

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

Научный журнал

Том 11 (77), № 2

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Раздел «Биология»:

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

Раздел «Химия»:

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

Адрес редакции: 295007, г. Симферополь, пр-т Академика Вернадского, 4, корп. Б, ауд. 328
Подписано в печать 27.05.2025. Формат 70x100/16. Заказ № НП/126. Тираж 50. Цена «Бесплатно».

Дата выхода в свет «__» _____ 2025 г.

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

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

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

Ученые записки Крымского федерального университета имени В. И. Вернадского

Биология. Химия. Том 11 (77). 2025. № 2. С. 3–16.

УДК 574.24:579.64

DOI 10.29039/2413-1725-2025-11-2-3-16

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ КОМПЛЕКСА МИКРООРГАНИЗМОВ ПРИ ВЫРАЩИВАНИИ *SORGHUM BICOLOR* (L.) В АГРОСИСТЕМАХ ПРЯМОГО ПОСЕВА И ТРАДИЦИОННОЙ СИСТЕМЫ

Абдурашитова Э. Р., Абдурашитов С. Ф., Паштецкий В. С.

ФГБУН «Научно-исследовательский институт сельского хозяйства Крыма», Симферополь,
Россия

E-mail: elvi-jadore@mail.ru

Оценивали водный статус растений, биологическую активность ризосферы и биомассу семян *Sorghum bicolor* под действием комплекса микроорганизмов (КМ) и агросистем в условиях чернозема южного. В засушливые годы (2018 г., 2020 г.) установлено снижение активности пероксидаз и эмиссии углекислого газа в прямом посеве в сравнении с традиционной системой до 3,9 раз и 1,4 раза соответственно. В среднем за годы исследования биомасса зерна в различных системах земледелия была одинаковой, в то же время применение КМ способствовало ее повышению на 0,07 т/га при традиционной системе и 0,23 т/га при прямом посеве. Корреляционный анализ выявил обратную зависимость между биомассой зерна и активностью пероксидаз ($r = -0,74$ в 2018 г., $r = -0,67$ в 2020 г.), а также сильную отрицательную связь с эмиссией CO_2 ризосферы ($r = -0,88$ в 2020 г.). Таким образом, комбинирование биотехнологических и агротехнологических методов балансирует работу ризосферного микробоценоза и повышает продуктивность сорго в условиях засухи.

Ключевые слова: *Sorghum bicolor* (L.) Moench; прямой посев; водный дефицит; эмиссия углекислого газа; активность пероксидаз; биомасса зерна; корреляция.

ВВЕДЕНИЕ

В мировом земледелии сорго зерновое занимает 70–75 млн га. Среди злаков сорго содержит самое высокое количество фитохимических веществ, включая антоцианы, каротиноиды, фенольные кислоты, конденсированные дубильные вещества и др. [1]. Его зерно идет на производство спирта и спиртосодержащих напитков, в качестве продуктов питания человека и корма для животных и др. [2, 3]. Известно, что из растений сорго выделен биогербицид сорголеон, подавляющий рост сорняков [4], который позволит уменьшить зависимость производителей продовольственных культур от синтетических гербицидов. Сорго обладает высокой засухоустойчивостью, что делает его перспективным для культивирования в степи в условиях зон рискованного аграрного производства.

В то же время выращивание сельскохозяйственных культур требует экологически обоснованного подхода, что обеспечивается применением биотехнологических приемов, способствующих активизации микробиома почвы, оптимизации минерализационных процессов и повышению рентабельности продукции в различных условиях [5–8]. Так, в прикорневой зоне (ризосфере) происходит взаимодействие между растением, почвой и ассоциативными микроорганизмами (PGPR – plant growth promoting microorganisms, ростстимулирующие ризобактерии). Это взаимодействие играет ключевую роль в возникающих связях между ними [9], содействует защите от патогенов, ростстимуляции, повышению устойчивости к аномальным колебаниям температуры [10, 11].

Стресс, вызванный резкими изменениями погодно-климатических условий, важнейший фактор негативного влияния на биохимические процессы в период вегетации растений [12]. Водный статус и его генетическая детерминация у разных генотипов играют особую роль в экстремальных условиях при формировании адаптивных реакций и продуктивности в онтогенезе, что оказывает особое влияние на вегетативное и генеративное размножение растений [13]. Исследована потенциальная роль PGPR в придании устойчивости к водному стрессу [14, 15], в том числе применение арбускулярных микоризных грибов с сорго зерновым [16].

Ранее показано, что применение прямого посева способствуют сохранению агрофизических и биологических свойств почвы. Комплексный подход применения микроорганизмов и прямого посева в земледелии повышает общую биогенность почв [17]. Альтернативное решение применения биопрепаратов вместо химических средств, а прямого посева вместо традиционной системы, дополняют способы по адаптации растений к водному и температурному стрессу. Сигналом стрессоустойчивости почв и растений служит увеличение активности антиоксидантных ферментов [18]. Почвенные ферменты участвуют в многоступенчатых процессах разложения и синтеза органических соединений ароматического ряда, оказывают влияние на рост и поглощение питательных веществ растениями [19].

Цель работы – оценить водный статус растений, биологическую активность ризосферы и биомассу зерна сорго зернового под действием комплекса микроорганизмов и различных агросистем в условиях чернозема южного.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Стационарный эксперимент по исследованию влияния систем земледелия и комплекса микроорганизмов (КМ) на сохранение плодородия пахотных земель заложен в 2015 году на опытном поле ФГБУН «НИИСХ Крыма» (с. Клепинино, 45°31'48.36"N, 34°11'47.88"E) на площади 3,8 га. Почва – чернозем южный мицелярно-карбонатный слабогумусированный, развитый на лессовидных легких глинах [20, 21]. Мощность гумусового горизонта до 40 см, всего гумусового слоя – до 70 см. Количество гумуса (по Тюрину) – 2,4–2,6 %, подвижного фосфора (по Мачигину) – 1–2,5 мг/100 г почвы, подвижного калия – 18–28 мг/100 г почвы. Исследуются традиционная система для условий Крыма (с применением вспашки и

рыхлением почвы до и во время вегетации культур) и ресурсосберегающая (по технологии прямого посева без обработки почвы). Для обеих систем земледелия применяется чередование пяти культур. По условиям стационарного опыта заложен двухфакторный эксперимент: фактор А – агросистема традиционная или ресурсосберегающая, фактор Б – наличие или отсутствие инокуляции комплексом микроорганизмов (КМ); со следующими вариантами: 1. Прямой посев (ПП) без обработки семян КМ; 2. Прямой посев с обработки семян КМ (ПП с КМ); 3. Традиционная система (ТС) без обработки семян КМ; 4. ТС – обработка семян КМ (ТС с КМ). Соответственно факторам опыта и проводилось сравнение. Учетная площадь эксперимента 1,8 га. Полевая повторность трехразовая.

Условия проведения эксперимента

В 2018 году гидротермический коэффициент (ГТК) за вегетационный период (апрель-август) составил 0,65, что соответствует интенсивности засухи – слабая [22]. Зима характеризовалась неустойчивой погодой со значительным недобором осадков и высокой температурой воздуха после зимнего периода. В 2019 году в период вегетации культуры наблюдали благоприятные условия для развития, а ГТК=0,78 – отсутствие засухи. В период активного роста растений июнь–июль осадков выпало выше на 61,0 и 26,2 мм среднемноголетней. В 2020 году погода характеризовалась резкими аномальными отклонениями. В марте наблюдали сухую погоду, количество осадков в 12,9 раза ниже, а температура в 2,6 раза выше среднемноголетних значений. По количеству осадков весна острозасушливая, выпало всего 44 мм, в т.ч. только один хозяйственно-полезный дождь. В этот год ГТК составил 0,59 – засуха средней интенсивности.

Биологические объекты

Сорго зерновое (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) сорта Крымбел (селекция Крымского федерального университета им. В. И. Вернадского), представляет собой однолетнее самоопыляющееся растение. Комплекс микроорганизмов (КМ) состоит из штаммов Крымской коллекции (<https://ckp-rf.ru/catalog/usu/507484/>): *Paenibacillus polymyxa* П (основная функция защита от фитопатогенов), *Lelliottia nimipressuralis* 32-3 (ростстимуляция и фосфатмобилизация), *Agrobacterium radiobacter* 204 (улучшение азотного питания) и ассоциация грибов арбускулярной микоризы *Rhizophagus* sp. РЗ. Бактерии применяли в предпосевной инокуляции семян из расчета 10^6 КОЕ на семя, а грибы вносили вместе с семенами в почву в количестве 20–30 колонизирующих единиц на семя.

Лабораторные анализы

Отбор проб растений и ризосферы проводили в фазу выметывания (июль, через 2–2,5 месяца поле посева). Растения (n=15 на вариант) выкапывали с земляным комом и переносили в лабораторию для анализа. Пока растения не потеряли тургор, проводили определение водного статуса через определение водного дефицита и относительной тургесцентности согласно методу, описанному в Практикуме под ред. Третьякова Н. Н. [23]. С каждого растения пробочным сверлом диаметром 8 мм

делали по 10 высечек, которые взвешивали на аналитических весах трижды: непосредственно после вырезания (m_i), после насыщения влагой (через 2 часа экспозиции в воде) (m_n), после высушивания для определения абсолютно сухой массы (m_{as}). Расчет водного дефицита проводили по формуле (1)

$$\text{Водный дефицит} = \frac{V_2 - V_1}{V_2} 100, \quad (1)$$

где V_1 – исходное содержание воды в высечках ($m_i - m_{as}$), V_2 – количество воды, насыщающее орган ($m_n - m_i$).

Расчет относительной тургесцентности по формуле (2)

$$\text{Относительная тургесцентность} = \frac{m_i - m_{as}}{m_n - m_{as}} 100, \quad (2)$$

где m_i – исходная масса высечек, m_n – масса высечек после насыщения влагой, m_{as} – абсолютно сухая масса высечек.

Степень относительной засухоустойчивости оценивали по Гончаровой [24] на основе данных о водном дефиците: высокая при водном дефиците до 10 %, средняя – 10–20 %, при 20 % и более – низкая.

За ризосферу принимали кусочки почвы, непосредственно прилегающие к корням размером не более 5 мм, которые использовали свежие, но все результаты пересчитывали на абсолютно сухую почву (а.с.п.). Активность пероксидаз определяли колориметрическим методом [25]. Для этого 50 г ризосферы ($n=3$) заливали 100 мл 0,5 н. раствора нитрата аммония и взбалтывали 30 мин. Суспензию отфильтровали через фильтр с синей лентой. К 10 мл фильтрата (взято 2 аналитические повторности) прилили 1 мл 0,3 % гваякола и 1 мл 0,05 н. H_2O_2 . Реактивы перемешивали и компостировали при 27 °С в течении 1 часа. В результате компостирования раствор изменял цвет на розовый, интенсивность которого детектировали на фотоэлектроколориметре КФК-2 с зеленым светофильтром в кювете 10 мм. Параллельно для построения калибровочного графика оценивали серию разведений нитрата серебра. Активность фермента рассчитывали по формуле (3).

$$\text{Активность пероксидаз} = \frac{C \times 2,53 \times 100}{n}, \quad (3)$$

где C – показатель по калибровочному графику, мг/мл Ag ; n – навеска почвы (а.с.п.), г; 2,53 – пересчет на мкМоль гваякола.

Интенсивность эмиссии CO_2 в ризосфере определяли титриметрическим методом в модификации Макарова [26]. Навеску почвы 5 г ($n=3$) помещали в вialу, которую опускали в другой сосуд, содержащий 20 мл свежеприготовленного раствора 0,1 н. гидроксида натрия. Сосуд герметично закрывали пробкой и компостировали при 27 °С в течении 5 суток. Завершив компостирование, вынимали вialу с почвой, а к раствору, насыщенному углекислым газом, приливали 2 мл 50 % раствора хлорида бария, 2–3 капли 0,1 % спиртового раствора

фенолфталеина. Полученную смесь титровали 0,1 н. раствором соляной кислоты. Холостая проба не содержала почву

$$\text{Эмиссия } CO_2 = \frac{(V_1 - V_2) \cdot 2,2}{n \cdot t}, \quad (4)$$

где V_1 – объем 0,1 Н раствора HCl, израсходованный на титрование холостой пробы, мл.; V_2 – объем кислоты, израсходованный на титрование исследуемой пробы, мл.; n – навеска почвы (а.с.п.), г; t – время экспозиции, сутки.

Биомассу семян учитывали в фазу полной зрелости растений из расчета на 14 % влажность. Сбор семян проводили комбайном Sampo-500 ($n=3$).

Статистический анализ

Полученные данные представлены в виде средней арифметической $\pm$ стандартной ошибки средней ($\bar{x} \pm S\bar{x}$) [27]. В оценке значимости различий по биомассе семян использовали дисперсионный анализ, а именно наименьшую существенную разность двухфакторного эксперимента на 5 % уровне значимости. Для корреляционного анализа использовали программные возможности Statistica 10.0 по протоколу Пирсона.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Дефицит влаги отрицательно воздействует на развитие растений, особенно, если это почвенно-воздушная засуха. Оценка результатов исследования сорго зернового за 2018–2020 годы показало, что действие комплекса микроорганизмов на водный дефицит растений проявилось только в 2019 году снижением его на 7,1 % (табл. 1). Также отметили два года подряд (2019–2020 гг.) при традиционной системе показатель уменьшался на 4,1–6,1 %, чем при прямом посеве.

Таблица 1

Уровень водного дефицита растений *S. bicolor* под влиянием агроэcosystem и предпосевной инокуляции семян комплексом микроорганизмов (КМ), (чернозем южный, 2018-2020 гг.)

Вариант опыта	Водный дефицит растений, %		
	2018 год	2019 год	2020 год
Прямой посев	22,2 $\pm$ 0,8	28,9 $\pm$ 1,8	17,4 $\pm$ 1,3
ПП с КМ	24,6 $\pm$ 3,0	21,8 $\pm$ 2,7	16,6 $\pm$ 0,3
Традиционная система	22,2 $\pm$ 2,0	22,8 $\pm$ 3,4	13,3 $\pm$ 1,7
ТС с КМ	25,3 $\pm$ 2,3	26,4 $\pm$ 1,5	14,1 $\pm$ 0,4

Вода составляет 70–95 % от массы растительной клетки. Степень насыщенности ею показывает относительная тургесцентность, которая изменяется в противоположном направлении водному дефициту. При применении комплекса микроорганизмов в 2019 году получили положительный эффект в прямом посеве,

зарегистрировав увеличение относительной тургесцентности листьев сорго на 9,5 % от контроля без инокуляции (табл. 2). Полевой эксперимент показал увеличение насыщенности водой клеток растения при традиционной системе на 4,1–7,3 % по сравнению с системой no-till в условиях 2019 и 2020 гг.

Таблица 2

Относительная тургесцентность растений *S. bicolor* под влиянием агросистем и предпосевной инокуляции семян комплексом микроорганизмов (КМ), (чернозем южный, 2018–2020 гг.)

Вариант опыта	Относительная тургесцентность растений, %		
	2018 год	2019 год	2020 год
Прямой посев (ПП)	77,8±0,8	60,4±2,1	82,6±1,3
ПП с КМ	75,4±3,0	69,9±3,7	83,4±0,3
Традиционная система	77,8±2,0	67,7±4,9	86,7±1,7
ТС с КМ	74,7±2,3	63,4±2,5	85,9±0,4

Согласно показателям водного баланса в растениях возможно сделать вывод о степени засухоустойчивости сорго. По результатам определения водного дефицита установлена низкая степень засухоустойчивости растений в 2018 и 2019 гг., в 2020 г – средняя.

Пероксидаза катализирует окисление органических соединений почвы за счет кислорода перекиси водорода и органических перекисей, и поступает в почву в виде прижизненных выделений корней растений и микроорганизмов. Далее образующиеся соединения взаимодействуют с аминокислотами и пептидами, образуя молекулы гумусовых кислот [19]. В ходе трехлетнего эксперимента выявлено, что активность пероксидаз в ризосфере сорго в условиях системы no-till более стабильна год от года, варьируя в пределах 6,4–17,2 %, а при традиционной системе показано значительное изменение активности до 4,3 раз (табл. 3). Эффект резкого повышения функционирования фермента при традиционной системе в 2020 году по сравнению с предыдущими годами связан с выпадением перед анализом одного хозяйственно-полезного дождя. Это является подтверждением нестабильности ферментативной активности в ризосфере при традиционной агросистеме, сильно зависящей от погодных условий. В то же время применение предпосевной инокуляции семян КМ в основном способствовало снижению активности пероксидазы как при традиционной системе, так и при прямом посеве на 13,8–58,0 %, допуская в некоторые годы для различных систем увеличение показателя. Возможно, это связано с тем, что интродуцированные микроорганизмы восполняют ресурсы минеральных веществ, необходимых как растению, так и другим участникам биохимических процессов в ризосфере за счет альтернативных источников, не используя органические компоненты субстрата, на которые нацелена пероксидаза.

Таблица 3

Влияние предпосевной инокуляции семян сорго зернового комплексом микроорганизмов (КМ), выращенной при различных системах земледелия на активность пероксидаз ризосферы, (чернозем южный, 2018–2020 гг.)

Вариант опыта	Активность пероксидаз, мкмоль $C_7H_8O_2$ /100 г почвы		
	2018 год	2019 год	2020 год
Прямой посев	2,80±0,03	2,99±0,04	2,40±0,04
ПП с КМ	2,32±0,03	1,99±0,04	4,60±0,04
Традиционная система	3,04±0,00	2,17±0,06	9,27±0,04
ТС с КМ	3,30±0,02	1,87±0,01	3,89±0,02

Из литературных данных известно, что дыхание почвы обычно повышается с изменением величины пористости пахотного слоя или в период интенсивного обмена веществ у растений [28]. Также показатели почвенного дыхания на основе эмиссии углекислого газа дают представление об активности почвенных микробиомов и позволяют оценить потери органического вещества вследствие процессов минерализации. Анализ полученных нами данных за 2018–2020 гг. показал снижение эмиссии CO_2 на 9,1–20,7 %, а значит и активности минерализационных процессов, в прямом посеве в ризосфере сорго при применении КМ (табл. 4), что, скорее всего, указывает на получение энергии за счет других источников в данный момент вегетации культуры (фаза выметывания). В традиционной системе выделение углекислого газа изменялось не значительно при сравнении вариантов без обработки и с обработкой КМ, но в течении трех лет проведения эксперимента являлось неустойчивым (диапазон варьирования 8,0–44,6 %) по сравнению с ресурсосберегающей технологией (диапазон 14,6–29,9 %).

Таблица 4

Эмиссия углекислого газа ризосферы *S. bicolor* под влиянием агросистем и комплекса микроорганизмов (КМ), (чернозем южный, 2018-2020 гг.)

Вариант опыта	Эмиссия углекислого газа, мг / г почвы		
	2018 год	2019 год	2020 год
Прямой посев	160,8±8,4	112,8±5,6	137,4±7,6
ПП с КМ	146,2±0,0	89,4±7,4	125,5±4,3
Традиционная система	171,7±0,1	103,4±2,1	186,7±12,9
ТС с КМ	170,9±0,4	118,0±2,2	186,7±7,4

Результирующим показателем изучения эффективности применения различных биотехнологий, в том числе бактеризации, и систем земледелия является продуктивность растений. Биомасса зерна для *S. bicolor* – это основной используемый в народном хозяйстве продукт. Согласно полученным данным масса зерна *S. bicolor* под воздействием исследуемых систем земледелия не различалась

(1,53 т/га в среднем за три года). Значительная прибавка продуктивности культуры 6,9–40,0 % (0,11–0,6 т/га) получена при применении КМ в системе прямого посева в 2018 и 2020 годах, а также в один год (2020) при традиционной технологии выращивания – 15,6 % (0,17 т/га). Это в среднем за три года повысило получаемую продукцию на 15,0 % (0,23 т/га) по ресурсосберегающей технологии и на 4,6 % (0,07 т/га) – по ТС. По биомассе зерна при прямом посеве, как в случае с эмиссией CO₂, так и в случае с активностью пероксидаз, отмечены более стабильные показатели в течении 2018-2020 гг., чем при ТС.

Таблица 5

Биомасса зерна *S. bicolor* под влиянием агросистем и комплекса микроорганизмов (чернозем южный, 2018-2020 гг.)

Вариант опыта	Биомасса зерна, т/га			
	2018 год	2019 год	2020 год	Среднее за 2018–2020 гг.
Прямой посев	1,50	1,50	1,59	1,53
ПП с КМ	2,10	1,47	1,70	1,76
Традиционная система	1,50	2,01	1,09	1,53
ТС с КМ	1,53	2,00	1,26	1,60
<i>НСР₀₅, фактор А, фактор Б</i>	<i>0,30</i>	<i>0,03</i>	<i>0,10</i>	

Примечание: НСР₀₅ – наименьшая существенная разность.

Корреляционный анализ изученных параметров в активную фазу роста растений показал схожие сильные связи между погодно-климатическими условиями 2018 и 2020 годов, характеризующимися повышенным температурным режимом и отсутствием осадков в некоторые критические фазы вегетации сорго зернового. Повышение биомассы зерна отрицательно коррелировало с активностью пероксидаз ризосферы $r = -0,74$ и $r = -0,67$ соответственно в 2018 и 2020 годах (рис. 1).

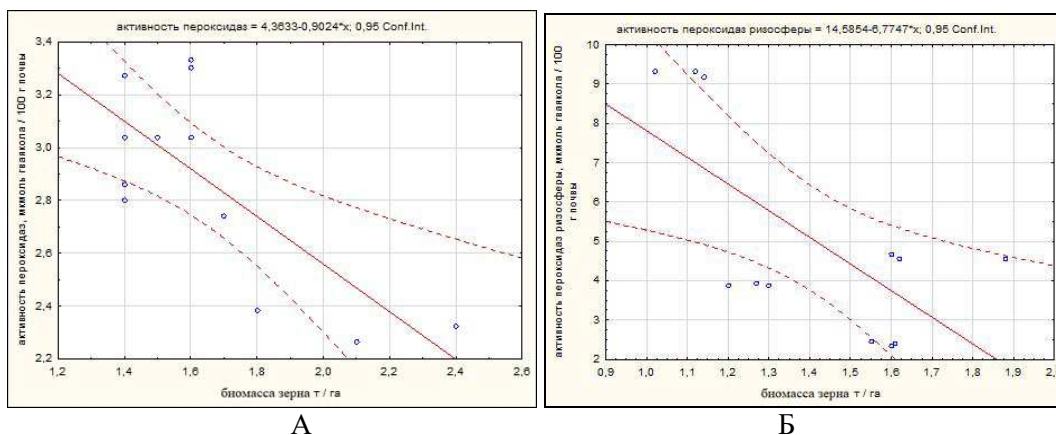


Рис. 1. Диаграмма рассеяния связи активности пероксидаз ризосферы и биомассы зерна сорго зернового в 2018 (А) и 2020 (Б) годах (чернозем южный).

