВО «КФУ 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
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

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
Труш Вера Владимировна	ФГБОУ ВО «Донецкий государственный университет», кандидат медицинских наук, доцент, заведующая кафедрой физиологии человека и животных, e-mail: ver.trush@yandex.ru
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
Устименко Валерий Николаевич	Крымский инженерно-педагогический университет имени Февзи Якубова, кандидат химических наук, доцент кафедры технологического образования, e-mail: uvn_@mail.ru
Ходаков Геннадий Васильевич	Агротехнологическая академия ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет имени В. И. Вернадского», кандидат химических наук, доцент, доцент кафедры технологии и оборудования производства жиров и эфирных масел, e-mail: gennadii-hodakov@mail.ru
Хусаинов Денис Рашидович	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
Цибизова Александра Александровна	ФГБОУ ВО Астраханский ГМУ Минздрава России, кандидат фармацевтических наук, доцент кафедры фармакогнозии, фармацевтической технологии и биотехнологии, e-mail: sasha3633@yandex.ru
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
Цикалова Виктория Николаевна	Институт биохимических технологий, экологии и фармации ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет им. В. И. Вернадского», кандидат химических наук, доцент кафедры общей химии

- Чаплыгин Владимир Александрович** ФГБОУ ВО «Астраханский государственный технический университет», кандидат биологических наук, доцент кафедры «Гидробиология и общая экология», e-mail wladimirchap@yandex.ru
- Чистотин Даниил Игоревич** Институт биохимических технологий, экологии и фармации (структурное подразделение) ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет им. В. И. Вернадского», магистр 2 курса кафедры «Общая химия»
- 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
- Шабоянц Наталья Георгиевна** ФГБОУ ВО «Астраханский государственный медицинский университет Министерства здравоохранения РФ», старший преподаватель кафедры биологии и ботаники, e-mail: shaboyants@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
- Шульман Анна Алексеевна** Казанский федеральный университет, Институт фундаментальной медицины и биологии, научный сотрудник, e-mail: ani_07@mail.ru
- Эмирова Диляра Энверовна** ГБОУВО РК «Крымский инженерно-педагогический университет имени Февзи Якубова», старший преподаватель кафедры биологии, экологии и безопасности жизнедеятельности
- Яковишин Леонид Александрович** ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет», доктор химических наук, профессор кафедры «Химия и химические технологии», e-mail: chemsevntu@rambler.ru
- Якунин Сергей Николаевич** ФГКУЗ «Противочумная станция Республики Крым» Роспотребнадзора, зоолог отделения эпизоотологического мониторинга отдела эпидемиологии, e-mail: yakunin.80@list.ru
- Ярмолюк 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