Особенно ярко выражено влияние засухи при традиционном посеве, не смотря на повышенную относительную тургесцентность в этом варианте эксперимента. 2019 год отмечен сменами периодов переувлажнения почвы количеством осадков, превышающих среднегодовые показатели, и периодов с умеренной засухой и не выявил связей изучаемых показателей с урожайностью.

Установлена отрицательная сильная корреляция дыхание почвы с зерновой продуктивностью сорго с $r = -0,88$ в полевом эксперименте 2020 года (рис. 2).

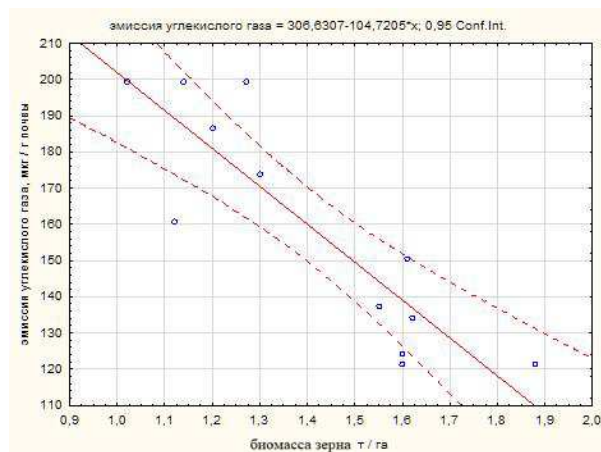


Рис. 2. Диаграмма рассеяния связи эмиссии углекислого газа с биомассой зерна сорго зернового (чернозем южный, 2020 г.)

При регидратации почвы, подвергшейся засухе, минерализуется органическое вещество, что приводит к резкому увеличению бактериальной популяции по сравнению с почвами, которые не были подвержены стрессу [29]. Есть подтверждение, что устойчивые к засухе микроорганизмы секретируют смеси растворенных веществ, например трегалозу, которые используются для защиты как своей клетки от неблагоприятных условий среды [30]. Полученные нами результаты подтверждают приведенные выше литературные данные прямыми корреляционными связями. При прямом посеве установили повышение биомассы зерна в сравнение с традиционной в 2020 году, что, возможно, связано с незначительным количеством выпадения осадков в период активного роста растений, и превышение его в июне месяце, способствовавшее удержанию влаги в ризосфере и активизации некоторых групп микроорганизмов [31] и ферментов. Полученные результаты и сопоставление их с литературными данными свидетельствуют о том, что биоагенты микробных препаратов повышают адаптацию растений сорго при смене длительной засухи к благоприятным погодным условиям или наоборот. Так растения, которые в начале испытывали недостаток воды и ростовые процессы угнетались, после выпадения даже незначительных осадков в течение активной фазы дали прибавку биомассы зерна (2018 и 2020 год).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Влияние КМ на величину относительной тургесцентности и водного статуса в полевом эксперименте отмечено только 2019 г в варианте прямого посева в сторону повышения насыщаемости клеток водой и засухоустойчивости растений. Применение КМ способствует оптимизации функциональной деятельности ферментов пероксидаз и эмиссии углекислого газа в ризосфере. В условиях 2018 и 2020 гг. установлено снижение активности пероксидаз и эмиссии углекислого газа в прямом посеве в сравнении с традиционной агросистемой до 3,9 раз и 1,4 раза соответственно. В среднем за годы исследования биомассы зерна в различных системах земледелия была одинаковой, в тоже время применение КМ способствовало ее повышению на 0,07 т/га при традиционной системе и на 0,23 т/га при технологии прямого посева. Установленные корреляционные связи активности пероксидаз ризосферы, эмиссии углекислого газа с биомассой зерна указывают на то, что применение комплекса микроорганизмов содействует оптимизации функционирования аборигенной микрофлоры, что показано результатом их жизнедеятельности (ферментативной активностью) и адаптации растений к засушливым условиям.

Работа выполнена в рамках государственного задания № 0834-2019-0005 «Экологическое обоснование альтернативных способов улучшения плодородия почвы при разных системах земледелия»

Список литературы

1. Mohamed H. I. Sorghum: nutritional factors, bioactive compounds, pharmaceutical and application in food systems: A review / H. I. Mohamed, E. M. Fawzi, A. Basit, R. Kaleemullah Lone [et al.] // *Phyton-International Journal of Experimental Botany*. – 2022. – Vol. 91, No 7. – P. 1303–1325.
2. Зотеев В. С. Зерновое сорго в кормлении лактирующих коров / В. С. Зотеев, Г. А. Симонов, А. К. Антимонов // *Молочное и мясное скотоводство*. – 2018. – № 7. – С. 34–38.
3. Сыркина Л. Ф. Сорго зерновое как возможный источник сырья для переработки на крахмал и спирт / Л. Ф. Сыркина, Ю. Ю. Никонорова // *Вестник КрасГАУ*. – 2020. – № 10(163). – С. 95–100.
4. Uddin M. R. Herbicidal activity of formulated sorgoleone, a natural product of *Sorghum* root exudate / M. R. Uddin, S. U. Park, F. E. Dayan, J. Y. Pyon // *Pest Management Science*. – 2014. – Vol. 70, No 2. – P. 252–257.
5. Shukla S. K. Deep Tillage, Soil Moisture Regime, and Optimizing N Nutrition for Sustaining Soil Health and Sugarcane Yield in Subtropical India / S. K. Shukla, R. L. Yadav, R. Gupta, A. K. Singh, S. K. Awasthi, A. Gaur // *Communications in Soil Science and Plant Analysis*. – 2018. – Vol. 49, No 4. – P. 444–462.
6. Аипова Р. Биологические препараты в органическом земледелии / Р. Аипова, А. Б. Абдыкадырова, А. А. Курманбаев // *Биотехнология и селекция растений*. – 2019. – № 2(4). – С. 36–41.
7. Suman J. Microbiome as a Key Player in Sustainable Agriculture and Human Health / J. Suman, A. Rakshit, S. D. Ogireddy, S. Singh, C. Gupta, J. Chandrakala // *Frontiers in Soil Science*. – 2022. – Vol. 2. – P. 821589.
8. Volobueva O. The influence of biological products and growth regulators on the yield and quality indicators of pea seeds of various varieties / O. Volobueva, I. Seregina, S. Belopukhov, M. Grigoryeva, V. Trukhachev, A. Manokhina, N. Kozlov // *Brazilian Journal of Biology*. – 2024. – Vol. 84. – P. e280312.
9. Venturi V. Signaling in the rhizosphere / V. Venturi, C. Keel // *Trends in Plant Science*. – 2016. – Vol. 21, No 3. – P. 187–198.

10. Андронов Е. Е. Анализ показателей почвенного микробиома в процессах, связанных с почвообразованием, трансформацией органического вещества и тонкой регуляции вегетационных процессов / Е. Е. Андронов, Е. А. Иванова, Е. В. Першина, О. В. Орлова, Ю. В. Круглов, А. А. Белимов, И. А. Тихонович // Бюллетень почвенного института им. В. В. Докучаева. – 2015. – № 80. – С. 83–93.
11. Дубинина М. Н. Роль почвенных микробиологических сообществ в формировании агрономически ценной водопрочной структуры / М. Н. Дубинина, В. А. Лыхман // Вестник Донского государственного аграрного университета. – 2019. – № 3-1. – С. 82–87.
12. Ха Т. З. Ключевой стимулятор роста растений – ризобактерии / Т. З. Ха, А. В. Канарский, З. А. Канарская [и др.] // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Серия: Лес. Экология. Природопользование. – 2020. – № 3(47). – С. 58–73.
13. Черных Е. П. Влияние экологических факторов и периода вегетации на содержание биологически активных веществ в некоторых видах растительного сырья Красноярского края / Е. П. Черных, Л. А. Мильшина, О. В. Гоголева, Г. Г. Первышина // Вестник КрасГАУ. – 2012. – № 11(74). – С. 128–131.
14. Kumar P. G. *In vitro* Screening for Abiotic Stress Tolerance in Potent Biocontrol and Plant Growth Promoting Strains of *Pseudomonas* and *Bacillus* spp. / P. G. Kumar, S. K. Mir Hassan Ahmed, S. Desai, A. E. Leo Daniel, R. Abdul // International Journal of Bacteriology. – 2014. – Vol. 2014. – 6 p.
15. Лебедев В. Н. Оценка эффективности обработки семян капустных культур ассоциативными ризобактериями в условиях нормального увлажнения и почвенной засухи / В. Н. Лебедев, Г. А. Воробейков, Г. А. Ураев // Успехи современного естествознания. – 2021. – № 5. – С. 13–18.
16. Абдурашитов С. Ф. Ростстимулирующий эффект симбиотических микроорганизмов на сорго под действием водodefицита / С. Ф. Абдурашитов, К. С. Грицевич, А. И. Алексеева, Э. Р. Абдурашитова // Сибирский вестник сельскохозяйственной науки. – 2025. – Т. 55, № 1 (314). – С. 41–51.
17. Nosheen A. *Pseudomonas putida* improved soil enzyme activity and growth of kasumbha under low input of mineral fertilizers / A. Nosheen, H. Yasmin, R. Naz, A. Bano, R. Keyani, I. Hussain // Soil Science and Plant Nutrition. – 2018. – Vol. 64, No 4. – P. 520–525.
18. Зинченко М. К. Ферментативная активность аграрных почв Верхневолжья / М. К. Зинченко, С. И. Зинченко, А. А. Борин, О. П. Камнева // Современные проблемы науки и образования. – 2017. – № 3. – С. 143.
19. Хазиев Ф. Х. Функциональная роль ферментов в почвенных процессах / Ф. Х. Хазиев // Вестник академии наук РБ. – 2015. – Т. 20, № 2(78). – С. 14–24.
20. Драган Н. А. Почвенные ресурсы Крыма / Н. А. Драган. – Симферополь: Доля, 2004. – 208 с.
21. Карта почв России [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://soil-db.ru/map?lat=45.5541&lng=35.5408&zoom=9&feature=35693>. – Дата обращения: 22.03.2025.
22. Страшная А. И. Автоматизированная технология мониторинга и расчета количества декад с почвенной и атмосферно-почвенной засухой под зерновыми культурами / А. И. Страшная, И. Э. Пурина, О. В. Чуб, О. И. Задорнова, Т. С. Чекулаева // Труды Гидрометцентра России. – 2013. – Вып. 349. – С. 161–175.
23. Практикум по физиологии растений / Под ред. Н. Н. Третьякова, Т. В. Карнауховой, Л. А. Паничкина. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Агропромиздат, 1990. – 271 с.
24. Гончарова Э. А. Водный статус культурных растений и его диагностика / Э. А. Гончарова; под ред. В. А. Драгавцева. – СПб.: ВИР, 2005. – 112 с.
25. Грицаенко З. М. Методи біологічних та агрохімічних досліджень рослин та ґрунтів / З. М. Грицаенко, А. О. Грицаенко, В. П. Карпенко. – Київ: ЗАТ «НІЧЛАВА», 2003. – 320 с.
26. Методические рекомендации по оценке токсического действия пестицидов на микрофлору почвы / под общ. рук. Ю. В. Круглова. – М., 1981. – 43 с.
27. Доспехов Б. А. Методика полевого опыта / Б. А. Доспехов. – М.: Агропромиздат, 1985. – 351 с.
28. Туев Н. А. Микробиологические процессы гумусообразования / Н. А. Туев. – М.: Агропромиздат, 1989. – 239 с.
29. Denef K. Influence of dry–wet cycles on the interrelationship between aggregate, particulate organic matter, and microbial community dynamics / K. Denef, J. Six, H. Bossuyt, S. D. Frey, E. T. Elliott, R. Merckx // Soil Biology and Biochemistry. – 2001. – Vol. 33. – P. 1599–1611.

30. Julca I. Xeroprotectants for the stabilization of biomaterials. Review / I. Julca, M. Alaminos, J. González-López, M. Manzanera // *Biotechnology Advances*. – 2012. – Vol. 30, No 6. – P. 1641–1654.
31. Manzanera M. Dealing with water stress and microbial preservation / M. Manzanera // *Environmental Microbiology*. – 2020. – Vol. 00. – 9 p.

EVALUATION OF THE EFFICIENCY OF USING A COMPLEX OF MICROORGANISMS IN CULTIVATING *SORGHUM BICOLOR* (L.) IN DIRECT SEEDING AND TRADITIONAL SYSTEMS

Abdurashytova E. R., Abdurashytov S. F., Pashtetskiy V. S.

*Research Institute of Agriculture of Crimea, Simferopol, Republic of Crimea, Russian Federation
E-mail: elvi-jadore@mail.ru*

In world agriculture, grain sorghum occupies 70-75 million hectares. Its grain is used to produce alcohol and alcoholic beverages, as human food and animal feed, etc. Growing agricultural crops requires an environmentally sound approach, which is ensured by the use of biotechnological techniques that promote the activation of the soil microbiome, optimization of mineralization processes and increased profitability of products in various conditions. The potential role of PGPR in imparting resistance to water stress, including the use of arbuscular mycorrhizal fungi with grain sorghum, has been studied. Direct seeding helps to preserve the agrophysical and biological properties of the soil. An integrated approach to the use of microorganisms and direct seeding in agriculture increases the overall biogenicity of soils and complements the methods for plant adaptation to water and temperature stress. The purpose of the work is to assess the water status of plants, the biological activity of the rhizosphere and the biomass of grain sorghum under the influence of a complex of microorganisms and various agrosystems in the conditions of southern chernozem. The assessment was carried out in a stationary field experiment to study the effect of the traditional farming system and direct seeding and the use of sorghum seed inoculation with a complex of microorganisms (CM) on the preservation of soil fertility. A stationary experiment to study the influence of farming systems and a complex of microorganisms (CM) on the preservation of the fertility of arable lands was established in 2015 on the experimental field of the Federal State Budgetary Scientific Institution “Research Institute of Agriculture of Crimea”. According to the conditions of the stationary experiment, a two-factor experiment was established: factor A is a traditional or resource-saving agrosystem, factor B is the presence or absence of inoculation with a complex of microorganisms (CM); with the following options: 1. Direct seeding (DS) without seed treatment with CM; 2. Direct seeding with seed treatment with CM (DS with CM); 3. Traditional system (TS) without seed treatment with CM; 4. TS – seed treatment with CM (TS with CM). The complex of microorganisms (CM) consists of strains of the Crimean collection(<https://ckp-rf.ru/catalog/usu/507484/>): *Paenibacillus polymyxa* П (main function: protection against phytopathogens), *Lelliottia nimipressuralis* 32-3 (growth stimulation and phosphate mobilization), *Agrobacterium radiobacter* 204 (improving nitrogen nutrition) and the association of arbuscular

mycorrhiza fungi *Rhizophagus sp.* P3. The parameters of plant water status and biological activity of the sorghum rhizosphere were selected: water deficit level, relative turgidity, grain biomass, peroxidase activity and rhizosphere carbon dioxide emission. Weather and climatic conditions were characterized by weak and moderate drought intensity in 2018 and 2020, respectively, and no drought in 2019. Based on the results of determining the water deficit, it was established: low – 2018 and 2019, and 2020 – medium degree of drought resistance of plants in all experimental variants. The effect of CM on the value of relative turgidity and water status in the field experiment was noted only in 2019 in the direct seeding variant towards increasing the saturation of cells with water and drought resistance of plants. The use of CM helps to optimize the functional activity of peroxidase enzymes and carbon dioxide emissions in the rhizosphere. Under the conditions of 2018 and 2020, a decrease in peroxidase activity and carbon dioxide emissions in direct seeding was found compared to the traditional system by up to 3.9 times and 1.4 times, respectively. On average, over the years of the study, the grain biomass in various farming systems was the same, while the use of CM contributed to its increase by 0.07 t / ha in the traditional system and 0.23 t / ha in direct seeding. Correlation analysis of the studied parameters in the active phase of plant growth showed similar relationships in 2018 and 2020 between the grain biomass of plants with peroxidase activity $r = -0.74$ and $r = -0.67$, respectively. The correlation between grain biomass and rhizosphere carbon dioxide emissions with $r = -0.88$ was revealed in a 2020 field experiment. The established correlations between the activity of rhizosphere peroxidases, carbon dioxide emissions and grain biomass indicate that the use of a complex of microorganisms helps to optimize the functioning of the native microflora, which is shown by the result of their vital activity (enzymatic activity) and the adaptation of plants to dry conditions. Thus, the integrated approach of using biotechnological and agrotechnological methods in growing grain sorghum promotes the adaptive work of the native microflora, which is demonstrated by the result of their vital activity (biological activity) and an increase in the biomass of plant grains under dry conditions.

Keywords: *Sorghum bicolor* (L.) Moench; no-till; water deficit; carbon dioxide emission; peroxidase activity; grain biomass; correlation.

References

1. Mohamed H. I., Fawzi E. M., Basit A. and Kaleemullah Lone R., *Sorghum*: nutritional factors, bioactive compounds, pharmaceutical and application in food systems: A review, *Phyton-Int. J. Exp. Bot.*, **91** (7), 1303 (2022).
2. Zoteev V. S., Simonov G. A. and Antimonov A. K., Grain sorghum in feeding lactating cows, *Molochn. Myasn. Skotov.*, **7**, 34 (2018).
3. Syrkina L. F. and Nikonorova Yu. Yu., Grain sorghum as a potential raw material for starch and alcohol production, *Vestn. KrasGAU*, **10** (163), 95 (2020).
4. Uddin M. R., Park S. U., Dayan F. E. and Pyon J. Y., Herbicidal activity of formulated sorgoleone, a natural product of sorghum root exudate, *Pest Manag. Sci.*, **70**(2), 252 (2014).
5. Shukla S. K., Yadav R. L., Gupta R., Singh A. K., Awasthi S. K. and Gaur A., Deep Tillage, Soil Moisture Regime, and Optimizing N Nutrition for Sustaining Soil Health and Sugarcane Yield in Subtropical India, *Commun. Soil Sci. Plant Anal.*, **49** (4), 444 (2018).
6. Aipova R., Abdykadyrova A. B. and Kurmanbaev A. A., Biological preparations in organic farming, *Biotechnol. Sel. Rast.*, **2** (4), 36 (2019).

7. Suman J., Rakshit A., Ogireddy S. D., Singh S., Gupta C. and Chandrakala J., Microbiome as a Key Player in Sustainable Agriculture and Human Health, *Front. Soil Sci.*, **2**, 821589 (2022).
8. Volobueva O., Seregina I., Belopukhov S., Grigoryeva M., Trukhachev V., Manokhina A. and Kozlov N., The influence of biological products and growth regulators on the yield and quality indicators of pea seeds of various varieties, *Braz. J. Biol.*, **84**, e280312 (2024).
9. Venturi V. and Keel C., Signaling in the rhizosphere, *Trends Plant Sci.*, **21**(3), 187 (2016).
10. Andronov E. E., Ivanova E. A., Pershina E. V., Orlova O. V., Kruglov Yu. V., Belimov A. A. and Tikhonovich I. A., Analysis of soil microbiome indicators in processes related to soil formation, organic matter transformation and fine regulation of vegetation processes, *Byull. Pochv. Inst. Dokuchaeva*, **(80)**, 83 (2015).
11. Dubinina M. N. and Lykhman V. A., The role of soil microbial communities in the formation of agronomically valuable water-resistant structure, *Vestn. Don. Gos. Agrar. Univ.*, **3-1**, 82 (2019).
12. Kha T. Z., Kanarsky A. V., Kanarskaya Z. A. et al., Key plant growth stimulators – rhizobacteria, *Vestn. Povolzh. Gos. Tekhnol. Univ., Ser.: Les. Ekol. Prirodopol'z.*, **3 (47)**, 58 (2020).
13. Chernykh E. P., Milshina L. A., Gogoleva O. V. and Pervyshina G. G., Influence of ecological factors and vegetation period on the content of biologically active substances in some plant raw materials of Krasnoyarsk Territory, *Vestn. KrasGAU*, **11 (74)**, 128 (2012).
14. Kumar P. G., Mir Hassan Ahmed S. K., Desai S., Leo Daniel A. E. and Abdul R., In vitro Screening for Abiotic Stress Tolerance in Potent Biocontrol and Plant Growth Promoting Strains of *Pseudomonas* and *Bacillus* spp., *Int. J. Bacteriol.*, **2014**, 6 (2014).
15. Lebedev V. N., Vorobeikov G. A. and Uraev G. A., Evaluation of the effectiveness of seed treatment of cabbage crops with associative rhizobacteria under normal moisture and soil drought conditions, *Usp. Sovrem. Estestvozn.*, **5**, 13 (2021).
16. Abdurashtov S. F., Gricevich K. S., Alekseeva A. I. and Abdurashtova E. R., Growth-stimulating effect of symbiotic microorganisms on sorghum under water deficit, *Sib. Vestn. S-kh. Nauki*, **55 (1)**, 41 (2025).
17. Nosheen A., Yasmin H., Naz R., Bano A., Keyani R. and Hussain I., *Pseudomonas putida* improved soil enzyme activity and growth of kasumbha under low input of mineral fertilizers, *Soil Sci. Plant Nutr.*, **64 (4)**, 520 (2018).
18. Zinchenko M. K., Zinchenko S. I., Borin A. A. and Kamneva O. P., Enzymatic activity of agricultural soils in the Upper Volga region, *Sovrem. Probl. Nauki Obraz.*, **3**, 143 (2017).
19. Khaziev F.Kh., Functional role of enzymes in soil processes, *Vestn. Akad. Nauk RB*, **20 (2)**, 14 (2015).
20. Dragan N.A., *Soil Resources of Crimea*, 208 p. (Dolya, Simferopol, 2004).
21. Soil Map of Russia, <https://soil-db.ru/map?lat=45.5541&lng=35.5408&zoom=9&feature=35693> (accessed: 22.03.2025).
22. Strashnaya A. I., Purina I. E., Chub O. V., Zadornova O. I. and Chekulayeva T. S., Automated technology for monitoring and calculating the number of decades with soil and atmospheric-soil drought under grain crops, *Tr. Gidrometcent. Ross.*, **349**, 161 (2013).
23. *Workshop on Plant Physiology*, edited by Tretyakov N. N., Karnaukhova T. V. and Panichkin L. A., 271 p. (Agropromizdat, Moscow, 1990).
24. Goncharova E. A., *Water Status of Cultivated Plants and Its Diagnostics*, edited by Dragavtsev V. A., 112 p. (VIR, St. Petersburg, 2005).
25. Gritsaenko Z. M., Gritsaenko A. O. and Karpenko V. P., *Methods of Biological and Agrochemical Research of Plants and Soils*, 320 p. (NICH LAVA, Kyiv, 2003).
26. *Guidelines for Assessing the Toxic Effects of Pesticides on Soil Microflora*, edited by Kruglov Yu. V., 43 p. (Moscow, 1981).
27. Dospekhov B. A., *Methodology of Field Experiment*, 351 p. (Agropromizdat, Moscow, 1985).
28. Tuev N. A., *Microbiological Processes of Humus Formation*, 239 p. (Agropromizdat, Moscow, 1989).
29. Denef K., Six J., Bossuyt H., Frey S. D., Elliott E. T. and Merckx R., Influence of dry-wet cycles on the interrelationship between aggregate, particulate organic matter, and microbial community dynamics, *Soil Biol. Biochem.*, **33**, 1599 (2001).
30. Julca I., Alaminos M., González-López J. and Manzanera M., Xeroprotectants for the stabilization of biomaterials. Review, *Biotechnol. Adv.*, **30 (6)**, 1641 (2012).
31. Manzanera M., Dealing with water stress and microbial preservation, *Environ. Microbiol.*, **23 (7)**, 3351 (2021).