- Адиева А. А., Исрапилова А. И., Амирханова И. В.**
ВЛИЯНИЕ ФАКТОРОВ СРЕДЫ НА ОКСИДАТИВНЫЙ СТРЕСС У ЖИВОТНЫХ И
МЕТОДЫ ЕГО КОРРЕКЦИИ.....3
- Бикчентаева Л. М., Желтухина А. Ф., Шульман А. А., Семенова Е. В.,
Саченков О. А., Балтина Т. В.**
СЕНСОМОТОРНЫЙ КОНТРОЛЬ ПОДДЕРЖАНИЯ РАВНОВЕСИЯ
У ЧЕЛОВЕКА ПРИ СТИМУЛЯЦИИ ШЕЙНОГО ОТДЕЛА СПИННОГО МОЗГА
С ЧАСТОТОЙ 5 ГЦ.....13
- Быкова Т. О., Лисовая Д. С., Ивашов А. В.**
НЕКОТОРЫЕ МОРФОМЕТРИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ РАБОЧИХ ПЧЕЛ *APIS
MELLIFERA* LINNAEUS ИЗ ЧАСТНЫХ ПАСЕК КРЫМСКИХ ПЧЕЛОВОДОВ26
- Владычак В. В., Кобечинская В. Г., Якунин С. Н.**
МЕЛКИЕ МЛЕКОПИТАЮЩИЕ КРЫМА: ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ И
ЭПИЗООТОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ В РАЗНОГОДИЧНОЙ ДИНАМИКЕ40
- Громыко М. В.**
ОСОБЕННОСТИ СЕНСОМОТОРНОЙ РЕАКЦИЙ У СТУДЕНТОВ
ЗАНИМАЮЩИХСЯ СКАЛОЛАЗАНИЕМ58
- Джелдубаева Э. Р., Ярмолук Н. С., Ржевская В. С., Туманянц К. Н.,
Назырова Л. Э., Борисенко Д. А.**
МОРФОМЕТРИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ КИШЕЧНИКА У КРЫС ПРИ ВВЕДЕНИИ
ПРОБИОТИКА В МОДЕЛИ ДИСБИОЗА65
- Дубас В. В., Алексахин И. В., Пласкальная Е. И.**
ГЕОХИМИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ПОЧВ АГРОГЕННОГО РЯДА ПОД
МНОГОЛЕТНИМИ ПОСАДКАМИ ЛАВАНДЫ УЗКОЛИСТНОЙ (*LAVANDULA
OFFICINALIS*).....78
- Калюжный Е. А., Ибрагимова Э. Э., Эмирова Д. Э., Пужак С. А.**
МОРФОФИЗИОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ РОСТА И РАЗВИТИЯ ОБУЧАЮЩИХСЯ
ЮНОШЕСКОГО ВОЗРАСТА В СОВРЕМЕННЫХ ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ
УСЛОВИЯХ92
- Кезик Е. В., Власенко С. В., Кайда А. И., Орехова Л. С., Бирюкова Е. А.**
СВЯЗЬ РЕАКТИВНОСТИ СЕНСОМОТОРНЫХ РИТМОВ ЭЭГ С ПОКАЗАТЕЛЯМИ
ТЕСТОВ У ДЕТЕЙ С ДЦП ПОСЛЕ ПРОХОЖДЕНИЯ ТРЕНИНГОВ С
ПРИМЕНЕНИЕМ КОМПЛЕКСА «ЭКЗОКИСТЬ-2»103
- Козлова А. П., Деллагарди Э. Р., Головин М. С., Корощенко Г. А., Суботялов М. А.**
АНТРОПОМЕТРИЧЕСКИЕ И КАРДИОВАСКУЛЯРНЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ ДЕВУШЕК
НОВОСИБИРСКА В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ТИПА КОНСТИТУЦИИ111
- Куанова А. С., Ершова Т. С., Чаплыгин В. А., Зайцев В. Ф., Матвеева А. А.,
Литвинова Н. В., Шабоянц Н. Г.**
СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ СОДЕРЖАНИЯ ХИМИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ В
НЕКОТОРЫХ ВИДАХ МАКРОФИТОВ ВОЛГО-КАСПИЙСКОГО БАССЕЙНА.122