УДК 615.838:616.98:796.332

DOI 10.29039/2413-1725-2025-11-2-17-26

ГИДРОРЕАБИЛИТАЦИЯ ФУТБОЛИСТОВ С ПОСТКОВИДНЫМ СИНДРОМОМ

Бугаец Я. Е., Исаенко Т. А., Сальникова Е. А.

*Кубанский государственный университет физической культуры, спорта и туризма,
Краснодар, Россия
E-mail: yana_bugaetz@mail.ru*

В статье представлены исследования кардиореспираторных показателей 20 футболистов с постковидным синдромом после перенесения коронавирусной инфекции. На этапах до и после проведения реабилитации фиксировали параметры сердечно-сосудистой и дыхательной систем. Экспериментальной группе, наряду с лечебной физической культурой, были предложены гидрореабилитационные мероприятия, направленные на повышение толерантности к физической нагрузке, активизации дыхательной мускулатуры. Было отмечено положительное влияние реализации реабилитационных комплексов на кардиореспираторные показатели у всех исследуемых спортсменов. В экспериментальной группе, дополнительно занимающейся в бассейне, отмечалось преимущество в проявлении значений пульсового давления, степени насыщения крови кислородом, эффективности респираторных возможностей, в том числе устойчивости к гипоксии.

Ключевые слова: гидрореабилитация, постковидный синдром, кардиореспираторная система, футболисты.

ВВЕДЕНИЕ

Появление новой коронавирусной инфекции (COVID-19) привело к ее обширному распространению, частому развитию постковидного синдрома, симптомы которого могут наблюдаться от нескольких недель до года. На этом фоне у пациентов снижается качество жизни, трудоспособность, увеличивается риск проявления хронических заболеваний органов и систем [1]. Патологии, возникающие при постковидном синдроме, носят мультисистемный и полиорганный характер [2]. Длительное кислородное голодание вызывает нарушения в центральной нервной системе, вегетативных функциях организма, может затрагивать психо-эмоциональную сферу [3]. Большинство спортсменов достаточно легко переносят коронавирусную инфекцию. Однако в случае развития постковидного синдрома возникает необходимость соблюдения условий для безопасного возвращения в тренировочный режим.

Несмотря на то, что в научной литературе представлены многочисленные исследования симптомов, причин, факторов риска развития постковидного синдрома, изучение патогенетических механизмов развития этого заболевания, частоты развития симптомов продолжается [4]. В случае развития постковидных

процессов проводят реабилитационные мероприятия, обеспечивающие восстановление в первую очередь, кардиореспираторных функций [5, 6].

Во время лечения пациенты принимают значительную фармакологическую нагрузку, поэтому в период восстановления после COVID-19 приобретают значение эффективные немедикаментозные методы лечения.

В настоящее время большинство методик восстановительного лечения пациентов, перенесших коронавирусную инфекцию, включают комплексные подходы с дозированной и адекватно подобранной нагрузкой, дыхательную гимнастику, использование респираторных тренажеров, массаж, физиотерапию, рефлексотерапию, психотерапию и диету [7, 8]. Программы лечебной физической культуры базируются на интенсивных общетонизирующих динамических интервальных тренировках с сопротивлением, вовлечением мышечного аппарата верхних и нижних конечностей, дыхательной мускулатуры, условно-рефлекторно стимулирующих респираторные процессы [9].

Известно, что занятия оздоровительным плаванием повышают адаптацию организма к факторам внешней среды, за счет улучшения состояния физиологических функций, в частности, сердечно-сосудистой системы, рефлекторных дыхательных реакций, проприоцептивной чувствительности [10, 11]. В связи с этим, одной из концепций восстановления для лиц, перенесших коронавирусную инфекцию, является использование гидрореабилитационных методик, обеспечивающих восстановление ключевых нейромоторных процессов [12, 13]. Однако для спортсменов с постковидным синдромом недостаточно изучено влияние занятий в водной среде, отсутствуют сформулированные режимы тренировочного процесса при данном способе гидрореабилитации, что определило актуальность данной работы.

Целью исследования явилось состояние кардиореспираторной системы у футболистов с постковидным синдромом при использовании гидрореабилитации.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Для проведения исследования были отобраны 20 квалифицированных футболистов 18–22 лет. Данные спортсмены в разное время перенесли коронавирусную инфекцию с проявлением легких и умеренных симптомов COVID-19, проходили лечение в домашних условиях и через 2 недели после выздоровления вернулись к спортивным занятиям. Допуск к учебно-тренировочному процессу был одобрен после отрицательных тестов анализов на COVID-19. Однако у всех исследуемых сохранялись признаки постковидного синдрома, проявляющиеся в легкой одышке и сниженной сатурации.

Для проведения сравнительного анализа спортсмены были разделены на контрольную и экспериментальную группы, по 10 человек в каждой. В обеих группах в течение двух месяцев футболисты в домашних условиях выполняли комплекс лечебной физической культуры, сформированный для больных с легким течением COVID-19. Комплекс лечебной физической культуры включал дыхательные упражнения, продолжительность занятия составляла 15–20 минут [9].

Спортсмены экспериментальной группы, дополнительно, занимались в бассейне футбольного клуба по разработанной методике, направленной на повышение толерантности к физической нагрузке, активизации дыхательной мускулатуры, с использованием инспираторной гимнастики, статических и динамических дыхательных упражнений. Посещение бассейна было 3 раза в неделю, инспираторный тренинг имел продолжительность 35–40 минут.

Занятия в бассейне для лиц с постковидным синдромом проводились с уровнем воды до груди, что позволяло увеличить нагрузку на верхние конечности при ходьбе, на грудную клетку и, соответственно, на мышцы дыхательной системы и кровообращение. Гидрореабилитационная методика состояла из вводной, основной и заключительной частей. Вводная часть (5 минут) включала ходьбу в сочетании с частотой движений руками, и была направлена на повышение толерантности к физической нагрузке. Основная часть (25–30 минут) включала инспираторную гимнастику на базе статических и динамических дыхательных упражнений. Статическая нагрузка была направлена на активизацию дыхательной мускулатуры без движений тела или его частей. Динамические упражнения выполнялись в процессе двигательной активности туловища или конечностей, согласуя с частотно-амплитудными характеристиками дыхания, направленными на расширение грудной клетки, осуществление полноценного вдоха, улучшение легочной вентиляции и кровообращения. Заключительная часть (5 минут) обеспечивала восстановление кардиореспираторной системы организма.

При обследовании были соблюдены этические принципы проведения научных исследований, принятой Хельсинкской декларацией Всемирной медицинской ассоциации.

До и после проведения реабилитационных мероприятий определяли и рассчитывали ряд функциональных показателей кардиореспираторной системы в состоянии покоя [14, 15]:

1. Частоту сердечных сокращений (ЧСС) фиксировали с помощью пульсоксиметра.

2. Артериальное систолическое (САД) и диастолическое (ДАД) давление определяли методом Короткова

3. Пульсовое давление (ПД) по формуле 1:

$$\text{ПД} = \text{САД} - \text{ДАД}, \quad (1)$$

3. Коэффициент выносливости (КВ) по формуле 2:

$$\text{КВ} = (\text{ЧСС} / \text{ПД}) \times 10, \quad (2)$$

Оценивали параметр как нормальный в случае 16 у.е., менее 16 у.е. – недостаточность функций системы кровообращения, более 16 у.е. – усиление функций системы кровообращения.

4. Частоту дыхания (ЧД) определяли в покое за минуту.

5. Степень насыщения крови кислородом (SpO_2) с использованием пульсоксиметра, учитывая недостаточность дыхательной производительности в случае показателей сатурации 94 % и менее, нормативные значения – 95 % и более.

6. Индекс эффективности дыхания (ИЭД) по формуле 3:

$$\text{ИЭД} = \text{SpO}_2 / \text{ЧД}, \quad (3)$$

Отмечали проявление гипоксии в случае показателя индекса менее 6 у.е.

8. Пробу Штанге выполняли на задержке дыхания после максимального вдоха, отмечая временные показатели в случае 50 с и менее как «слабую» функциональную подготовленность, 51–79 с – «среднюю», 80 с и более – «хорошую».

9. Пробу Генчи выполняли на задержке дыхания после полного выдоха, характеризуя у к гипоксии как «слабую» в случае задержки дыхания 25 с и менее, «среднюю» – 26–44 с, «хорошую» – 45 с и более.

Для статистической обработки данных использовали пакет прикладных программ Statistica 10.0. Результаты были проверены на нормальность распределения выборки. Для определения статистической значимости различий использовали параметрический критерий Стьюдента для связанных и несвязанных выборок. Статистическая значимость была установлена на уровне $P < 0,05$.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

После проведения реабилитационных мероприятий в контрольной группе наблюдалось статистически значимое снижение ЧСС на 12 % и САД на 5 % ($P < 0,05$) (табл. 1). Однако изменений ДАД, ПД не наблюдалось ($P > 0,05$).

Таблица 1

Показатели кардиореспираторной системы в контрольной группе (n=10) на этапах эксперимента (M±m)

Показатели	В начале эксперимента	В конце эксперимента	P
ЧСС (мин ⁻¹)	76,70±2,06	67,80±1,41	<0,05
САД (мм рт. ст.)	132,90±1,74	126,70±1,67	<0,05
ДАД (мм рт. ст.)	78,20±2,66	74,10±1,33	>0,05
ПД (мм рт. ст.)	54,70±1,32	52,60±1,46	>0,05
КВ (у.е.)	14,11±0,53	12,99±0,49	>0,05
ЧД (мин ⁻¹)	16,20±0,55	14,40±0,48	<0,05
SpO ₂ (%)	93,80±0,57	96,20±0,42	<0,05
ИЭД (у.е.)	5,85±0,21	6,75±0,22	<0,05
Проба Штанге (с)	40,60±1,71	55,51±1,76	<0,05
Проба Генчи (с)	20,94±0,55	24,77±0,84	<0,05

Несмотря на отсутствие различий средних параметров КВ на этапах исследования ($P > 0,05$), количественное распределение данного показателя среди футболистов обнаружило значительное число исследуемых (90 %) с недостаточным уровнем кровообращения, сохраняя его после проведения курса физической реабилитации, при этом 10 % спортсменов, у которых проявлялись нормативные значения, в конце эксперимента характеризовались усилением функций.

Важным показателем «инспираторного драйва», характеризующим особенности вентиляции легких, является частота дыхания, повышенные количественные показатели которой у лиц с постковидным синдромом отражают развитие компенсаторных механизмов при нарушении выведения углекислого газа из организма [14]. В наших исследованиях значения ЧД соответствовали нормативным, отсутствовали проявления тахипноэ, а в результате проведения реабилитационных мероприятий в контрольной группе были обнаружены статистически значимые изменения всех респираторных показателей на этапах исследования ($P < 0,05$). Снижение ЧД составило 11 %. Необходимо отметить недостаточность дыхательной производительности в начале исследований, и повышение степени насыщения кислородом крови на 3 % в конце эксперимента. Такая картина проявлялась и в отношении ИЭД, который увеличился на 13 %. При этом в начале занятий у половины спортсменов была выявлена гипоксия, проявления которой сохранялось в 10 % случаев после проведения реабилитационных мероприятий.

Отмечалось увеличение времени задержки дыхания в пробе Штанге на 27 %, а в пробе Генчи – на 16 %, что подтверждалось распределением параметров среди спортсменов. В начале исследований большинство футболистов имели «слабую» функциональную подготовленность (90 %) по показателям пробы Штанге, тогда как после проведения реабилитации все спортсмены (100 %) улучшили параметры до «средних» значений. Устойчивость к недостатку кислорода, определяемая в пробе Генчи, в начале эксперимента была «слабая» у всех исследуемых (100 %), в конце – она сохранялась у 40 %, а в 60 % случаев улучшилась до «средних» параметров. Однако в обоих пробах отсутствовал «хороший» уровень переносимости гипоксии.

В экспериментальной группе ЧСС после проведения занятий статистически значимо снизились на 17 %, САД – на 9 % ($P < 0,05$) (табл. 2).

Таблица 2

Показатели кардиореспираторной системы в экспериментальной группе (n=10) на этапах эксперимента ($M \pm m$)

Показатели	В начале эксперимента	В конце эксперимента	P
ЧСС (мин^{-1})	77,20 $\pm$ 1,74	64,30 $\pm$ 1,67	<0,05
САД (мм рт. ст.)	135,60 $\pm$ 1,46	123,20 $\pm$ 1,16	<0,05
ДАД (мм рт. ст.)	77,60 $\pm$ 3,25	76,30 $\pm$ 1,24	>0,05
ПД (мм рт. ст.)	58,00 $\pm$ 2,63	46,90 $\pm$ 1,46	<0,05
КВ (у.е.)	13,61 $\pm$ 0,78	13,88 $\pm$ 0,68	>0,05
ЧД (мин^{-1})	16,00 $\pm$ 0,56	13,20 $\pm$ 0,49	<0,05
SpO ₂ (%)	94,10 $\pm$ 0,46	97,80 $\pm$ 0,33	<0,05
ИЭД (у.е.)	5,94 $\pm$ 0,20	7,50 $\pm$ 0,27	<0,05
Проба Штанге (с)	44,84 $\pm$ 1,53	64,03 $\pm$ 1,39	<0,05
Проба Генчи (с)	20,99 $\pm$ 0,45	31,43 $\pm$ 1,28	<0,05

Несмотря на отсутствие изменений ДАД, отмечалось статистически значимое снижение ПД на 19 %.

Различия КВ на этапах исследования не было обнаружено. Однако количественное распределение данного показателя среди футболистов на первом этапе выявило «недостаточность» кровообращения у 80 % исследуемых, а после реабилитации число таких спортсменов уменьшилось до 60 %, остальные 40 % характеризовались «нормальным» функционированием гемодинамики за счет снижения числа с «усиленным» уровнем.

На этапах исследования футболисты экспериментальной группы демонстрировали статистически значимые изменения всех респираторных показателей ($P < 0,05$).

Значения ЧД соответствовали нормативным, отсутствовали проявления тахипноэ, и после проведения реабилитационных мероприятий уменьшились на 18 %. На 4 % увеличились средние показатели сатурации. Эффективность дыхания повысилась на 21 %, что ярко демонстрировало количественное распределение ИЭД среди футболистов. На первом этапе исследований 40 % спортсменов характеризовались выявленной гипоксией, а параметры нормы встречались в 60 % случаев, тогда как после проведения реабилитации у всех исследуемых (100 %) проявлялись нормативные значения.

При выполнении пробы Штанге среднее время задержки дыхания увеличилось на 29 %. На первом этапе исследований большинство футболистов (80 %) характеризовалось «слабой» функциональной подготовленностью, после проведения реабилитации все спортсмены (100 %) улучшили параметры до средних значений.

При выполнении пробы Генчи – среднее время задержки дыхания увеличилось на 33 %. Если устойчивость к недостатку кислорода в начале эксперимента была «слабая» у всех исследуемых (100 %), то в конце исследований время задержки дыхания на выдохе улучшилось до «средних» параметров в 100 % случаев.

Сравнительный межгрупповой анализ кардиореспираторных в начале исследований демонстрировал отсутствие различий, что подтверждало однородность выборки ($P > 0,05$).

В конце исследований также не отличались параметры ЧСС, САД и ДАД (табл. 3).

Пульсовое давление является системообразующим элементом кровообращения, посредством которого реализуются нейрогуморальные регуляторные процессы гемодинамики [16]. Поэтому более низкие значения данного параметра в экспериментальной группе, на 11 %, отражает вероятность развития положительных адаптационных механизмов у исследуемых спортсменов.

Отмечается сопряженное преимущество респираторных параметров у футболистов, использовавших гидрореабилитацию. Превышение в степени насыщения кислородом составило 2 %, эффективности дыхания – 10 %, времени задержки дыхания на вдохе (проба Штанге) – 15 %, и на выдохе (проба Генчи) – 21 %.

Таблица 3

Сравнение показателей кардиореспираторной системы в группах на этапах эксперимента ($M \pm m$)

Показатели	Контрольная	Экспериментальная	P
ЧСС (мин^{-1})	$67,80 \pm 1,41$	$64,30 \pm 1,67$	$>0,05$
САД (мм рт. ст.)	$126,70 \pm 1,67$	$123,20 \pm 1,16$	$>0,05$
ДАД (мм рт. ст.)	$74,10 \pm 1,33$	$76,30 \pm 1,24$	$>0,05$
ПД (мм рт. ст.)	$52,60 \pm 1,46$	$46,90 \pm 1,46$	$<0,05$
КВ (у.е.)	$12,99 \pm 0,49$	$13,88 \pm 0,68$	$>0,05$
ЧД (мин^{-1})	$14,40 \pm 0,48$	$13,20 \pm 0,49$	$>0,05$
SpO_2 (%)	$96,20 \pm 0,42$	$97,80 \pm 0,33$	$<0,05$
ИЭД (у.е.)	$6,75 \pm 0,22$	$7,50 \pm 0,27$	$<0,05$
Проба Штанге (с)	$55,51 \pm 1,76$	$64,03 \pm 1,39$	$<0,05$
Проба Генчи (с)	$24,77 \pm 0,84$	$31,43 \pm 1,28$	$<0,05$

В целом, проведение реабилитационных мероприятий способствует нивелированию недостаточности кровообращения в обеих группах исследуемых. Более высокие кардиореспираторные и адаптационные возможности организма проявлялись у футболистов экспериментальной группы.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, применение гидрореабилитационной методики, дополняющей лечебную физическую культуру, у футболистов в постковидном синдроме направлено на повышение функциональных резервов организма. Реализация реабилитационных комплексов способствовала улучшению кардиореспираторных показателей. В экспериментальной группе отмечалось преимущество в проявлении значений пульсового давления, степени насыщения крови кислородом, эффективности респираторных возможностей, в том числе устойчивости к гипоксии. Полученные результаты исследований определяют реабилитационные стратегии, направленные на восстановление возможностей и компенсации кардиореспираторных функций у спортсменов, перенесших коронавирусную инфекцию.

Список литературы

1. Khamis A. H. Clinical and laboratory findings of COVID-19: A systematic review and metaanalysis / A. H. Khamis, M. Jaber, A. Azar // Journal of the Formosan Medical Association. – 2021. – No 120 (9). – P. 1706–1718.
2. Carfi A. Against COVID-19 Post-Acute Care Study Group. Persistent Symptoms in Patients After Acute COVID-19 / A. Carfi, R. Bernabei, F. Landi // Journal of the American Medical Association. – 2020. – No 324 (6). – P. 603–605.

3. Тадтаева Д. Я. Новые подходы к постковидной реабилитации / Д. Я. Тадтаева, Н. М. Бурдули, Д. В. Иванов, С. К. Аликова, Л. Г. Ранюк // Вестник новых медицинских технологий. – 2023. – №1 (3-12). – URL: <http://www.medsu.tula.ru/VNMT/Bulletin/E2023-1/3-12.pdf>.
4. Асфандиярова Н. С. Постковидный синдром / Н. С. Асфандиярова // Клиническая медицина. – 2021. – № 99 (7–8). – С. 429–435.
5. Иванова Г. Е. Основные направления лечения и реабилитации неврологических проявлений COVID-19. Резолюция совета экспертов / Г. Е. Иванова, А. Н. Боголепова, О. С. Левин, Н. А. Шамалов, Д. Р. Хасанова, С. Н. Янишевский, В. В. Захаров, С. Е. Хатькова, Л. В. Стаховская // Журнал неврологии и психиатрии им. С. С. Корсакова. – 2021. – №121 (6). – С. 145–151.
6. Терешин А. Е. Коррекция митохондриальной дисфункции в комплексной реабилитации пациентов, перенесших COVID-19 / А. Е. Терешин, В. В. Кирьянова, Д. А. Решетник // Журнал неврологии и психиатрии им. С.С. Корсакова. – 2021. – 121(8). – С. 25–29.
7. Зуйкова А. А. Эффективность восстановительного лечения пациентов с постковидным синдромом / А. А. Зуйкова, Д. Ю. Бугримов, О. Н. Красноруцкая // Лечащий Врач. – 2022. – № 11 (25). – С. 21–29.
8. Ortiz-Ortigosa L. Effectiveness of pulmonary rehabilitation programmes and/or respiratory muscle training in patients with post-COVID conditions: a systematic review / L. Ortiz-Ortigosa, P. Galvez-Alvarez, M. Jesus Vinolo-Gil, M. Rodriguez-Huguet, J. Gongora-Rodríguez, R. Martin-Valero // Respiratory Research. – 2024. – Vol. 25, No 248. – URL: <https://respiratory-research.biomedcentral.com/articles/10.1186/s12931-024-02857-4>.
9. Громова Е. С. Физическая реабилитация после коронавирусной инфекции : учебно-методическое пособие / Е. С. Громова, О. В. Шакирова, Л. П. Акимова. – Владивосток: Издательство Дальневосточного федерального университета, 2022. – 59 с.
10. Корсакова Е. А. Возможности гидрореабилитации в сочетании с другими методами реабилитационного воздействия у детей с различной патологией / Е. А. Корсакова, Л. К. Неустроев // Первый международный конгресс Медицинская реабилитация: научные исследования и клиническая практика – СПб.: Изд-во «Человек и его здоровье», 2022. – С. 182–183.
11. Сидоров Д. Г. Воздействие занятий плаванием на системы организма при различных заболеваниях: учебно-методическое пособие / Д. Г. Сидоров. – Н.Новгород: ННГАСУ, 2022. – 38 с.
12. Бурэ Н. П. Гидрореабилитация при постковидном синдроме у детей / Н. П. Бурэ, Г. А. Суслова // Forcipe. – 2022. – Т. 5, № 52. – С. 97–98.
13. Мартынова Э. В. Оздоровительное плавание как средство восстановления после перенесенной коронавирусной инфекции / Э. В. Мартынова, И. А. Каркавцева // Материалы XIV Международной студенческой научной конференции «Студенческий научный форум». – 2023. – URL: <https://scienceforum.ru/2022/article/2018030504?ysclid=lz8ghmivdv696334417>.
14. Военнов О. В. Соотношение пульсоксиметрической сатурации и частоты самостоятельного дыхания в оценке тяжести дыхательной недостаточности при COVID-19 / О. В. Военнов, П. С. Зубеев, К. В. Мокров, А. В. Турентинов, И. Ю. Джикидзе, С. А. Жилиев // Анестезиология и реаниматология. – 2023. – № 2. – С. 51–57.
15. Сырова И. Н. Самоконтроль и оценка физического здоровья студенческой молодежи: учебно-методическое пособие / И. Н. Сырова, Л. И. Серазетдинова, Р. Ф. Волкова, С. Ф. Усманова. – Казань: Казанский университет, 2023. – 89 с.
16. Хурса Р. В. Пульсовое давление крови: роль в гемодинамике и прикладные возможности в функциональной диагностике / Р. В. Хурса // Медицинские новости. – 2013. – № 4. – С. 13–18.

HYDROREHABILITATION OF FOOTBALL PLAYERS WITH POSTCOVID SYNDROME

Bugaets Y. E., Isaenko T. A., Salnikova E. A.

*Kuban State University of Physical Culture, Sports and Tourism, Krasnodar, Russia
E-mail: yana_bugaetz@mail.ru*

The relevance of the work is associated with insufficient information on the impact of classes in the aquatic environment on the functional state of persons who have undergone coronavirus infection, the lack of formulated regimes of hydrorehabilitation measures for athletes with postcoid syndrome. The article presents studies of cardiorespiratory parameters of football players of the control (10 athletes) and experimental group (10 athletes) with the manifestation of postcoid symptoms, after the transfer of COVID-19 to a mild degree.

Two weeks after recovery, all athletes for two months at home performed a complex of therapeutic physical education, which included exercises that stimulate respiratory processes. The experimental group, in addition, was offered hydrorehabilitation measures aimed at increasing tolerance to physical activity, activation of respiratory muscles. This technique included inspiratory training based on static and dynamic breathing exercises that improve pulmonary ventilation and blood circulation.

At the stages before and after the rehabilitation, the parameters of the cardiovascular and respiratory systems were recorded. All studied athletes had a positive effect of rehabilitation exercises on cardiorespiratory parameters, an increase in the functional capabilities of the body.

A comparative between-group analysis of cardiorespiratory patients at baseline showed no differences at baseline, confirming sample uniformity. After the rehabilitation, there were no differences in the parameters of heart rate, systolic and blood pressure. However, lower pulse pressure values in the experimental group showed a significant development of positive adaptation mechanisms of hemodynamics.

In the group of football players who used hydrorehabilitation, there was an advantage of most respiratory parameters compared to the control group. There was a higher degree of oxygen saturation, indicators of the respiratory efficiency index, a more significant breath holding time for inhalation in the Stang sample and exhalation in the Genchi sample.

In general, the implementation of rehabilitation measures contributes to the leveling of circulatory failure and respiratory performance in football players with postcoid syndrome. Hydrorehabilitation methods contribute to a more pronounced positive dynamics of the cardiorespiratory capabilities of the body and the manifestation of their adaptive properties.

The obtained research results determine rehabilitation strategies aimed at restoring the capabilities and compensation of functional systems in athletes who have undergone mild coronavirus infection.

Keywords: hydrorehabilitation, postcoid syndrome, cardiorespiratory system, football players.

References

1. Khamis A. H., Jaber M., Azar A. Clinical and laboratory findings of COVID-19: A systematic review and metaanalysis, *Journal of the Formosan Medical Association*, **120** (9), 1706 (2021).
2. Carfi A., Bernabei R., Landi F. Against COVID-19 Post-Acute Care Study Group. Persistent Symptoms in Patients After Acute COVID-19, *Journal of the American Medical Association*, **324** (6), 603 (2020).
3. Tadtseva D. YA., Burduli N. M., Ivanov D. V., Alikova S. K., Ranyuk L. G. Novye podhody k postkovidnoj rehabilitacii, URL: <http://www.medsu.tula.ru/VNMT/Bulletin/E2023-1/3-12.pdf> (2023).
4. Asfandiyarova N. S. Postcovidian syndrome, *Clinical Medicine*, 99 (7-8), 429 (2021).
5. Ivanova G. E., Bogolepova A. N., Levin O. S., Shamalov N. A., Hasanova D. R., Yanishevskij S. N., Zaharov V. V., Hat'kova S. E., Stahovskaya L. V. Osnovnye napravleniya lecheniya i rehabilitacii nevrologicheskikh proyavlenij COVID-19. Rezolyuciya soveta ekspertov, *Zhurnal nevrologii i psikiatrii im. C. C. Korsakova*, **121** (6), 145 (2021).
6. Tereshin A. E., Kir'yanova V. V., Reshetnik D. A. Korrekciya mitohondrial'noj disfunkcii v kompleksnoj rehabilitacii pacientov, perenesshih COVID-19, *Zhurnal nevrologii i psikiatrii im. C. C. Korsakova*, **121** (8), 25 (2021).
7. Zujkova A. A., Bugrimov D. YU., Krasnoruckaya O. N. Effektivnost' vosstanovitel'nogo lecheniya pacientov s postkovidnym sindromom, *Lechashchij Vrach*, **11** (25), 21 (2022).
8. Ortiz-Ortigosa L., Galvez-Alvarez P., Jesus Vinolo-Gil M., Rodriguez-Huguet M., Gongora-Rodríguez J., Martin-Valero R. Effectiveness of pulmonary rehabilitation programmes and/or respiratory muscle training in patients with post-COVID conditions: a systematic review, URL: <https://respiratory-research.biomedcentral.com/articles/10.1186/s12931-024-02857-4> (2024).
9. Gromova E. S., SHakirova O. V., Akimova L. P. *Fizicheskaya rehabilitaciya posle koronavirusnoj infekcii : uchebno-metodicheskoe posobie*, 59 p. (Izdatel'stvo Dal'nevostochnogo federal'nogo universiteta, Vladivostok, 2022).
10. Korsakova E. A., Neustroev L. K. Vozmozhnosti gidrorehabilitacii v sochetanii s drugimi metodami reabilitacionnogo vozdejstviya u detej s razlichnoj patologiej, *Pervyj mezhdunarodnyj kongress Medicinskaya rehabilitaciya: nauchnye issledovaniya i klinicheskaya praktika*. (Chelovek i ego zdorov'e, SPb, 2022), p. 182.
11. Sidorov D. G., *Vozdejstvie zanyatij plavaniem na sistemy organizma pri razlichnyh zabolevaniyah: uchebno-metodicheskoe posobie*, 38 p. (NNGASU, N.Novgorod, 2022).
12. Bure N. P., Suslova G. A. Gidrorehabilitaciya pri postkovidnom sindrome u detej, *Forcipe*, **5**, **52**, 97 (2022).
13. Martynova E. V., Karkavceva I. A. Ozdorovitel'noe plavanie kak sredstvo vosstanovleniya posle perenesennoj koronavirusnoj infekcii URL: <https://scienceforum.ru/2022/article/2018030504?ysclid=Iz8ghmivdv696334417> (2023).
14. Voennov O. V., Zubeev P. S., Mokrov K. V., Turentinov A. V., Dzhikidze I. Yu., Zhilyaev S. A. Sootnoshenie pul'soksimetricheskoj saturacii i chastoty samostoyatel'nogo dyhaniya v ocenke tyazhesti dyhatel'noj nedostatochnosti pri COVID-19, *Anesteziologiya i reanimatologiya*, **2**, p. 51 (2023).
15. Syrova I. N., Serazetdinova L. I., Volkova R. F., Usmanova S. F. *Samokontrol' i ocenka fizicheskogo zdorov'ya studencheskoj molodezhi: uchebno-metodicheskoe posobie*, 89 p. (Kazanskij universitet, Kazan' 2023).
16. Hursa R. V. Pul'sovoe davlenie krovi: rol' v gemodinamike i prikladnye vozmozhnosti v funkcional'noj diagnostike, *Medicinskie novosti*, **4**, p. 13 (2013).

УДК [613.84-02:612.6]-092.9

DOI 10.29039/2413-1725-2025-11-2-27-36

**ОЦЕНКА ВОЗМОЖНОСТИ МОДУЛЯЦИИ ВОЗДЕЙСТВИЯ
ПРЕНАТАЛЬНОГО ПАССИВНОГО ТАБАКОКУРЕНИЯ НА ОСОБЕННОСТИ
СОМАТИЧЕСКОГО И СЕНСОМОТОРНОГО РАЗВИТИЯ КРЫС ЛИНИИ
ВИСТАР В ГНЕЗДОВОМ ПЕРИОДЕ**

*Васильева Е. А., Пушкарева Л. А., Исенгулова А. А., Зинченко Е. А.,
Смолягин А. И., Мирошниченко И. В.*

*ФГБОУ ВО «Оренбургский государственный медицинский университет», Оренбург, Россия
E-mail: e.a.vasileva@orgma.ru*

Влияние различных факторов внешней среды в пренатальный период может оказывать существенное влияние на рост и развитие организма. В работе проведена оценка влияния пренатального пассивного табакокурения на соматическое и сенсомоторное развитие в гнездовом периоде потомства крыс линии Вистар. Дана оценка возможности профилактики этих эффектов с помощью тетрапептида КК1, обладающего антигипоксическими и антиоксидантными свойствами.

Ключевые слова: пренатальное пассивное табакокурение, сенсомоторное развитие, соматическое развитие, тетрапептид, крысы.

ВВЕДЕНИЕ

Пренатальный период характеризуется динамичным ростом и развитие организма, что определяет ход дальнейшего формирования фенотипа организма в постнатальном периоде. Организм матери может в значительной степени нивелировать негативное влияние различных факторов окружающей среды на плод. Несмотря на это комбинация факторов пассивного табакокурения, как показывают предшествующие исследования, может оказывать существенное влияние на развитие плода [1–3].

Согласно данным ВОЗ более 30 % женщин во время беременности подвергаются действию факторов пассивного табакокурения. Поэтому проведено большое количество исследований по оценке негативного влияния факторов пассивного табакокурения на развития плода млекопитающих [4, 5]. В то же время практически отсутствуют данные о последствиях пренатального пассивного табакокурения на развитие организма млекопитающих в раннем постнатальном периоде и возможности использования как протекторов препаратов, обладающих антигипоксическими и антиоксидантными свойствами.

В данном исследовании была проведена оценка особенностей соматического и сенсомоторного развития в период молочного вскармливания у потомства крыс линии Вистар, подвергавшихся пассивному табакокурению на протяжении всего

периода беременности, а также протекторных возможностей тетрапептида КК1 обладающего антигипоксическими и антиоксидантными свойствами.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В эксперименте использовались 38 половозрелых самок крыс линии Вистар и их потомство (329 крысят) в возрасте от 0 до 21 дня. Животные были разделены на три группы наблюдений.

Первая группа включала подгруппы К1 и Н1. В подгруппу К1 вошли крысята из пометов крыс, которых в период беременности подвергали фумигации табачным дымом (ФТД). Процедура ФТД самки осуществлялась с 1 по 20 сутки беременности. Беременную самку содержали в герметичной камере ($V = 0,374 \text{ м}^3$), которая вентилировалась атмосферным воздухом ($95 \text{ м}^3/\text{час}$). Каждые 60 минут, с 9-00 до 17-00 местного времени, 5 дней в неделю, в поток воздуха, поступающего в камеру, помещалась тлеющая сигарета. Концентрация твёрдых взвешенных частиц в воздухе при фумигации составляла $1 \text{ мг}/\text{м}^3$. В плазме крови беременных самок на 20 сутки беременности уровень котинина составлял $17 \text{ нг}/\text{мл}$, что соответствует умеренному пассивному табакокурению. В подгруппу Н1 вошли крысята из пометов крыс, которых в аналогичный период также помещали в гермокамеру, вентилируемую атмосферным воздухом, но процедуру ФТД не проводили.

Вторая группа включала аналогичные подгруппы К и Н, получавших ФТД и, соответственно, не получавших. В подгруппы К2 и Н2 вошли крысята из пометов самок, которым начиная со 2-й недели беременности интраназально вводили физиологический раствор хлорида натрия ($0,2 \text{ мл}$) с целью оценки влияния самой процедуры введения иммуномодулятора.

Третья группа включала аналогичные подгруппы К и Н, получавших ФТД и, соответственно, не получавших ФТД. В подгруппы К3 и Н3 вошли крысята из пометов самок, которым начиная со 2-й недели беременности интраназально вводили физраствор ($0,2 \text{ мл}$) содержащий тетрапептид КК1 в дозе $40 \text{ мкг}/\text{кг}$.

В течение всего срока эксперимента животные получали стандартное питание, имели постоянный доступ к свежей воде.

В работе использовали набор тестов для оценки развивающегося поведенческого фенотипа крыс, разработанный в Институте нормальной физиологии им. П. К. Анохина [6].

Для оценки соматического развития использовались признаки: «масса тела» «выделение ушных раковин», «разделение пальцев», «появление шерсти» «появление резцов», «полное обшерствление», «прозревание».

Для оценки сенсомоторного развития использовались признаки: тест «переворачивание на горизонтальной поверхности» (с 1-х по 9-е сутки ПР); тест «рутинг» (сосательный рефлекс) (с 1-х по 9-е сутки ПР); тест «избегание наклонной плоскости» (негативный геотропизм) (с 1-х по 9-е сутки ПР); тест «избегание края (обрыв) плоскости» (с 1-х по 9-е сутки ПР); тест «сгибание (флексия) пальцев передних конечностей» (с 1-х по 5-е сутки ПР); тест «сгибание (флексия) пальцев задних конечностей» (с 6-х по 12-е сутки ПР); тест «разгибание (экстензия) задних

конечностей» (с 1-х по 9-е сутки ПР); тест «координация передних и задних конечностей» (с 7-х по 14-е сутки ПР); тест «удерживание на горизонтальном канате с помощью передних/задних конечностей» (с 5-х по 14-е сутки ПР); тест «подъем/спуск по вертикальному канату» (с 12-х по 18-е сутки ПР); тест «движение ушей» (с 8-х по 10-е сутки ПР); тест «вибриссный плейсинг» (с 10-х суток ПР до прозревания животных); тест «зрительный плейсинг» (с момента прозревания до 18-х суток ПР); тест «аудиторный стартл»; тест «класпинг».

Своевременность развития каждого признака оценивалась в баллах (2, 1 и 0 баллов, соответственно раннее, среднее и позднее время появления признака). Определялся суммарный индекс своевременности соматического или сенсомоторного развития (СИССР или СИССМР), которые рассчитывались путем сложения баллов всех исследуемых признаков.

Использованные в исследовании методики соответствуют положениям Федерального Закона Российской Федерации № 498 «Об ответственном обращении с животными» от 19.12.2018 г. и не представляют общественной опасности, что подтверждено заключением Локального Этического Комитета ФГБОУ ВО ОрГМУ Минздрава России, протокол № 72 от 27. 06. 2024 г.

Анализ полученных данных проводили с использованием программы STATISTICA 6.0. Нормальность распределения данных проводили с использованием критерия Шапиро-Уилка. Распределение считалось стандартным при $p > 0,05$. Статистический анализ параметрических данных осуществляли, оценивая генеральные эффекты влияния пренатального пассивного табакокурения, процедуры введения физиологического раствора и иммуномодулятора (однофакторный анализ ANOVA). Вычисляли среднее значение M , ошибку среднего m . Достоверность различий в разных группах рассчитывали с использованием Post-hock анализа. Различия считали статистически значимыми при $p \leq 0,05$.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Изучение влияния фактора «пренатальное пассивное табакокурение» на формирование массы тела крысят в пренатальном периоде осуществлялось путем сравнения средних значений полученных при измерении этого показателя в первые сутки после рождения в подгруппах K1 и H1, а также K2 и H2. Выявлена достоверно более низкая средняя масса тела при рождении в подгруппе K1, по сравнению с группой H1: $5,83 \pm 0,12$ г и $6,42 \pm 0,17$ г соответственно ($p < 0,05$), а также в подгруппе K2, по сравнению с подгруппой H2: $3,63 \pm 0,07$ г и $5,79 \pm 0,08$ г соответственно ($p < 0,05$), что свидетельствует о негативном влиянии пренатального пассивного табакокурения на формирование массы плода в период внутриутробного развития.

При этом фактор «пренатальное пассивное табакокурение» влияет на формирование массы тела в раннем постнатальном периоде. Среднее значение массы тела в подгруппе H1 на 21 сутки составила $23,42 \pm 1,19$ г, а в подгруппе K1 $25,86 \pm 0,59$ г ($p < 0,05$), это свидетельствует о том, что в гнездовом периоде крысята из помётов самок, подвергнутых ФТД, быстрее набирают вес. В то же время, сравнивая среднее значение массы тела крысят на 21 сутки в подгруппах H2 и K2:

24,63±0,51 г и 21,06±0,53 г соответственно ($p<0,05$) мы отмечаем принципиально другой характер влияния фактора «пренатальное пассивное табакокурение» на формирование массы тела в раннем постнатальном периоде. Учитывая, что крысята из подгрупп Н2 и К2 находились под влиянием фактора «интраназальная инъекция», можно предположить, что комбинация этого фактора с фактором «пренатальное пассивное табакокурение» замедляет формирование массы тела.

Оценка влияния фактора «пренатальное пассивное табакокурение» на своевременность соматического развития в раннем постнатальном периоде осуществлялось путем сравнения средних значений СИССР в подгруппах К1 (8,31±0,26 балла) и Н1 (8,37±0,15 балла), а также К2 (6,14±0,34 балла) и Н2 (7,18±0,23 балла). Однако выявить существенных различий в средних значениях СИССР сравниваемых подгруппах не удалось. Следовательно «пренатальное пассивное табакокурение» не оказывает значимого влияния на формирование признаков, характеризующих соматическое развитие.

Проверка возможности фактора «пренатальное пассивное табакокурение» влиять на своевременность сенсомоторного развития в раннем постнатальном периоде осуществлялось путем сравнения средних значений СИССМР в подгруппах К1 и Н1, а также К2 и Н2. Установлено, что в подгруппе К1, по сравнению с подгруппой Н1 среднее значение СИССМР достоверно меньше: 17,11±0,52 и 18,52±0,35 балла соответственно ($p<0,05$), такие же различия имеются и между подгруппами К2 и Н2: 9,95±1,15 и 15,42±0,51 балла соответственно ($p<0,05$). Данные результаты наглядно доказывают негативное влияние фактора «пренатальное пассивное табакокурение» на своевременность формирования признаков сенсомоторного развития у новорожденных крысят в гнездовом периоде.

Процедура введения тетрапептида КК1 может быть самостоятельным фактором, влияющим как на пренатальное, так и раннее постнатальное развитие у млекопитающих в силу существенного стрессирования беременных самок крыс при интраназальной инъекции.

Проверка предположения значимости фактора «интраназальная инъекция» для формирования массы тела крысят в пренатальном периоде осуществлялось путем сравнения средних значений полученных при измерении этого показателя в первые сутки после рождения в подгруппах Н1 и Н2, а также К1 и К2. Выявлена достоверно более низкая средняя масса тела при рождении в подгруппе Н2, по сравнению с группой Н1: 5,79±0,08 г и 6,42±0,17 г соответственно ($p<0,05$), а также в подгруппе К2, по сравнению с подгруппой К1: 3,63±0,07 г и 6,42±0,17 г соответственно ($p<0,05$), что доказывает негативное влияние фактора «интраназальная инъекция» как пренатального стресса на формирование массы плода в период внутриутробного развития.

Несмотря на то, что в пренатальном периоде фактор «интраназальная инъекция» оказывает существенное влияние на формирование массы тела, в постнатальном периоде этого не наблюдается. Среднее значение массы тела крысят подгрупп Н1 и Н2 достоверно не различаются. Однако, комбинация факторов «пренатальное пассивное табакокурение» и «интраназальная инъекция» оказывают отрицательное влияние на формирование массы тела в раннем постнатальном

периоде. Об этом свидетельствует сравнение средних значений массы тела крысят из подгрупп K1 и K2: $25,86 \pm 0,59$ г и $21,06 \pm 0,53$ г соответственно ($p < 0,05$).

Оценка влияния фактора «интраназальная инъекция» на своевременность соматического развития в раннем постнатальном периоде осуществлялось путем сравнения средних значений СИССР в подгруппах H1 ($8,37 \pm 0,15$) и H2 ($7,18 \pm 0,23$), а также K1 ($8,31 \pm 0,26$) и K2 ($6,14 \pm 0,34$). В обеих группах сравнения выявлены существенные различия в средних значениях СИССР. Учитывая, что в подгруппах, где действовал фактор «интраназальная инъекция» средние значения СИССР значимо меньше, то несомненно данный фактор критичен для формирования признаков, характеризующих соматическое развитие новорожденных крыс в гнездовом периоде.