Макаров М. В., Витер Т. В., Ковалёва М. А. ДОННАЯ МАКРОФАУНА НЕКОТОРЫХ РЕК СЕВЕРО-ЗАПАДНЫХ СКЛОНОВ КРЫМСКИХ ГОР	132
Мишин А. С. ПРОБЛЕМЫ ОЦЕНКИ ЧИСЛЕННОСТИ КОПЫТНЫХ НА ПРИМЕРЕ УЧЁТА БЛАГОРОДНОГО ОЛЕНЯ (<i>CERVUS ELAPHUS</i> L.) В ВОРОНЕЖСКОМ ЗАПОВЕДНИКЕ	144
Моисеев С. А., Михайлова Е. А., Ершов В. Ю. МОДИФИКАЦИЯ ЛОКОМОТОРНОЙ СИНЕРГИИ ПРИ БЕГЕ РАЗЛИЧНОЙ ИНТЕНСИВНОСТИ ПО ТРЕДБАЛУ	159
Парфенова А. Е., Горбунов Р. В. ВЛИЯНИЕ АКУСТИЧЕСКИХ ЭКРАНОВ АВТОМАГИСТРАЛЕЙ НА СОДЕРЖАНИЕ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ В ПРИЛЕГАЮЩИХ ПОЧВЕННЫХ ПОКРОВАХ	168
Сергалиева М. У., Мурталиева В. Х., Цибизова А. А. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОСТРОЙ ТОКСИЧНОСТИ ЭКСТРАКТА <i>PARMELIA VAGANS</i> NYL.	176
Сидякин А. И., Чмелёва С. И., Джелдубаева Э. Р., Туманянц К. Н., Белоусов В. В. НОВЫЙ ПОДХОД К ОПРЕДЕЛЕНИЮ БИОКОНТРОЛИРУЮЩЕЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ШТАММОВ МИКРОМИЦЕТОВ НА ПРИМЕРЕ <i>TRICHODERMA</i> SP.	182
Соболев В. И., Попов М. Н., Труш В. В. НЕЗАВИСИМОСТЬ ЛАТЕНТНОГО ПЕРИОДА ПРОСТОЙ ТАКТИЛЬНО-МОТОРНОЙ РЕАКЦИИ ОТ ДЛИТЕЛЬНОСТИ ТАКТИЛЬНОГО СТИМУЛА	196
Тимофеева С. Н., Погодина С. В., Мальцев В. А., Тимофеев В. Д. СОДЕРЖАНИЕ СТЕРОИДНЫХ ГОРМОНОВ В ОРГАНИЗМЕ СПОРТСМЕНОВ ПЕРВОГО И ВТОРОГО ПЕРИОДОВ ЗРЕЛОГО ВОЗРАСТА	205
Хусаинов Д. Р., Туманянц К. Н., Аудинов И. Д., Иванова В. Р. ИЗМЕНЕНИЕ ИНДЕКСА ДЕПРЕССИВНОСТИ У НИЗКО-, СРЕДНЕ- И ВЫСОКОДЕПРЕССИВНЫХ КРЫС В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ДЛИТЕЛЬНОСТИ БЛОКАДЫ МОНОАМИНОКСИДАЗЫ-В	217
Цибизова А. А., Бирюкова Е. Н., Сергалиева М. У., Ганиуллина А. Р., Макалатия М. К. ОЦЕНКА СОДЕРЖАНИЯ ОСНОВНЫХ ГРУПП БИОЛОГИЧЕСКИ АКТИВНЫХ ВЕЩЕСТВ И АНТИОКСИДАНТНАЯ АКТИВНОСТЬ ЭКСТРАКТА ЛИСТЬЕВ <i>RUBUS CAESIUS</i> L.	230
Ярмолук Н. С., Джелдубаева Э. Р., Ржевская В. С., Туманянц К. Н., Аединова Д. З., Ковальчук И. О. ИЗМЕНЕНИЕ МОРФОМЕТРИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ СЕЛЕЗЕНКИ КРЫС ПРИ ВВЕДЕНИИ ПРОБИОТИКА «ПРОБИОВИТ» В МОДЕЛИ ДИСБИОЗА	239

ХИМИЧЕСКИЕ НАУКИ

Вяткина О. В., Милюкова О. А., Копылец Т. А. СПОСОБЫ РЕГУЛИРОВАНИЯ СОРБЦИОННЫХ И ФОТОКАТАЛИТИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ДИОКСИДА ТИТАНА	251
Гришковец В. И., Просянникова И. Б., Шмакова Е. А. СРАВНИТЕЛЬНОЕ ФИТОХИМИЧЕСКОЕ ИЗУЧЕНИЕ ЗДОРОВЫХ И ПОРАЖЕННЫХ ГРИБАМИ <i>GOLOVINOMYCES CICHORACEARUM</i> (DC.) HELUTA И <i>PUCCINIA LACTUCARUM</i> P. SYD. ЛИСТЬЕВ ЛАТУКА ДУБРАВНОГО <i>LACTUCA QUERCINA</i> L., ПРОИЗРАСТАЮЩЕГО В ГОРНОМ КРЫМУ	259
Гришковец В. И., Яковешин Л. А., Корж Е. Н., Чистотин Д. И. ВЛИЯНИЕ ЛИТИЕВЫХ, НАТРИЕВЫХ И КАЛИЕВЫХ СОЛЕЙ ЯБЛОЧНОЙ КИСЛОТЫ НА ПРОЦЕСС ОТВЕРЖДЕНИЯ ГИПСА.....	265
Устименко В. Н., Пономарёва Т. Г., Ходаков Г. В. КИНЕТИЧЕСКИЙ МЕТОД КОЛИЧЕСТВЕННОГО ОПРЕДЕЛЕНИЯ ГЛЮКОЗЫ В ВОДНЫХ РАСТВОРАХ	274
Цикалов В. В., Цикалова В. Н., Поддубов А. И., Дзикович И. А., Гусейнова У. Р. СИНТЕЗ АЛЬДЕГИДОВ БЕНЗИМИДАЗОЛЬНОГО РЯДА.....	288
СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ.....	296
СОДЕРЖАНИЕ	305