Проверка возможности фактора «интраназальная инъекция» влиять на своевременность сенсомоторного развития в раннем постнатальном периоде осуществлялось путем сравнения средних значений СИССМР в подгруппах H1 и H2, а также K1 и K2. Установлено что в подгруппе K1, по сравнению с подгруппой H1 среднее значение СИССМР достоверно меньше: $17,11 \pm 0,52$ и $18,52 \pm 0,35$ балла соответственно ($p < 0,05$), такие же различия имеются и между подгруппами K2 и H2: $9,95 \pm 1,15$ и $15,42 \pm 0,51$ балла соответственно ($p < 0,05$). Следовательно, негативное влияние фактора «интраназальная инъекция» на своевременность формирования признаков сенсомоторного развития у новорожденных крысят в гнездовом периоде существует.

Тетрапептид KK1, согласно литературным данным, обладает антигипоксическими антиоксидантным действием [7, 8]. Следовательно фактор «тетрапептид KK1» может обладать самостоятельным влиянием на пренатальное развитие организма млекопитающих, а также и его раннее постнатальное развитие.

Предположения значимости фактора «тетрапептид KK1» для формирования массы тела крысят в пренатальном периоде осуществлялось путем сравнения средних значений, полученных при измерении этого показателя в первые сутки после рождения в подгруппах H2 и H3. Установлено, что достоверно более низкая средняя масса тела при рождении была в подгруппе H3: $5,79 \pm 0,08$ г и $4,01 \pm 0,16$ г соответственно ($p < 0,05$). Следовательно, фактор «тетрапептид KK1» замедляет формирование массы плода в период внутриутробного развития.

Анализ средних значений массы тела в подгруппах H2 и H3 значимых различий не выявил, что свидетельствует об отсутствии влияния фактора «тетрапептид KK1» на формирование массы тела в раннем постнатальном периоде.

Оценка влияния фактора «тетрапептид KK1» на своевременность соматического развития в раннем постнатальном периоде осуществлялось путем сравнения средних значений СИССР в подгруппах H2 ($7,18 \pm 0,23$ балла) и H3 ($6,55 \pm 0,43$ балла). Существенных различий в средних значениях СИССР в этих подгруппах не выявлено, что доказывает не критичность данного фактора для формирования признаков, характеризующих соматическое развитие новорожденных крыс в гнездовом периоде.

Сравнением средних значений СИССМР в подгруппах H2 и H3 проверялась по возможности фактора «тетрапептид KK1» влиять на своевременность

сенсомоторного развития в раннем постнатальном периоде. Установлено, что в подгруппе НЗ среднее значение СИССМР достоверно больше, чем в подгруппе Н2: $16,95 \pm 1,18$ г и $15,42 \pm 0,51$ г соответственно ($p < 0,05$), что демонстрирует позитивное влияние фактора «тетрапептид КК1» на своевременность формирования признаков сенсомоторного развития у новорожденных крысят в гнездовом периоде.

Возможность тетрапептида КК1 снижать негативное влияние фактора «пренатальное пассивное табакокурение» на пренатальное и раннее постнатальное развитие у млекопитающих проверялось путем сравнения их показателей в подгруппах К2 и К3. Установлено, что достоверно более высокая средняя масса тела при рождении была в подгруппе К3: $5,79 \pm 0,12$ г ($p < 0,05$), нет существенных различий в средних значениях СИССР в этих подгруппах, а также достоверно более высокие средние значения СИССР в подгруппе К3: $12,69 \pm 0,37$ баллов. Из представленных данных следует, что тетрапептид КК1 обладает способностью снижать негативное влияние фактора «пренатальное пассивное табакокурение» на пренатальное формирование массы тела новорожденных крыс и их постнатальное сенсомоторное развитие.

Хорошо известный феномен негативного влияния пассивного табакокурения во время беременности на формирование массы плода, доказанный как клиническими исследованиями, так и экспериментами с использованием животных, получил подтверждение и в нашей работе. Многие исследователи связывают задержку развития плода с негативным влиянием никотина и других компонентов табачного дыма на плаценту [9–11]. Не смотря на значительное замедление развития плода, вызванное пренатальным табакокурением, соматическое развитие новорожденных существенно не трансформируется, о чем свидетельствует отсутствие значимой разницы ИССР в подгруппах Н1 и К1. При этом нами было установлено, что набор массы тела в позднем молочном периоде жизни у особей, подвергавшихся фактору «пренатальное пассивное табакокурение», значительно опережает таковой в контрольной группе. Подобная тенденция отмечалась в работе Е. Jaupiaux и соавт. (2007). Увеличение ежесуточной прибавки массы тела приходится на тот период, когда крысята начинают, наряду с материнским молоком, употреблять твердую пищу. Ранее было показано, что пренатальное табакокурение может изменять экспрессию рецепторов различных нейромедиаторов у нейронов ЦНС [14], это, вероятнее всего, может отразиться на формировании механизмов пищевого поведения, и, как следствие, на последующем сенсомоторном развитии организма млекопитающих, что подтверждается в данном исследовании.

Пренатальный стресс, как показывает целый ряд исследователей, может оказывать существенное влияние не только на развитие организма млекопитающего в пренатальном периоде, но и в раннем постнатальном периоде. Это может выражаться в замедлении как соматического, так и сенсомоторного развития [15, 16]. Сопоставляя литературные данные с результатами, полученными в данном исследовании о негативном влиянии процедуры «интраназальная инъекция» на соматическое и сенсомоторное развитие, можно сделать заключение, что эта процедура является значимым стрессирующим фактором.

Одним из вероятных негативных факторов пренатального пассивного табакокурения является гемическая гипоксия плода, связанная с образованием СО-гемоглобина в крови матери плода. Как известно, гипоксия плода негативно сказывается на его соматическом и сенсомоторном развитии в постнатальном периоде [10]. Выявленные в нашем исследовании возможности тетрапептида КК1 снижать негативное влияние факторов пренатального табакокурения показывают перспективность поиска фармацевтических протекторов из групп антигипоксантов и антиоксидантов для профилактики пассивного табакокурения у беременных.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В исследовании было доказано значительное замедление развития плода, вызванное влиянием пренатального пассивного табакокурения. Также установлено, что набор массы тела в позднем молочном периоде у особей, подвергшихся влиянию фактора «пренатальное пассивное табакокурение», существенно выше.

Было выявлено, что процедура «интраназальная инъекция» оказывает негативное влияние на соматическое и сенсомоторное развитие и является значимым стрессирующим фактором.

В исследовании выявлена возможность тетрапептида КК1 уменьшать негативное влияние фактора «пренатальное пассивное табакокурение» на развитие организма во внутриутробном и раннем постнатальном периоде.

Список литературы

1. Hammond D. Effectiveness of cigarette warning labels in informing smokers about the risks of smoking: findings from International Tobacco Control (ITC) Four Country Survey / D. Hammond, G. T. Fong, A. McNeill, R. Borland, K. M. Cummings / Tobacco Control. – 2006. – V. 15, № 3. – P. 19–25.
2. Larcombe A. N. In utero cigarette smoke exposure impairs somatic and lung growth in BALB/c mice / A. N. Larcombe, R. E. Foong, L. J. Berry, G. R. Zosky, P. D. Sly // European Respiratory Journal. – 2011. – V. 38, № 4. – P. 932–938.
3. Исенгулова, А. А. Влияние пренатального пассивного табакокурения на динамику соматического развития у крысят линии Вистар в гнездовом периоде / А. А. Исенгулова, Е. А. Васильева, О. В. Ширшов, В. В. Тихонов, И. В. Мирошниченко // Оренбургский медицинский вестник. – 2016. – Т. IV. – № 2(14).
4. Левшин В. Ф. Исследование распространения табачного дыма в общественных помещениях / Левшин В. Ф., Горячева А. Н. // Профилактика заболеваний и укрепление здоровья. – 2009. – № 1. – С. 29–31.
5. Cnattingius S. The epidemiology of smoking during pregnancy: smoking prevalence, maternal characteristics, and pregnancy outcomes. / Cnattingius S. // Nicotine Tob Res. – 2004. – 6. – S125–40.
6. Зарайская И. Ю. Развительная батарея тестов как метод исследования особенностей развития поведения в гнездовом периоде у грызунов / И. Ю. Зарайская, Е. А. Александрова, К. В. Анохин // «Поведение и поведенческая экология млекопитающих»: Материалы научной конференции. – Москва, 2005. – С. 260–261.
7. Пат. № 2537560 Российская Федерация, № 2013119051/04. Тетрапептид и средство, обладающее церебропротекторной и антиамнестической активностью (варианты) / В. М. Шпень [и др.]; опубл. 27.10.2014, Бюл. № 30. – 13 с.
8. Влияние потенциального нейропротектора acetyl-(d-lys)-lys-arg-arg-amide (кк-1) на нейродеструкцию и нейроапоптоз у крыс при остром нарушении мозгового кровообращения // Вестник российской военно-медицинской академии – 2016. – 2 (54) – С. 131–136.

9. Savitz, D. A. Behavioral influences on preterm birth: a review / D. A. Savitz, P. Murnane // *Epidemiology*. – 2010. – V. 21, № 3. – P. 291–299.
10. Семенова Т. В. Особенности течения беременности и исходов родов при табакокурении / Т. В. Семенова, О. Н. Аржанова, О. Н. Беспалова, Ю. П. Милютин, А. В. Арутюнян // *Журнал акушерства и женских болезней*. – 2014. – Т. LXIII, № 2. – С. 50–58.
11. Лизурчик Л. В. Влияние табачной интоксикации на функциональное состояние лабораторных животных и элементный гомеостаз в системе мать-плацента-плод: автореферат дис. ... кандидата медицинских наук: 03.03.01 / Лизурчик Людмила Владиславовна; [Место защиты: ФГАОУ ВО «Российский университет дружбы народов»]. – Москва, 2022. – 20 с.
12. Jauniaux E. Morphological and biological effects of maternal exposure to tobacco smoke on the fetoplacental unit / E. Jauniaux, G. J. Burton // *Early Human Development*. – 2007. – V. 83, № 11. – P. 699–706.
13. Nelson E. Maternal passive smoking during pregnancy and fetal developmental toxicity. Part 1: gross morphological effects / E. Nelson, K. Jodscheit, Y. Guo // *Human and Experimental Toxicology*. – 1999. – Vol. 18. – P. 252–256.
14. Shea A. K. Cigarette smoking during pregnancy / A. K. Shea, M. Steiner // *Nicotine & Tobacco Research*. – 2008. – V. 10, № 2. – P. 267–278.
15. Яковлева О. В. Влияние умеренного хронического стресса самок крыс до и во время беременности на сенсомоторное развитие, уровень тревожности и когнитивные функции потомства / О. В. Яковлева, К. С. Богатова, В. В. Скрипникова, Г. Ф. Ситдикова. // *Журнал высшей нервной деятельности им. И. П. Павлова*. – 2021. – Т. 71, № 3. – С. 400–414.
16. Amugongo S. K. Impact of maternal prenatal stress on growth of the offspring / Amugongo S. K., Hlusko L. J. // *Aging Dis*. – 2014. – 5 (1) – P. 1–16.

ASSESSMENT OF THE POSSIBILITY OF MODULATING THE EFFECT OF PRENATAL PASSIVE TOBACCO SMOKING ON THE SOMATIC AND SENSORIMOTOR DEVELOPMENT OF WISTAR RATS IN THE NESTING PERIOD

***Vasilyeva E. A., Pushkareva L. A., Isengulova A. A., Zinchenko E. A., Smolyagin A. I.,
Miroshnichenko I. V.***

***Orenburg State Medical University (OrSMU), Orenburg, Russia
E-mail: e.a.vasileva@orgma.ru***

The influence of various environmental factors in the prenatal period can have a significant impact on the growth and development of the body. The study evaluated the effect of prenatal passive smoking on somatic and sensorimotor development in the nesting period of the offspring of Wistar rats. Possibility of prevention of these effects with the help of KK1 tetrapeptide possessing antihypoxic and antioxidant properties is evaluated.

Method. The experiment was used 38 mature female Wistar rats and their offspring (329 rats) aged 0 to 21 days. The animals were divided into three observation groups. Passive smoking was simulated by fumigation of tobacco smoke. To test the offspring, a set of tests was used to assess the developing behavioral phenotype of rats, developed at the Institute of Normal Physiology P.K. Anokhin. The second group included included pups from litters of females who, starting from the 2nd week of pregnancy, was

administered intranasally sodium chloride saline (0.2 mL) to assess the effect of the immunomodulator administration procedure.

The third group included pups from litters of females who, starting from the 2nd week of pregnancy, were injected intranasally with saline (0.2 ml) containing tetrapeptide KK1 at a dose of 40 mg/kg.

Results. The phenomenon of the negative effect of passive smoking during pregnancy on the formation of fetal weight, added earlier in the literature, has been confirmed in our work. Despite a significant slowdown in fetal development caused by prenatal smoking, the somatic development of newborns is not significantly transformed, as evidenced by the absence of a significant difference in ISR in the N1 and K1 subgroups. At the same time, we found that the gain of body weight in the late milk period of life in individuals subjected to the factor "prenatal passive tobacco smoking" is significantly ahead of this indicator in the control group.

The negative influence of the factor "intranasal injection" as prenatal stress on the formation of fetal weight during the period of intrauterine development was revealed.

Tetrapeptide KK1 has the ability to reduce the negative effect of the factor "prenatal passive tobacco smoking" on the prenatal formation of the body weight of newborn rats and their postnatal sensorimotor development.

Keywords: prenatal passive smoking, sensorimotor development, somatic development, tetrapeptide, rats.

References

1. Hammond D., Fong G. T., McNeill A., Borland R., Cummings K. M. Effectiveness of cigarette warning labels in informing smokers about the risks of smoking: findings from International Tobacco Control (ITC) Four Country Survey, *Tobacco Control*, **15**, 3, 19 (2006).
2. Larcombe A. N., Foong R. E., Berry L. J., Zosky G. R., Sly P. D. In utero cigarette smoke exposure impairs somatic and lung growth in BALB/c mice, *European Respiratory Journal*, **38**, 4, 932 (2011).
3. Isengulova A. A., Vasilyeva E. A., Shirshov O. V., Tikhonov V. V., Miroshnichenko I. V. Influence of prenatal passive smoking on the dynamics of somatic development in rats of the Wistar line in the nesting period, *Orenburg Medical Bulletin*, **IV**, 2 (14) (2016).
4. Levshin V. F., Goryacheva A. N. Study of the spread of tobacco smoke in public premises, *Disease prevention and health promotion*, **1**, 29 (2009).
5. Cnattingius S. The epidemiology of smoking during pregnancy: smoking prevalence, maternal characteristics, and pregnancy outcomes. *Nicotine Tob Res.*, **6**, 125 (2004).
6. Zarayskaya I. Yu., Alexandrova E. A., Anokhin K. V. Development battery of tests as a method for studying the features of the development of behavior in the nesting period in rodents, "Behavior and behavioral ecology of mammals": Materials of the scientific conference, p. 260 (Moscow, 2005).
7. Pat. No. 2537560, Russian Federation, No. 2013119051/04. Tetrapeptide and agent possessing cerebroprotective and antiamnesic activity (versions), V. M. Spen [et al.]; publ. 27.10.2014, Bul. № 30, 13 p.
8. Effect of potential neuroprotector acetyl- (d-lys) -lys-arg-arg-amide (kk-1) on neurodestruction and neuroapoptosis in rats with acute cerebrovascular accident, *Bulletin of the Russian Military Medical Academy*, **2** (54), 131 (2016).
9. Savitz D. A., Murnane P. Behavioral influences on preterm birth: a review, *Epidemiology*, **21**, 3, 291 (2010).
10. Semenova T. V., Arzhanova O. N., Bessalova O. N., Milyutina Yu. P., Harutyunyan A. V. Peculiarities of the course of pregnancy and birth outcomes during smoking, *Journal of Obstetrics and Women's Diseases*, **LXW**, 2, 50 (2014).

11. Lizurchik L. V. *Effect of tobacco intoxication on the functional state of laboratory animals and elemental homeostasis in the mother-placenta-fetus system*: abstract dis. Candidate of Medical Sciences: 03.03.01/ Lizurchik Lyudmila Vladislavovna, 20 p. (Moscow, 2022).
12. Jauniaux E., Burton G. J. Morphological and biological effects of maternal exposure to tobacco smoke on the feto-placental unit, *Early Human Development*, **83**, **11**, 699 (2007).
13. Nelson E., Jodscheit K., Guo Y. Maternal passive smoking during pregnancy and fetal developmental toxicity. Part 1: gross morphological effects, *Human and Experimental Toxicology*, **18**, 252 (1999).
14. Shea A. K., Steiner M. Cigarette smoking during pregnancy, *Nicotine & Tobacco Research*, **10**, **2**, 267 (2008).
15. Yakovleva O. V., Bogatova K. S., Skripnikov V. V., Sitdikova G. F. The effect of moderate chronic stress of female rats before and during pregnancy on sensorimotor development, anxiety level and cognitive functions of offspring, *Journal of Higher Brain Functions named by I.P. Pavlov*, **71**, **3**, 400 (2021).
16. Amugongo S. K., Hlusko L. J. Impact of maternal prenatal stress on growth of the offspring. *Aging Dis.*, **5** (1), 1 (2014).

УДК 616.631:612.465 - 57.089

DOI 10.29039/2413-1725-2025-11-2-37-47

ВЛИЯНИЕ ПРОБИОТИЧЕСКОГО МИКРОБНОГО КОНСОРЦИУМА НА ПОЧЕЧНУЮ ТКАНЬ КРЫС ПРИ АЛЛОКСАН-ИНДУЦИРОВАННОМ ДИАБЕТЕ

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

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

В работе представлено экспериментальное исследование влияния пробиотического микробного консорциума (ПМК) на морфологическое состояние почек у крыс с аллоксан-индуцированным сахарным диабетом. Проведён морфометрический анализ структур почечной ткани с оценкой клубочкового аппарата, канальцев и интерстициального пространства. Установлено, что аллоксановый диабет вызывает выраженные деструктивные изменения в почках, характерные для диабетической нефропатии. Введение ПМК способствовало частичному восстановлению гистоархитектоники почечной ткани, улучшению морфометрических показателей и снижению признаков воспаления и дистрофии. Полученные данные подтверждают наличие умеренного нефропротекторного эффекта ПМК и его потенциал как средства дополнительной коррекции диабетических осложнений.

Ключевые слова аллоксан, диабетическая нефропатия, почки, пробиотический микробный консорциум, морфометрия, крысы, нефропротекторный эффект.

ВВЕДЕНИЕ

Одним из тяжёлых и распространённых осложнений заболевания сахарного диабета является диабетическая нефропатия – хроническое поражение почечной ткани, сопровождающееся нарушением фильтрационной функции, структурными изменениями в клубочках и канальцах, а также прогрессирующей почечной недостаточностью [1–3]. Установлено, что гипергликемия вызывает оксидативный стресс, активацию провоспалительных цитокинов и сосудистую дисфункцию, что приводит к повреждению нефронов и нарушению гистоархитектоники почек [4, 5].

Экспериментальные модели аллоксан-индуцированного диабета у крыс позволяют воспроизводить ключевые патологические изменения, характерные для диабетической нефропатии у человека. Аллоксан вызывает селективную деструкцию β -клеток поджелудочной железы, приводя к устойчивой гипергликемии и, как следствие, к морфофункциональным нарушениям в почках [2, 6].

На фоне растущего интереса к возможности немедикаментозной коррекции осложнений диабета внимание исследователей всё чаще обращается к пробиотикам и пробиотическим микробным консорциумам (ПМК). Пробиотики представляют собой живые микроорганизмы, способные восстанавливать микробиоту кишечника

и оказывать системное метаболическое и противовоспалительное действие [7]. В исследованиях последних лет показано, что введение пробиотиков способствует снижению уровня уремических токсинов, улучшению показателей креатинина и мочевины, нормализации окислительного статуса [8, 9]. Некоторые штаммы пробиотических микроорганизмов, включая *Lactobacillus plantarum*, *L. acidophilus* и *Bifidobacterium longum*, продемонстрировали нефропротективный эффект в экспериментах на животных с сахарным диабетом (СД) за счёт снижения воспалительной инфильтрации, отека, нормализации толщины базальных мембран и снижения апоптоза в канальцевом эпителии [3, 10].

Однако, несмотря на наличие литературных данных, посвящённых изучению ренальных изменений при СД, влияние ПМК на гистологическую структуру почек при аллоксан-индуцированном диабете изучено недостаточно. Учитывая многофакторный характер патогенеза диабетической нефропатии, изучение защитных механизмов действия ПМК, в том числе на морфометрические и гистологические показатели почечной ткани, представляет высокую научную и практическую значимость.

В связи с вышеизложенным, целью данной работы явился анализ морфометрических показателей почек крыс после введения курса пробиотического микробного консорциума на фоне аллоксан-индуцированного диабета.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

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

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

Согласно государственному стандарту РФ «ГОСТ 33216-2014, Руководство по содержанию и уходу за лабораторными животными, Правила содержания и ухода за лабораторными грызунами и кроликами, Правила оборудования помещений и организации процедур» – испытуемые животные содержались в адекватных условиях, в соответствии с тезисами вышеприведённого государственного норматива.

Все применимые международные, национальные и/или институциональные принципы ухода и использования животных были соблюдены. Все процедуры, выполненные в исследованиях с участием животных, соответствовали этическим стандартам, утвержденным правовыми актами РФ, принципам Базельской декларации и рекомендациям этического комитета по биоэтике ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет им. В. И. Вернадского» (протокол № 5 от 2022 г.).

Животных разделили на 3 экспериментальные группы по 10 особей в каждой. В первой группе (Контроль, К) крысы содержались в стандартных условиях вивария, которым в течение 21 дня вводили по 3 мл питьевой воды. У животных второй

группы (Ал) за 10 дней до начала эксперимента был смоделирован аллоксановый диабет путем внутривентрального введения аллоксана – моногидрата ($C_4H_2N_2O_4 \cdot H_2O$; компания «Диаэм», Россия) в дозировке по 100 мг/кг в течение трех дней [11]. Далее на протяжении 21 дня им вводили интрагастрально с использованием желудочного орального зонда по 3 мл питьевой воды.

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

Синтез тестируемого ПМК проводился на кафедре ботаники и физиологии растений и биотехнологий ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет имени В. И. Вернадского» под руководством Ржевской В. С. ПМК включал штаммы пробиотических микроорганизмов: *Lactobacillus parabuchneri* ВКМ В-3553Д, *Lactobacillus plantarum* ВКМ В-3552Д, *Lactobacillus acidophilus* ВКМ В-3563Д, *Enterococcus faecium* ВКМ В-3551Д, *Brettanomyces bruxellensis* ВКМ Y-3064Д. Биологическая концентрация бактерий ПМК составила $1,3 \cdot 10^9$ КОЕ.

На 22-е сутки животных выводили из эксперимента путем декапитации на гильотине («НПК Открытая наука, Россия») под эфирным наркозом.

Подготовка гистологического материала почек осуществлена в ЦКП «Молекулярная биология» Ордена Трудового Красного Знамени Медицинский институт им. С. И. Георгиевского. Гистологические препараты почек готовили в соответствии со стандартными методиками. Фиксировали фрагменты почек 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 полутонкие срезы толщиной 4 мкм. Срезы окрашивали гематоксилином и эозином [12].

Морфометрические измерения выполняли на микрофотографиях с помощью специализированного программного обеспечения Aperio Imagescope (версия 12.4.6.5003). Регистрировали следующие показатели: длина и ширина правой и левой почки (мкм); ширина коркового и мозгового вещества (мкм), площади клубочка с капсулой, капиллярных петель с интерстициальным пространством клубочка, мочевого пространства (мкм²); площади (мкм²) просвета проксимальных канальцев и дистальных канальцев, собирательных трубочек и тонкого сегмента петли Генле; количество почечных телец на единицу площади (у. е.). Эти показатели позволят выявить характерные для диабета структурные изменения, такие как диабетическая нефропатия, а также оценить динамику эффективности лечебных мероприятий.

Статистическую обработку и графическое представление экспериментальных данных проводили с использованием программ GraphPad Prism 8 (версия 8.4.3) (GraphPad Software, США) и Microsoft Excel 2010 (Microsoft Corporation, США). Проверку распределения данных на нормальность осуществляли с помощью критерия Шапиро-Уилка. Значимость различий между группами оценивали с помощью непараметрического критерия Краскела-Уоллиса. Множественные

апостериорные сравнения значений показателей между группами проводили с помощью критерия Данна. В описании сравнения значений показателей в разных группах животных использовались %, которые рассчитывались по значениям медианы показателей соответствующих групп. Критический уровень значимости статистических гипотез (p) в данном исследовании принимали равным 0,05.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Результаты исследования показали, что у крыс первой группы (К) на гистологических срезах почек наблюдали нормальную картину строения коркового и мозгового вещества почки. В корковом слое отмечается равномерно распределенные почечные тельца (рис. 1). Капилляры клубочков заполнены эритроцитами. Парietальный и висцеральный листки капсулы почечного тельца плотно прилегают друг к другу, так что пространство Боуменовой капсулы не определяется. Межклеточное пространство умеренно выражено, отсутствуют признаки отека и фиброза. Извитые канальцы плотные, их просвет минимальный, что свидетельствует о сохраненной реабсорбционной функции. Просветы этих канальцев неширокие, свободные. Между проксимальными канальцами выявлялись в значительно меньшем количестве поперечные срезы дистальных извитых канальцев. Эти структурные элементы имели следующие морфометрические параметры, представленные на рисунках 2, 3.

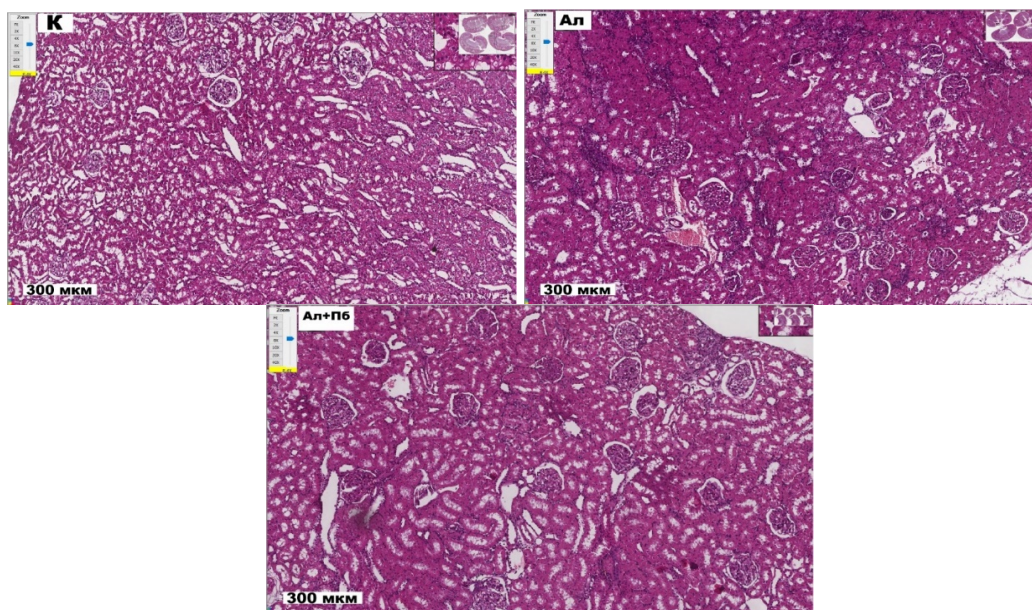


Рис. 1. Гистологические срезы коркового вещества почек крыс в контроле (К), с аллоксан-индуцированным диабетом (Ал) и при введении пробиотического микробного консорциума (Ал+Пр) (ув. $\times 8$).

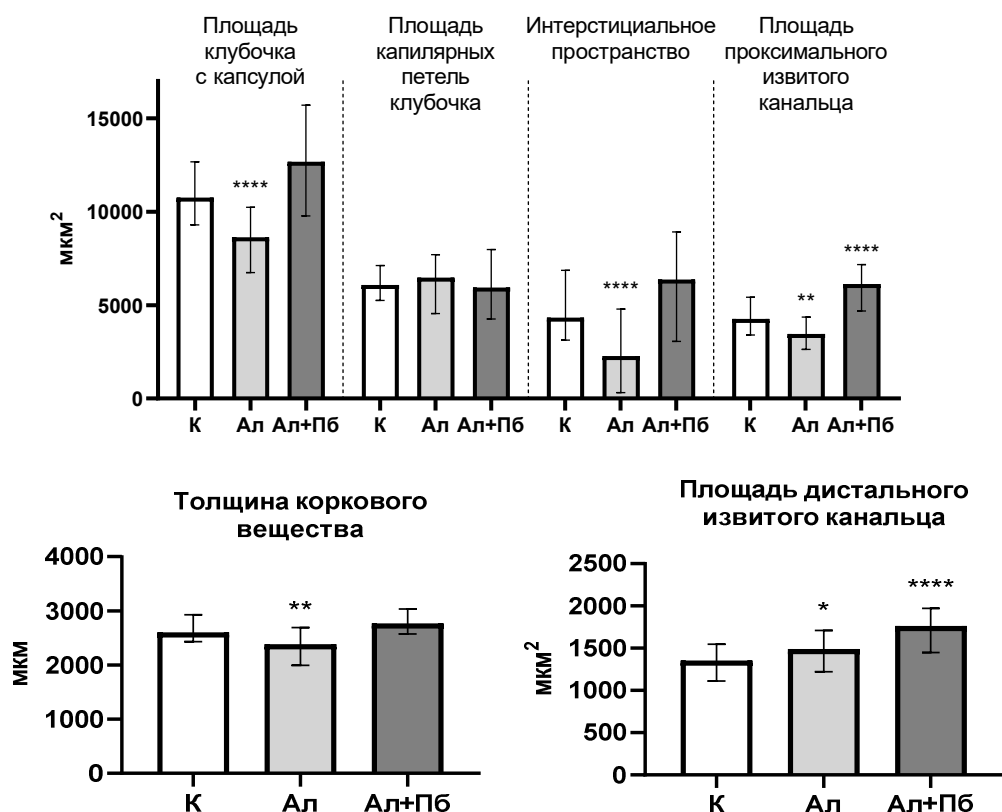


Рис. 2. Морфометрические показатели коркового вещества почек крыс в контроле (К), с аллоксан-индуцированным диабетом (Ал) и при введении пробиотического микробного консорциума (Пр)

Примечания: на графике представлены значения в виде медианы и нижнего и верхнего квартилей (Me ($Q_{25}; Q_{75}$)); * статистически значимое отличие по критерию Данна относительно значений показателей у крыс контрольной группы ($p < 0,05$).

У животных второй группы (Ал) отмечается выраженная деструкция клубочков, увеличенное интерстициальное пространство и деформация капилляров (рис. 1). Значительное расширение канальцев, особенно проксимальных, свидетельствует об атрофии эпителия и нарушении реабсорбции. Выявлены вакуолизация и дистрофические изменения в канальцевом эпителии, умеренный интерстициальный отек и признаки воспаления, а также участки повреждения сосудов и возможного микроангиопатического процесса, характерного для диабетической нефропатии. Анализ морфометрических показателей почек крыс второй группы выявил уменьшение толщины коркового вещества на 8,48 %, а мозгового – на 17,65 % ($p < 0,0016$), что может указывать на разрушение нефронов и потерю функциональной массы почки (рис. 2). Количество почечных телец снизилось на 23,08 % ($p < 0,0001$), что указывает на повреждение нефронов. По

сравнению с контрольной группой уменьшилась площадь клубочка с капсулой Шумлянско-Боумана на 19,89 % ($p < 0,0001$), а также мочевого Боуменова пространства – на 47,54 % ($p < 0,0001$), что указывает на повреждение фильтрационного аппарата почек. Площадь проксимальных извитых канальцев сократились на 19,01 % ($p < 0,0001$), что свидетельствует об их атрофии и снижении реабсорбционной функции. Площадь собирательных трубочек мозгового вещества почек уменьшилась на 79,14 % ($p < 0,0001$), а петли Генле, напротив, увеличилась на 16,89 % ($p < 0,02$) по сравнению с соответствующими показателями у крыс в контроле (рис. 3).

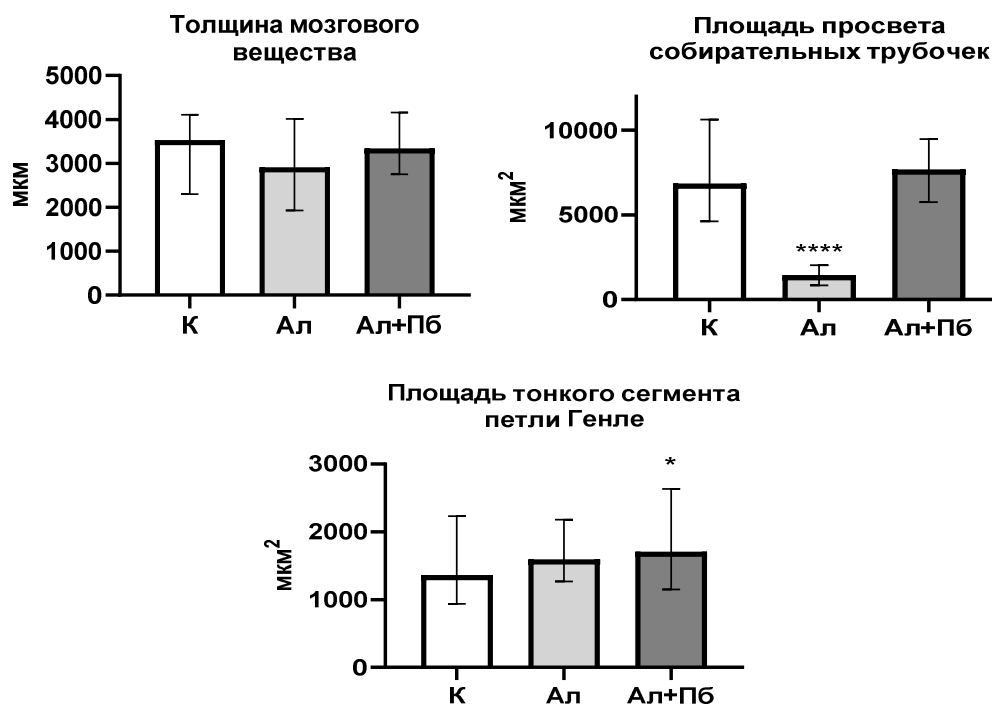


Рис. 3. Морфометрические показатели мозгового вещества почек крыс в контроле (К), с аллоксан-индуцированным диабетом (Ал) и при введении пробиотического микробного консорциума (Ал+Пб)

Примечания: на графике представлены значения в виде медианы и нижнего и верхнего квартилей (Me (Q_{25} : Q_{75})); * статистически значимое отличие по критерию Данна относительно значений показателей у крыс контрольной группы ($p < 0,05$).

У крыс третьей группы (Ал+Пб) на гистосрезях почек также зарегистрированы признаки патологических изменений в корковом и мозговом веществах. Однако структура клубочков, их капиллярные сети более сохранены по сравнению со второй группой (Ал). Канальцы имеют меньший просвет, что указывает на улучшение их реабсорбционной способности, уменьшены дистрофические изменения в плотности клеточного состава эпителия канальцев. Снижен уровень отека и воспалительных

изменений в интерстициальном пространстве по сравнению с гистосрезом почек крыс во второй группе (см. рис. 1).

Анализ морфометрических показателей почек крыс третьей группы выявил, что толщина коркового вещества была на уровне контрольных показателей. Площадь клубочка с капсулой Шумлянского-Боумена и Боуменова пространства увеличились на 17,63 % ($p < 0,0001$) и 47,25 % ($p < 0,0001$) соответственно по сравнению с контролем (рис. 2), что свидетельствует об улучшении фильтрации. Количество почечных телец также частично восстановилось, увеличившись на 15,00 % ($p < 0,0016$) по сравнению со второй группой (Ал). Также отмечено увеличение площади проксимальных (на 43,65 %; $p < 0,0001$) и дистальных (на 30,06 %; $p < 0,0001$) извитых канальцев по сравнению с контролем, что говорит о восстановлении их функции. Состояние собирательных трубочек также улучшилось (площадь приблизилась к контрольным значениям), что говорит о нормализации экскреторной функции (рис. 3).

Полученные данные подтверждают, что аллоксан-индуцированный сахарный диабет вызывает выраженные морфологические и морфометрические нарушения в почечной ткани, характерные для диабетической нефропатии. У крыс второй группы выявлены признаки выраженной гломерулярной деструкции: уменьшение площади клубочков, сужение Боуменова пространства, расширение канальцев, вакуолизация эпителия и наличие интерстициального отека. Эти изменения соответствуют описанным в ряде работ, где показано, что хроническая гипергликемия приводит к развитию микроангиопатий, деструкции фильтрационного барьера, потере нефронов и снижению реабсорбционной функции почек [13, 14].

Уменьшение количества почечных телец, а также снижение толщины коркового вещества и площади фильтрационного аппарата (капсула Боумена, мочевое пространство) указывает на повреждение не только сосудистого, но и функционального компонента нефронов. Снижение площади и диаметра проксимальных канальцев подтверждает нарушение их реабсорбционной способности, что является ключевым проявлением диабетической тубулопатии [15].

На фоне введения ПМК в модели аллоксанового диабета у крыс третьей группы наблюдается частичное восстановление гистоархитектоники почечной ткани. Улучшение морфометрических показателей (увеличение площади клубочков, мочевого пространства, восстановление толщины коркового вещества и диаметра канальцев) свидетельствует об умеренном нефропротекторном эффекте ПМК. Это согласуется с результатами современных исследований, в которых описывается положительное влияние пробиотических штаммов на почечную функцию, связанное с уменьшением воспаления, снижением системной эндотоксикемии и улучшением барьерной функции кишечника [10, 16].

Снижение уровня интерстициального отека и уменьшение дистрофии канальцев у крыс третьей группы можно объяснить противовоспалительным и антиоксидантным действием метаболитов ПМК, таких как короткоцепочечные жирные кислоты (в частности бутират), которые способны модулировать иммунный ответ, снижать окислительный стресс и улучшать метаболизм [17].

Таким образом, результаты настоящего исследования показывают, что введение ПМК оказывает частичный нефропротекторный эффект, проявляющийся в улучшении морфологических и функциональных показателей почек.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведённое экспериментальное исследование позволило установить, что аллоксан-индуцированный СД у крыс вызывает выраженные морфологические и морфометрические изменения в почечной ткани, соответствующие признакам диабетической нефропатии. Выявлены повреждения клубочкового аппарата, уменьшение площади Боуменова пространства, расширение канальцев, дистрофия эпителия и интерстициальный отёк. Эти изменения указывают на нарушение фильтрационной и реабсорбционной функций нефронов.

На фоне введения пробиотического микробного консорциума в модели аллоксанового диабета у животных зафиксировано частичное восстановление морфоархитектоники почечной ткани. Отмечено увеличение площади клубочков и мочевого пространства, восстановление толщины коркового вещества и нормализация параметров проксимальных и дистальных канальцев. Снижение степени отёка и дистрофии канальцевого эпителия может быть связано с противовоспалительным и антиоксидантным действием метаболитов пробиотических штаммов.

Полученные данные свидетельствуют об умеренно выраженном нефропротекторном эффекте пробиотического микробного консорциума, проявляющемся на уровне морфометрических показателей почек. Это подтверждает перспективность применения пробиотических штаммов как дополнительного средства немедикаментозной коррекции диабетических осложнений, в том числе – в рамках профилактики и терапии начальных стадий диабетической нефропатии.

Работа выполнена на оборудовании ЦКП «Экспериментальная физиология и биофизика» и ЦКП «Молекулярная биология» Ордена Трудового Красного Знамени Медицинский институт им. С. И. Георгиевского в рамках инициативной темы № АААА-А21-121011990099-6 «Физиологические механизмы биологического действия факторов разной природы и интенсивности» ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет имени В. И. Вернадского».

Список литературы

1. Корнева Е. А. Диабетическая нефропатия: патогенез, диагностика и подходы к терапии / Е. А. Корнева // Медицинский совет. – 2020. – № 2. – С. 14–20.
2. Котова М. Е. Морфологическая характеристика почек при моделировании сахарного диабета у белых крыс / М. Е. Котова // Вестник новых медицинских технологий. – 2016. – Т. 23, № 1. – С. 112–115.
3. Полякова А. М. Влияние пробиотиков на морфофункциональные изменения почек при экспериментальном сахарном диабете / А. М. Полякова, Е. В. Орлова // Вопросы биологической, медицинской и фармацевтической химии. – 2022. – № 1. – С. 47–52.

4. Navarro-González J. F. The role of inflammatory cytokines in diabetic nephropathy / J. F. Navarro-González, C. Mora-Fernández // Journal of the American Society of Nephrology. – 2011. – Vol. 21(8). – P. 1131–1142. – doi:10.1681/ASN.2010020227.
5. Forbes J. M. Mechanisms of diabetic complications / J. M. Forbes, M. E. Cooper // Physiological Reviews. – 2008. – Vol. 88(1). – P. 137–179. – doi:10.1152/physrev.00045.2006.
6. Lenzen S. The mechanisms of alloxan- and streptozotocin-induced diabetes / S. Lenzen // Diabetologia. – 2008. – Vol. 51. – P. 216–226. – doi:10.1007/s00125-007-0886-7.
7. Andrade-Oliveira V. Adipokines as drug targets in diabetes and underlying disturbances / V. Andrade-Oliveira, N. S. Câmara, P. M. Moraes-Vieira // Journal of Diabetes Research. – 2015. – Vol. 2015. – Article ID 681612. – doi:10.1155/2015/681612.
8. Kahleova H. Vegetarian diets in the prevention and treatment of type 2 diabetes / H. Kahleova, T. Pelikanova // Journal of the American College of Nutrition. – 2011. – Vol. 30(5). – P. 400–408. – doi:10.1080/07315724.2011.10719996.
9. Ruan Y. The gut microbiome, probiotics and kidney diseases / Y. Ruan, J. Sun, J. He, F. Chen // Frontiers in Medicine. – 2022. – Vol. 9. – Article 889888. – doi:10.3389/fmed.2022.889888.
10. Miraghajani M. Probiotic supplementation and kidney function in diabetic nephropathy: a randomized, double-blind, placebo-controlled trial / M. Miraghajani, P. Dehghan, N. Rafie [et al.] // Journal of Functional Foods. – 2021. – Vol. 86. – Article 104714. – doi:10.1016/j.jff.2021.104714.
11. Данилова И. Г. Способ моделирования аллоксанового диабета / И. Г. Данилова, И. Ф. Гетте: Патент на изобретение № 2534411; заявл. 27.11.2014; опубл. 27.11.2014. – Бюл. № 33.
12. 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. – С. 169.
13. Киселев И. В. Морфологические изменения в почках при диабетической нефропатии у экспериментальных животных / И. В. Киселев, Е. И. Черкасова, И. А. Жукова // Морфология. – 2016. – Т. 149, № 4. – С. 73–77.
14. Wu H. The role of inflammation and oxidative stress in diabetic kidney disease: updated mechanisms and therapeutic strategies / H. Wu, L. Kong, Y. Cheng, [et al.] // Biomed. Pharmacother. – 2020. – V. 131. – Article ID 110693. doi:10.1016/j.biopha.2020.110693.
15. Alicic R. Z. Diabetic Kidney Disease: Challenges, Progress, and Possibilities / R. Z. Alicic, M. T. Rooney, K. R. Tuttle // Clin. J. Am. Soc. Nephrol. – 2017. – V. 12, № 12. – P. 2032–2045. doi:10.2215/CJN.11491116.
16. Ranganathan N. Probiotic dietary supplementation in patients with stage 3 and 4 chronic kidney disease: a 6-month pilot scale trial / N. Ranganathan, E. A. Friedman, P. Tam [et al.] // Nutrients. – 2017. – V. 9, № 6. – Article ID 439. doi:10.3390/nu9060439
17. Tang W. H. Gut microbiota in cardiovascular health and disease / W. H. Tang, T. Kitai, S. L. Hazen // Circulation Research. – 2017. – V. 120, № 7. – P. 1183–1196. doi:10.1161/circresaha.117.309715

THE EFFECT OF A PROBIOTIC MICROBIAL CONSORTIUM ON RENAL TISSUE IN RATS WITH ALLOXAN-INDUCED DIABETES

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

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

Diabetic nephropathy is one of the most severe and widespread complications of diabetes mellitus. It is characterized by damage to the kidney's filtration apparatus, structural destruction of glomeruli and tubules, inflammation, and progressive renal failure. Considering the multifactorial pathogenesis of this condition, studies on non-

pharmacological approaches to its correction, including the use of probiotic microbial consortia (PMC) with anti-inflammatory, antioxidant, and metabolically active properties, are becoming increasingly relevant.

The aim of this study was to investigate morphometric and histological changes in kidney tissue in rats with alloxan-induced diabetes and to evaluate the nephroprotective effect of PMC. The experiment involved 30 male Wistar rats divided into three groups: control, diabetic, and diabetic with PMC administration. Diabetes mellitus was induced via intraperitoneal injections of alloxan at a dose of 100 mg/kg, administered three times. Rats in the third group received a 1 % solution of PMC intragastrically for 21 days. The consortium included the following strains: *Lactobacillus parabuchneri*, *L. plantarum*, *L. acidophilus*, *Enterococcus faecium*, and *Brettanomyces bruxellensis*.

Histological and morphometric analysis revealed significant nephron damage in diabetic rats, including thinning of the renal cortex, a reduced number of renal corpuscles, glomerular destruction, tubular atrophy, and interstitial edema. In rats treated with PMC, partial restoration of renal tissue architecture was observed, including improved glomerular condition, normalized tubular size, reduced inflammatory changes, and an increased number of functional nephrons.

The findings confirm a moderately expressed nephroprotective effect of the probiotic microbial consortium, demonstrated by improved morphological and functional kidney parameters in the setting of diabetic nephropathy. These results are consistent with current understanding of the systemic metabolic impact of probiotics and support their potential use as an adjunct therapy in the management of diabetic complications.

Keywords: alloxan, diabetic nephropathy, kidneys, probiotic microbial consortium, morphometry, rats, nephroprotective effect.

References

1. Korneva E. A. Diabetic nephropathy: pathogenesis, diagnostics and treatment approaches, *Medical Council*, **2**, 14 (2020).
2. Kotova M. E. Morphological characteristics of the kidneys in modeling diabetes mellitus in white rats, *Bulletin of New Medical Technologies*, **23**(1), 112 (2016).
3. Polyakova A. M., Orlova E. V. The effect of probiotics on morphofunctional changes in the kidneys in experimental diabetes mellitus, *Issues of Biological, Medical and Pharmaceutical Chemistry*, **1**, 47 (2022).
4. Navarro-González J. F., Mora-Fernández C. The role of inflammatory cytokines in diabetic nephropathy, *J. Am. Soc. Nephrol.*, **21**(8), 1131 (2011). doi: 10.1681/ASN.2010020227.
5. Forbes J. M., Cooper M. E. Mechanisms of diabetic complications, *Physiol. Rev.*, **88**(1), 137 (2008). doi: 10.1152/physrev.00045.2006.
6. Lenzen S. The mechanisms of alloxan- and streptozotocin-induced diabetes, *Diabetologia*, **51**, 216 (2008). doi: 10.1007/s00125-007-0886-7.
7. Andrade-Oliveira V., Câmara N. S., Moraes-Vieira P. M. Adipokines as drug targets in diabetes and underlying disturbances, *J. Diabetes Res.*, **2015**, Article ID 681612. doi: 10.1155/2015/681612.
8. Kahleova H., Pelikanova T. Vegetarian diets in the prevention and treatment of type 2 diabetes, *J. Am. Coll. Nutr.*, **30**(5), 400 (2011). doi: 10.1080/07315724.2011.10719996.
9. Ruan Y., Sun J., He J., Chen F. The gut microbiome, probiotics and kidney diseases, *Front. Med.*, **9**, Article 889888 (2022). doi: 10.3389/fmed.2022.889888.
10. Miraghajani M., Dehghan P., Rafie N., et al. Probiotic supplementation and kidney function in diabetic nephropathy: a randomized, double-blind, placebo-controlled trial, *J. Funct. Foods*, **86**, Article 104714 (2021). doi: 10.1016/j.jff.2021.104714.

11. Danilova I. G., Gette I. F. Method for modeling alloxan diabetes. Patent No. 2534411 (Filed 27.11.2014; Published 27.11.2014), Bulletin No. 33.
12. Mustafina L. R., Gerasimov A. V., Potapov A. V., et al. *Special Course of Histology: Textbook in 2 Parts*, Tomsk: Siberian State Medical University, 169 p. (2022).
13. Kiselev I. V., Cherkasova E. I., Zhukova I. A. Morphological changes in kidneys in diabetic nephropathy in experimental animals, *Morphology*, **149**(4), 73 (2016).
14. Wu H., Kong L., Cheng Y., et al. The role of inflammation and oxidative stress in diabetic kidney disease: updated mechanisms and therapeutic strategies, *Biomed. Pharmacother.*, **131**, Article ID 110693 (2020). doi: 10.1016/j.biopha.2020.110693.
15. Alicic R. Z., Rooney M. T., Tuttle K. R. Diabetic Kidney Disease: Challenges, Progress, and Possibilities, *Clin. J. Am. Soc. Nephrol.*, **12**(12), 2032 (2017). doi: 10.2215/CJN.11491116.
16. Ranganathan N., Friedman E. A., Tam P., et al. Probiotic dietary supplementation in patients with stage 3 and 4 chronic kidney disease: a 6-month pilot scale trial, *Nutrients*, **9**(6), Article ID 439 (2017). doi: 10.3390/nu9060439.
17. Tang W. H., Kitai T., Hazen S. L. Gut microbiota in cardiovascular health and disease, *Circ. Res.*, **120**(7), 1183 (2017). doi: 10.1161/circresaha.117.309715.

УДК 580:502.75(471.61)

DOI 10.29039/2413-1725-2025-11-2-48-69

НОВЫЕ НАХОДКИ РЕДКИХ ВИДОВ РАСТЕНИЙ И ГРИБОВ НА ЮГО-ЗАПАДЕ РОСТОВСКОЙ ОБЛАСТИ

Ермолаева О. Ю.¹, Розаль Л. Л.¹, Шмараева А. Н.¹, Мучник Е. Э.²

¹*Южный федеральный университет, Ростов-на-Дону, Россия*

²*Институт лесоведения РАН, Московская обл., Одинцово, Россия*

E-mail: oyeremolaeva@srfedu.ru

В работе приведены данные о новых местонахождениях редких и охраняемых видов растений и грибов в юго-западных районах Ростовской области — Азовском, Куйбышевском, Матвеево-Курганском, Мясниковском и Неклиновском. По итогам мониторинговых работ года отмечены 81 местонахождение 35 видов, не учтенных в 3-м издании Красной книги Ростовской области (2024), в том числе 25 местонахождений 10 видов, занесенных в Красную книгу Российской Федерации (2024). Пять видов (*Aegonychon purpureocaeruleum* (L.) Holub, *Cladonia magyarica* Vain. ex Gyeln., *Flavoparmelia caperata* (L.) Hale, *Sarcosphaera coronaria* (Jacq.) J. Schröt., *Xanthoparmelia stenophylla* (Ach.) Ahti et D. Hawksw.) выявлены для этой территории впервые.

Ключевые слова: флора, редкие и исчезающие растения, мониторинг, флористические находки, Красная книга, Ростовская область.

ВВЕДЕНИЕ

На территории Ростовской области ежегодно проводятся исследования популяций редких и исчезающих видов грибов и растений, которые предусматривают изучение распространения, численности и состояния популяций, качества среды обитания охраняемых видов и лимитирующих факторов. На основе полученных новых данных подготовлено 3-е издание Красной книги Ростовской области (далее – КК РО) [1], куда включено 261 вид растений и грибов, но работы по мониторингу редких видов продолжены.

В настоящей работе приведены данные о новых местонахождениях редких и охраняемых видов растений и грибов в юго-западных районах Ростовской области, которые выявлены в ходе полевого сезона 2024 г. на территории Азовского, Куйбышевского, Матвеево-Курганского, Мясниковского и Неклиновского районов. Эта работа открывает новый этап мониторинговых работ, после выхода 3-го издания КК РО [1], которые в дальнейшем будут использованы при подготовке её следующего переиздания.

Площадь района исследования составляет 8471,96 кв. км или 8,4 % от площади Ростовской обл. (рис. 1). Эти районы отличаются умеренно-засушливым климатом, благоприятным для развития зональной степной растительности. Однако плодородные почвы (высококарбонатные чернозёмы обыкновенные

североприазовские и предкавказские) способствовали масштабной распахке земель и, соответственно, существенному антропогенному преобразованию ландшафтов и естественной растительности.

Обследуемые районы расположены в юго-западной части области на южном макросклоне Донецкого кряжа, переходящем в Северо-Приазовскую аккумулятивную равнину. В целом, эти районы образуют компактную в пространственном отношении группу, располагаясь вокруг Таганрогского залива Азовского моря от границ Донецкой Народной Республики (далее – ДНР) и Луганской Народной Республики (далее – ЛНР) на севере и западе до Краснодарского кр. на юге. С востока территория исследования граничит с Родионо-Несветайским, Аксайским и Кагальницким районами области (рис. 1).



Рис. 1. Территория исследований: 16 – Матвеево-Курганский район, 17 – Куйбышевский район, 23 – Неклиновский район; 24 – Мясниковский район, 34 – Азовский район.

В соответствии с геоморфологическим районированием Ростовской обл. [2, 3] территория исследования представлена двумя районами:

1). Северо-Приазовский (к этому району относятся все районы исследования, кроме Азовского), который представляет собой одноименную денудационно-аккумулятивную наклонную равнину на структурах Приазовской моноклинали, ограниченную на севере Донецким кряжем, на юге Таганрогским заливом. Равнина

сложена неогеновыми (сармат, мзотис, понт) морскими отложениями, перекрытыми четвертичными лессовидными суглинками и характеризуется слабоволнистым рельефом со средними высотами около 85 м н. у. м.

2). Доно-Егорлыкская аккумулятивная равнина в пределах Азово-Кубанской впадины (Азовский р-н), расположенная на юго-западе области. Формирование её происходило в условиях новейших опущений Азово-Кубанской впадины, компенсированных накоплением плиоценовых и плейстоценовых отложений различного генезиса. Поверхность равнины достаточно плоская, с общим незначительным уклоном в сторону Азовского моря, пересечена долинами рек Егорлык, Средний Егорлык, Кагальник и их притоков. Средняя высота равнины составляет 80–100 м н. у. м.

Согласно климатическому районированию Ростовской области [4] район исследования относится к 1Б и 2А подрайонам. Подрайон 1Б занимает юго-восточную, центральную и центрально-восточную часть области. Климат очень засушливый, за вегетационный период выпадает всего 200–250 мм осадков. Безморозный период продолжается 165–175 дней. Средняя месячная температура июля +22...+23 °С. Зима умеренно холодная, среднемесячная температура января – 6...–7 °С. Среднее из абсолютных минимумов за зиму оставляет –25...–30 °С. Из районов исследования к нему относятся Матвеево-Курганский, Куйбышевский и частично Неклиновский. Подрайон 2А (юго-западный) занимает южную и юго-западную части области. Климат засушливый. Средняя температура июля +22...+23 °С. Продолжительность безморозного периода 180–190 дней. Зима умеренно мягкая: средняя температура января – 5 °С, средний из абсолютных минимумов температуры воздуха за зиму составляет –20...–25 °С. Из районов исследования к нему относятся Азовский, Мясниковский и частично Неклиновский.

Согласно делению Ростовской области, на агропочвенные районы [5] почвенный покров района исследования можно отнести к 3-м агропочвенным районам. Шахто-Донецкий (Зверево-Шахтинский) район занимает восточные оконечности Донского кряжа. На севере его границей является река Северский Донец, на юге она проходит примерно на линии Шахты – Лысогорка – Успенская, на западе по границе с ДНР, ЛНР. Почвенный покров представлен чернозёмами обыкновенными, тяжелосуглинистыми и лёгкоглинистыми на лёссовидных породах, чернозёмами южными, тяжелосуглинистыми и глинистыми на жёлто-бурых и красно-бурых глинах; чернозёмами южными разного механического состава на плотных породах – сланцах, песчаниках. Широко распространены неполноразвитые песчаные почвы – серопески. К нему относятся северная часть Куйбышевского р-на. Северо-Западный Приазовский (Таганрогско – Новочеркасский) район занимает приазовскую наклонную равнину между нижним течением р. Дон и границей области с ДНР. Основу почвенного покрова составляют слабокарбонатные (североприазовские) чернозёмы. В северной части района встречаются обыкновенные чернозёмы. Кроме того, значительные площади заняты смытыми почвами. К этому району относятся Матвеево-Курганский, Неклиновский, Мясниковский, Куйбышевский (южная часть) р-ны. Южный (Александровско-Мечётинско-Целинский) район охватывает южную часть области, расположенную на территории Западно-Предкавказской равнины.

Здесь простирается широкая равнина, выстланная мощной толщей сильнокарбонатных тяжёлых лёссовидных пород. Почвообразующими породами повсеместно являются буро-палевые карбонатные лёссовидные суглинки и глины. Почвенный покров представлен самими богатыми почвами в области – предкавказскими чернозёмами, обладающими очень мощностью гумусовых горизонтов. К этому району относятся Азовский р-н.

В системе ботанико-географического районирования степной зоны Евразии вся территория исследования, как и большая часть территории области в целом, находится в пределах Причерноморской (Понтической) провинции Причерноморско-Казахстанской подобласти Евразийской степной области [6]. В Причерноморской (Понтической) провинции выделяются 2 подпровинции – более западная Азово-Черноморская (Приазовско-Причерноморская) степная подпровинция и расположенная северо-восточнее Среднедонская степная подпровинция, основное различие между которыми заключается в различиях флористического состава зональной степной растительности [6, 7]. Территории всех обследуемых районов принадлежат к Азово-Черноморской (Приазовско-Причерноморская) степной подпровинцией.

В степях Азово-Черноморской подпровинции доминируют *Stipa ucrainica* P.A. Smirn., большую роль играют эндемичные причерноморские (*Bellevia sarmatica* (Pall. ex Misch.) Woronow, *Gagea bohémica* (Zauschn.) Schult. & Schult. f., *Caragana mollis* (M. Bieb.) Besser, *Cymbocasma borysthénica* (Pall. ex Schltdl.) Klovov & Zoz и др.) и западнопричерноморские (*Carduus hamulosus* Ehrh., *Linaria biebersteinii* Besser, *Galium volhynicum* Pobed. и др.) виды, а также многие виды, свойственные всей Причерноморской степной провинции, и западноказахстанско-причерноморские виды, ограниченные в своем распространении данной подпровинцией или незначительно продвигающихся в степные сообщества соседней Среднедонской подпровинции (доминант степей *Stipa ucrainica*, *Astragalus dolichophyllus* Pall., *Chamaecytisus borysthénicus* (Gruner) Klask. и др.).

В процессе исследований было выявлено 81 новое местонахождение 35 видов растений и грибов (включая лишайники), не учтенных в третьем издании КК РО [1], в том числе 25 местонахождений 10 видов, занесенных в Красную книгу Российской Федерации (далее КК РФ) [8].

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

При реализации проекта использована методика регионального мониторинга занесенных в КК РО видов растений и грибов [1] с дополнениями и уточнениями, разработанными при ведении Красной книги.

Полевые исследования проводились в 2024 г. Основными объектами мониторинга являлись виды, занесенные в третье издание КК РО [9], в их зарегистрированных и новых местонахождениях на территории юго-западных районов Ростовской области. Всего объектами мониторинга стали 99 видов «краснокнижных» грибов и растений, известных для этих районов (37 видов для Азовского, 41 – для Куйбышевского, 38 – для Матвеево-Курганского, 36 – для Мясниковского, 32 – для Неклиновского районов).

Гербарные сборы, подтверждающие находки, хранятся в Гербарии кафедры ботаники Южного федерального университета (RV), Гербарии Ботанического сада Южного федерального университета (RWBG). Ассоциации выделялись по доминантной системе классификации.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Ниже, в списке флористических находок приведены сведения об их локализации, типе растительного сообщества, дата описаний, сведения о встречаемости. Названия видов приводятся в соответствии с КК РО [1]. Виды, занесенные в КК РФ [8], выделены полужирным шрифтом. Используемые сокращения: окр. – окрестности, с. – село, х. – хутор, р-н – район, с. п. – сельское поселение, асс. – ассоциация, ур. – урочище, ст-ца – станица, ООПТ – Особо охраняемая природная территория, ЦП – ценопопуляция.

Лишайники:

Cetraria aculeata subsp. *steppae* (Savicz) Lutsak, Fernandez-Mendoza et Printzen [= *Cetraria steppae* (Savicz) Karnefelt] 1) Куйбышевский р-н, 1,5 км севернее х. Скелянского (Куйбышевское с. п.), правый коренной берег р. Миус, приводораздельная часть остепненного склона, тимьянник, асс. *Thymus dimorphus*, на сланце, 12.04.2024. На площади 0,04 кв. м плотность талломов составляет в среднем 1,5 (1–2) шт. Размер талломов в среднем 3,0 (2,0–5,5) см; 2) Куйбышевский р-н, 1,7 км северо-восточнее с. Русское (Куйбышевское с. п.), изрезанный короткими балками левый коренной берег р. Миус, верхняя часть склона балки, тимьянник, асс. *Thymus dimorphus* + *Dianthus pseudoarmeria*, на сланце, 18.04.2024. На площади 0,04 кв. м плотность талломов составляет в среднем 14,1 (4–34) шт. Размер талломов в среднем 3,9 (2,8–5,5) см; 3) Куйбышевский р-н, 2,8 км северо-восточнее с. Русское (Куйбышевское с. п.), изрезанный короткими балками левый коренной берег р. Миус, нижняя часть склона балки, тимьянник, асс. *Thymus dimorphus* + *Festuca rupicola*, на сланце, 18.04.2024. На площади 0,04 кв. м плотность талломов составляет в среднем 7,3 (5–10) шт.; размер талломов в среднем 6,5 (3–11,0) см.

Cladonia magyarica Vain. ex Gyeln. 1) Куйбышевский р-н, 1,5 км севернее х. Скелянского (Куйбышевское с. п.), правый коренной берег р. Миус, приводораздельная часть остепненного склона, тимьянник, асс. *Thymus dimorphus*, на сланце, 12.06.2024. На площади 0,04 кв. м плотность талломов составляет в среднем 1,5 (1–2) шт. Размер талломов в среднем 3,0 см (2,0–5,5) см. В местах концентрации численность талломов на площади 0,04 кв. м изменяется от 3 до 16 шт. (в среднем 8,5 шт.). Размеры талломов варьируют от 3 до 8,0 см (в среднем 5,5 см). Отмечено вегетативное размножение фрагментами таллома, а также при помощи апотециев; 2) Куйбышевский р-н, 1,7 км северо-восточнее с. Русское (Куйбышевское с. п.), изрезанный короткими балками левый коренной берег р. Миус, верхняя часть склона балки, тимьянник, асс. *Thymus dimorphus* + *Dianthus pseudoarmeria*, на сланце, 18.04.2024. В местах концентрации численность талломов на площади 0,04 кв. м в среднем 2,8 (2–10). Размеры талломов в среднем 2,7 (2–3,5) см. Отмечено вегетативное размножение фрагментами таллома, а также при помощи апотециев; 3) Куйбышевский р-н, 2,8 км северо-восточнее с. Русское (Куйбышевское с. п.),

изрезанный короткими балками левый коренной берег р. Миус, нижняя часть склона балки, переходные к степи сообщества и фрагменты тимьянников; асс. *Thymus dimorphus* + *Agropyron pectinatum* – *Cephalaria uralensis*, на почве, 18.04.2024. В местах концентрации численность талломов на площади 0,04 кв. м в среднем 3 (2–4) шт. Размеры талломов варьируют от 2,0 до 3,4 см (в среднем 2,5 см), отмечены апотеции; 4) там же, тимьянник, асс. *Thymus dimorphus* + *Festuca rupicola*, 18.04.2024. В местах концентрации численность талломов на площади 0,04 кв. м в среднем 1,8 (1–3) шт. Размеры талломов в среднем 3,4 (2–5,5) см, отмечено вегетативное размножение фрагментами таллома, а также при помощи апотециев.

Flavoparmelia caperata (L.) Hale. 1) Азовский р-н, 4,3 км юго-западнее х. Марков (Отрадовское с. п.), Александровский лес (Атаманское степное лесничество), искусственное лесонасаждение из *Fraxinus excelsior* L., 08.05.2024. На стволах *Fraxinus excelsior* выявлено по 1 таллому, их ширина в среднем 7,6 см. Всего выявлено 5 талломов на площади около 50 кв. м.

Ramalina farinacea (L.) Ach. 1) Азовский р-н, 4,1 км юго-западнее х. Марков (Отрадовское с. п.), Александровский лес (Атаманское степное лесничество), искусственное лесонасаждение, асс. *Quercus robur* + *Crataegus monogyna* + *Cotinus coggygia*, на стволах *Q. robur*, 08.05.2024. Обычно, на стволе обнаружено по 1–3 таллома, длиной в среднем 4,5 см. Общая численность – около 30 особей; 2) Азовский р-н, 4,0 км юго-западнее х. Марков (Отрадовское с. п.), Александровский лес (Атаманское степное лесничество), искусственное лесонасаждение из *Fraxinus excelsior* L., асс. *Fraxinus excelsior* + *Crataegus monogyna*, на стволах *Fraxinus excelsior*, 08.05.2024. На стволах обнаружено по 1–3 таллома, длина которых в среднем 4,6 см. Особи отмечены очень рассеянно. Общая численность – около 100 талломов на площади около 1 тыс. кв. м; 3) Куйбышевский р-н, 1,7 км к северу от с. Лысогорка (Лысогорское с. п.), северный склон балки Граковой на правом берегу р. Тузлов, ООПТ категории охраняемый природный объект «Лысогорка», опушка байрачного леса, асс. *Ulmus minor* + *Prunus stepposa* + *Caragana frutex*, на стволах *Ulmus minor*, 12.04.2024. Обычно, на стволах обнаружено по 1 таллому длиной в среднем 5,6 см. Выявлено 30 талломов на площади около 300 кв. м; 4) Матвеево-Курганский р-н, 3,7 км юго-восточнее х. Иваново-Ясиновка (Большекирсановское с. п.), балка Дубовая, байрачный лес, асс. *Fraxinus excelsior* + *Alnus glutinosa* + *Scilla siberica*, на стволах *Fraxinus excelsior*, 18.04.2024. Отмечено по 1–2 таллома длиной в среднем 4,2 см. Выявлено около 100 талломов на площади около 1 тыс. кв. м; 5) Мясниковский р-н, 1,4 км юго-западнее с. Карпо-Николаевка (Петровское с. п.), правый коренной берег р. Тузлов, плакорный участок левого отворшка балки Почтовой, ООПТ категории охраняемый ландшафт «Тузловские склоны», кластер 1, байрачный лес, асс. *Populus alba* + *Robinia pseudoacacia*, на стволах *Populus alba*, 18.03.2024. На стволах обнаружено по 1 таллому. Длина таллома в среднем 4,4 см. На площади 25 кв. м насчитывается в среднем 1,8 (1–3) экземпляра. Общая численность – около 20 талломов.

Ramalina fraxinea (L.) Ach. 1) Мясниковский р-н, 1,4 км юго-западнее с. Карпо-Николаевка (Петровское с. п.), правый коренной берег р. Тузлов, плакорный участок левого отворшка балки Почтовой, ООПТ категории охраняемый ландшафт

«Тузовские склоны», кластер 1, байрачный лес, асс. *Populus alba* + *Robinia pseudoacacia*, на стволах *Populus alba*, 18.03.2024. На стволе *Populus alba* обнаружен 1 таллом с апотециями длиной 8,1 см.

Thalloidima sedifolium (Scop.) Kistenich 1) Мясниковский р-н, около 1,3 км к северо-востоку от х. Недвиговка (Недвиговское с. п.), балка Каменная, верхняя часть правого склона балки юго-восточной экспозиции, на почве. ЦП приурочена к крутым обрывистым участкам склонов с сильно эродированным почвенным покровом и разреженным травостоем, представленным единичными экземплярами *Poa crista*, *Linaria genistifolia*, *Asperula rumelica* и др. Экземпляры вида сосредоточены на площади около 5 кв. м и значительно различаются по размерам таллонов, наиболее крупное из которых достигает размеров 20×8 см; 2) Мясниковский р-н, 1,5 км юго-западнее с. Карпо-Николаевка (Петровское с. п.), правый коренной берег р. Тузов, плакорный участок левого отворшка балки Почтовой, ООПТ категории охраняемый ландшафт «Тузовские склоны», кластер 1, каменистая степь, асс. *Stipa capillata* + *Festuca rupicola* + петрофитное разнотравье, на почве, 18.03.2024. Талломы образуют небольшие группы (от 2 до 19 особей), их размещение очень неравномерное. Размеры таллонов варьируют от 0,5 до 7,0 см (в среднем 1,5 см). Отмечено вегетативное размножение фрагментами таллома и половое размножение при помощи апотециев. Общая площадь ЦП – около 50 кв. м.

Xanthoparmelia delisei (Duby) O. Blanco et al. 1) Куйбышевский р-н, 1,5 км севернее х. Селянского (Куйбышевское с. п.), правый коренной берег р. Миус, приводораздельная часть остепненного склона, тимьянник, асс. *Thymus dimorphus*, 12.04.2024. Талломы отмечены как на горизонтальных, так и на вертикальных поверхностях выходов глинистого сланца, они встречаются одиночно или небольшими группами. На площади 0,04 кв. м отмечено в среднем 1,2 (1–3) шт., талломы разного размера от 7,0 до 21,0 см (в среднем 12,5 см). Размножение преимущественно вегетативное, при помощи фрагментации, апотеции отмечены только на 1 талломе; 2) Куйбышевский р-н, 1,7 км северо-восточнее с. Русское (Куйбышевское с. п.), изрезанный короткими балками левый коренной берег р. Миус, верхняя часть склона балки, тимьянник, асс. *Thymus dimorphus* + *Dianthus pseudoarmaria*, на выходах глинистых сланцев, 18.04.2024. Талломы отмечены как на горизонтальных, так и на вертикальных поверхностях каменистой породы. Встречается одиночно или небольшими группами, на площади 0,04 кв. м отмечено в среднем 3,0 (1–5) шт. количество таллонов изменяется от 1 до 5 шт. (в среднем 3,0 шт.). Талломы имеют размер в среднем 6,7 (4–10) см. Размножение как вегетативное, так и при помощи апотециев.

Xanthoparmelia stenophylla (Ach.) Ahti et D. Hawksw. 1) Куйбышевский р-н, 1,4 км северо-восточнее с. Русского (Куйбышевское с. п.), изрезанный короткими балками левый коренной берег р. Миус, пологая верхняя часть склона, каменистая степь, асс. *Artemisia marschalliana* + петрофитное разнотравье, на почве. На площади 0,04 кв. м плотность таллонов составляет в среднем 7,2 (3–15) шт. Размер таллонов изменяется в пределах 2,0–9,0 (в среднем 4,2) см. Общая площадь популяции около 50 кв. м, на которой выявлено 3 скопления таллонов.

Макромицеты.

***Sarcosphaera coronaria* (Jacq.) J. Schröt.** 1) Мясниковский р-н, около 0,5 км на северо-северо-восток от х. Недвиговка (Недвиговское с. п.), балка Каменная, участок водораздела, примыкающий к правому склону балки, каменистая разнотравно-дерновиннозлаковая степь, разнотравно-ковыльковая сухая каменистая степь, асс. *Stipa lessingiana* + *Galatella villosa* + степное разнотравье, на почве, 08.05.2024. В составе ЦП обнаружено три зрелых плодовых тела на отрезке протяжённостью 12–15 м. Плодоношения вида приурочены к участкам разреженного травяного покрова на маломощном щебневатом карбонатном чернозёме. Данные Карасёвой Т. А.

Мохообразные.

***Fontinalis antipyretica* Hedw.** 1) Матвеево-Курганский р-н, 3,6 км юго-восточнее х. Иваново-Ясиновка (Большекирсановское с. п.), байрачный лес, днище балки Дубовой, 20.05.2024. Произрастает в чистой группировке водной растительности, сформированной в ручье с быстрым течением. ОПП – 10 %. Образует очень небольшие куртинки на камнях. На площади 1 кв. м встречается от 1 до 3 куртин, их диаметр от 5 до 20 см, длина побегов 4–22 см. С перерывом фонтиналис противопожарный отмечен на протяжении 500 м по руслу ручья.

***Grimmia laevigata* (Brid.) Brid.** 1) Куйбышевский р-н, 2,5 км к югу от х. Новоивановского (Куйбышевское с. п.), долина р. Ясиновки в её средней части, верхняя приводораздельная часть юго-западного склона на левом берегу долины, каменистая степь, асс. *Artemisia campestris* + петрофитное разнотравье. Средний диаметр дерновинок – около 2,5 см, высота побегов 1,0–1,2 см. Среднее число дерновинок на учетной площадке 0,04 кв. м – 2,2 шт. Общая площадь ЦП – около 50 кв. м.

Покрытосеменные.

***Aegonychon purpureo-caeruleum* (L.) Holub** 1) Азовский р-н, 4,1 км юго-западнее х. Марков (Отрадовское с. п.), Александровский лес (Атаманское степное лесничество), искусственное лесонасаждение, опушечное сообщество между просеками, асс. *Quercus robur* + *Crataegus monogyna* + *Aegonychon purpureo-caeruleum*, 08.05.2024. Площадь ЦП составляет около 200 кв. м. Плотность растений на площади 1 кв. м составляет 7–15 (в среднем 10,8) крупных особей, из которых генеративных 3–8 (в среднем 5,3) шт.

***Anemonoides ranunculoides* (L.) Holub** 1) Матвеево-Курганский р-н, 2,9 км юго-восточнее х. Авило-Фёдоровка (Алексеевское с. п.), правый коренной берег р. Крынки, пересеченный многочисленными балками, байрачный лес, асс. *Quercus robur* + *Acer campestre* + *Anthriscus sylvestris* + *Chelidonium majus*, обычно, 18.04.2024. Общая площадь ЦП около 1 тыс. кв. м.

***Bellevalia speciosa* Woronow ex Grossh. [*B. sarmatica* (Pall. ex Misch.) Woronow]** 1) Куйбышевский р-н, окр. с. Лысогорка (Лысогорское с.п.), приводораздельная и средняя часть склона балки Мостовой, склон южной экспозиции, ООПТ категории охраняемый природный объект «Лысогорка», 2-й кластерный участок, приазовская степь, асс. *Stipa pulcherrima* + *Stipa lessingiana* + ксерофильное разнотравье, 24.05.2024. Площадь ЦП – около 1 тыс. кв. м; плотность

– 1–2 генеративных особи на 1 кв. м; 2) Куйбышевский р-н, 3,0 км юго-западнее с. Новоспасовка (Лысогорское с. п.), балка Дубовая, верхняя часть пологого правого склона балки, типчаково-ковыльная степь, асс. *Stipa capillata* + *S. ucrainica* + *Festuca rupicola*, 24.05.2024. Изредка, с обилием sp1.

***Calophaca wolgarica* (L. f.) Pall. ex Fisch.** 1) Неклиновский р-н, 4,8 км северо-западнее с. Васильево-Ханжоновка (Васильево-Ханжоновское с. п.), правый коренной берег р. Мокрый Еланчик, левый отвершик балки Каменовой, вершина склона балки, каменистая степь со следами сильного пожара, асс. *Calophaca wolgarica* + *Galatella villosa* + *Festuca rupicola*, рассеянно, 01.06.2024. ЦП приурочена к верхним и средним частям склона, её общая площадь – около 300 кв. м. Плотность ЦП в местах концентрации особей составляет в среднем 2,7 разновозрастных растений на 4 кв. м, из которых 96,3 % – генеративные, распределение контагиозное.

***Caragana scythica* (Kom.) Pojark.** 1) Неклиновский р-н, 1,5 км северо-западнее с. Васильево-Ханжоновка (Васильево-Ханжоновское с. п.), правый коренной берег р. Мокрый Еланчик, устье балки Торбина, средняя часть склона балки, петрофитный вариант дерновиннозлаковой степи со следами пожара, асс. *Stipa pulcherrima* + *Caragana scythica* + *Galatella villosa*, 01.06.2024. ЦП занимает площадь около 500 кв. м, размещение особей относительно равномерное, всего отмечено 124 куртины со средним диаметром 122,6 (68–220) см.

***Elytrigia stipifolia* (Czern. ex Nevski) Nevski** 1) Мясниковский р-н, 3 км восточнее сл. Петровки (Петровское с. п.), приводораздельная часть правого коренного берега р. Тузлов, степная залежь среди каменистой приазовской степи, ООПТ категории охраняемый ландшафт «Тузловские склоны», 2-й кластерный участок, разнотравно-типчаково-ковыльная степь, асс. *Stipa ucrainica* – *Stipa capillata* + *Festuca valesiaca* – ксерофильное разнотравье, единично, 22.06.2024; 2) Куйбышевский р-н, 3,5 км северо-западнее х. Крюково (Лысогорское с. п.), правый коренной берег р. Тузлов, левый борт балки Ершовой, пологая приводораздельная часть балочного склона, обочина полевой дороги, каменистый вариант приазовской типчаково-ковыльной степи, асс. *Stipa ucrainica* + *Festuca valesiaca*, единично, 14.06.2024.

***Erucastrum cretaceum* Kotov** 1) Куйбышевский р-н, окр. с. Лысогорка (Лысогорское с. п.), правый коренной берег р. Тузлов, ООПТ категории охраняемый природный объект «Лысогорка», 1-й кластер, тимьянник, асс. *Genista scythica* + *Thymus calcareus*, рассеянно, 24.05.2024. Общая площадь ЦП – 3200 кв. м. Плотность – около 50 разновозрастных особей на 100 кв. м; 2) Матвеево-Курганский р-н, 1,5 км юго-западнее х. Иваново-Ясиновка (Большекирсановское с. п.), правый берег р. Ясиновка, верхняя часть склона, выходы мела, тимьянник, асс. *Thymus calcareus* + *Hedysarum grandiflorum* + *Jurinea multiflora*, рассеянно, 24.05.2024. Общая площадь ЦП – около 500 кв. м, на площади 1 кв. м в среднем отмечено 15,4 (10–22) особей. Общая численность ценопопуляции – около 300 генеративных растений; высота которых составляет в среднем 28,5 (20–38) см.

***Euphorbia cretophila* Klokov** 1) Матвеево-Курганский р-н, 3,7 км юго-восточнее х. Иваново-Ясиновка (Большекирсановское с. п.), правый коренной берег балки Дубовой, пологий приводораздельный склон южной экспозиции, тимьянник, асс.

Onosma tanaitica + *Thymus calcareus* + петрофитное разнотравье, рассеянно, 18.05.2024. Общая площадь – около 1500 кв. м, размещение особей относительно равномерное. Плотность ЦП – 1–10 (в среднем 7,8) особи на 1 кв. м, из которых генеративных – 1–6 (в среднем 4,3), взрослых вегетативных – 0–5 (в среднем 1,9), ювенильных – 0–5 (в среднем 1,6); 2) Матвеево-Курганский р-н, 1,5 км юго-западнее х. Иваново-Ясиновка (Большекирсановское с. п.), правый берег р. Ясиновка, верхняя часть склона, выходы мела, тимьянник, асс. *Genista scythica* + *Jurinea multiflora* + *Linum czerniaevii* + *Thymus marschallianus*, рассеянно, 18.05.2024. Площадь ЦП – около 1,5 тыс. кв. м, растения обитают как на крутых склонах, так и полосой вдоль обрывов. Средняя плотность – около 7,0 разновозрастных растений на 1 кв. м. (3–10), из которых генеративных – 5,2 (2–8) шт., прегенеративных – 1,8 (1–4) шт.

Fritillaria meleagroides Patr. ex Schult. et Schult. f. Мясниковский р-н, окраина х. Калинин (Калининское с. п.), заливной луг, асс. *Poa pratensis* + *Daucus carota* + *Carex melanostachya*, рассеянно, 10.05.2024. Площадь ЦП около 2500 кв. м. Распределение особей диффузно-контагиозное, небольшими скоплениями (2–4) разновозрастных растения. В местах концентрации, на площади 1 кв. м отмечено, в среднем 4,3 (2–10) разновозрастных особей, из которых генеративных – 3,4 (1–8) шт., вегетативных – 0,9 (0–2) шт. Всего выявлено около 100 генеративных особей.

Fritillaria ruthenica Wikstr. 1) Матвеево-Курганский р-н, 3,7 км юго-восточнее х. Иваново-Ясиновка (Большекирсановское с. п.), балка Дубовая, средняя и нижняя часть склона северной экспозиции, байрачный лес, асс. *Fraxinus excelsior* + *Alnus glutinosa* + *Scilla siberica*, рассеянно, 12.04.2024. Размещение особей контагиозное, всего отмечено 7 относительно компактных скопления вида, площадь которых изменяется от 5 до 25 кв. м. На площади 25 кв. м отмечено в среднем 10 (1–24) разновозрастных особи, из которых 2,9 (1–5) – генеративных, 5,6 (0–24) – вегетативных розетки, ювенильных – 1,5 (0–3) особи. Площадь ценопопуляции – около 0,3 кв. км; 2) Матвеево-Курганский р-н, 4,0 км юго-восточнее х. Иваново-Ясиновка (Большекирсановское с. п.), балка Дубовая, верхняя часть склона северной экспозиции, байрачный лес, асс. *Fraxinus excelsior* + *Euonymus verrucosus* + *Melica picta*, рассеянно, 18.04.2022. Размещение особей контагиозное, всего отмечено около 10 относительно компактных скопления вида, площадь которых изменяется от 5 до 25 кв. м. В местах концентрации, на площади 1 кв. м отмечено в среднем 11,9 (9–49) разновозрастных особи, из которых 3,2 (1–16) – генеративных, 4,1 (3–23) – вегетативных розетки, ювенильных – 3,6 (0–10) особи. Площадь ценопопуляции – около 500 кв. м, общая численность – около 500 разновозрастных особей.

Genista scythica Pacz. 1) Матвеево-Курганский р-н, 1,5 км юго-западнее х. Иваново-Ясиновка (Большекирсановское с. п.), правый берег р. Ясиновка, верхняя часть склона, выходы мела, тимьянник, асс. *Genista scythica* + *Jurinea multiflora* + *Linum czerniaevii* + *Thymus marschallianus*, обычно, 24.05.2024. Площадь ЦП – около 1,5 тыс. кв. м, средняя плотность – около 8,2 разновозрастных растений на 1 кв. м (3–16); 2) Неклиновский р-н, западная окраина с. Васильево-Ханжоновка (Васильево-Ханжоновское с. п.), правый коренной берег р. Мокрый Еланчик, устье балки Торбина, крутой меловой склон, каменистая степь со следами сильного пожара, асс.

Genista scythica + *Jurinea multiflora*, обычно, 01.06.2024. Размещение особей контактное. Общая площадь ЦП – около 500 кв. м. Плотность на 1 кв. м составляет 2,6 (1–7) шт., с преобладанием генеративных особей; 3) Неклиновский р-н, 3,4 км северо-западнее с. Васильево-Ханжонок (Васильево-Ханжоновское с. п.), правый коренной берег р. Мокрый Еланчик, балка Вонючая, вершина склона балки, петрофитное сообщество со следами пожара, асс. *Genista scythica* + *Cleistogenes bulgarica* + *Psephellus marschallianus*, обычно, 01.06.2024. Площадь ЦП – около 1 тыс. кв. м, размещение особей – диффузно - контактное. Плотность ЦП – в среднем 9,8 (3–15) разновозрастных особи на 1 кв. м, из которых 8,5 – генеративных, 1,3 – прегенеративных; 4) Неклиновский р-н, 1,2 км северо-западнее х. Талалаевский (Васильево-Ханжоновское с. п.), правый коренной берег р. Мокрый Еланчик, устье балки Вонючая, верхняя часть склона балки, петрофитное сообщество, асс. *Genista scythica* + *Stipa lessingiana* + *Jurinea multiflora*, обычно, 01.06.2024. Площадь ЦП – около 1 тыс. кв. м, размещение особей – диффузно-контактное. Плотность ЦП – в среднем 4,7 (4–8) генеративных особи на 1 кв. м.

Haplophyllum suaveolens (DC.) G. Don 1) западная окраина с. Васильево-Ханжонок (Васильево-Ханжоновское с. п.), правый коренной берег р. Мокрый Еланчик, устье балки Торбина, дерновиннозлаковая приазовская степь, асс. *Stipa pulcherrima* + *Festuca valesiaca*, рассеянно, 24.05.2024.

Hedysarum grandiflorum Pall. 1) Матвеево-Курганский р-н, 3,7 км юго-восточнее х. Иваново-Ясиновка (Большекирсановское с. п.), правый коренной берег балки Дубовой, пологий приводораздельный склон южной экспозиции, тимьянник, асс. *Onosma tanaitica* + *Thymus calcareus* + петрофитное разнотравье, рассеянно, 18.05.2024. Площадь ЦП – около 500 кв. м. Размещение особей контактное, плотность ЦП составляет 1–12 (в среднем 6,9) особи на 1 кв. м. Общая численность ЦП – около 500 разновозрастных экземпляров; 2) Матвеево-Курганский р-н, 3,6 км юго-восточнее х. Иваново-Ясиновка (Большекирсановское с. п.), правый коренной берег балки Дубовой, пологий приводораздельный склон южной экспозиции, петрофитное сообщество, асс. *Hedysarum grandiflorum* + *Onosma tanaitica* + *Linum czerniaevii*, рассеянно, 18.05.2024. Площадь ЦП – около 1 тыс. кв. м, размещение особей контактное. Плотность ЦП на 1 кв. м – 1–8 (в среднем 3,4) разновозрастных особи; 3) там же, тимьянник, асс. *Thymus calcareus* + *Onosma tanaitica* + петрофитное разнотравье, изредка, 18.05.2024. Площадь ЦП – около 500 кв. м, размещение особей в контактное. Плотность ЦП на 1 кв. м – 1–7 (в среднем 2,4) особи; 4) Матвеево-Курганский р-н, 1,5 км юго-западнее х. Иваново-Ясиновка (Большекирсановское с. п.), правый берег р. Ясиновка, верхняя часть склона, выходы мела, тимьянник, асс. *Genista scythica* + *Jurinea multiflora* + *Linum czerniaevii* + *Thymus marschallianus*, рассеянно, 18.05.2024. Площадь ЦП – около 1,5 тыс. кв. м, в местах концентрации число разновозрастных особей на площади 1 кв. м в среднем 12,6 (10–17) шт.; 5) Неклиновский р-н, юго-западнее с. Большая Неклиновка (Большенеклиновское с. п.), правый берег р. Миус, верхняя часть склона балки Платонова вблизи её устья. ООПТ категории охраняемый ландшафт «Миусский склон», каменистая степь, асс. *Stipa lessingiana* + *Jurinea multiflora* + петрофитное разнотравье, редко, 24.05.2024. Общая площадь ЦП – около 50 кв. м,

особи распределены в виде нескольких скоплений. В местах концентрации число особей на площади 1 кв. м изменялось от 1 до 12 (в среднем 5,0) разновозрастных особей; 6) Неклиновский р-н, 3,5 км северо-западнее с. Васильево-Ханжоновка (Васильево-Ханжоновское с. п.), правый коренной берег р. Мокрый Еланчик, балка Вонючая, верхняя часть склона балки, петрофитное сообщество со следами пожара, асс. *Hedysarum grandiflorum* + *Cleistogenes bulgarica* + *Psephellus marschallianus* + *Iris pumila*, изредка, 24.05.2024. Площадь ЦП – около 500 кв. м, размещение особей – диффузно-контагиозное. Плотность ЦП – в среднем 4,3 (1–11) разновозрастных особи на 1 кв. м. Общая численность ценопопуляции – 47 разновозрастных особей.

Hyacinthella pallasiana (Steven) Losinsk. 1) Куйбышевский р-н, 1,5 км северо-восточнее с. Русское (Куйбышевское с. п.), изрезанный короткими балками левый коренной берег р. Миус, верхняя часть склона балки, типчаково-ковыльная степь, асс. *Stipa ucrainica* + *Stipa pulcherrima* + *Festuca rupicola*, обычно, 12.04.2024. Площадь ЦП – около 1000 кв. м, особи распределены относительно равномерно. Плотность ЦП – 11,6 (6–16) разновозрастных особей на 0,04 кв. м, из которых генеративных – 3,8 (2–7), виргинильных – 1,9 (0–3) шт., имматурных – 1,0 (0–2) шт., ювенильных – 1,1 (0–3) шт., проростков – 1,9 (0–4) шт.; 2) Куйбышевский р-н, 3,0 км юго-западнее с. Новоспасовка (Лысогорское с. п.), балка Дубовая, верхняя часть пологого правого склона балки, типчаково-ковыльная степь, асс. *Stipa capillata* + *Stipa ucrainica* + *Festuca rupicola*, рассеянно, 12.04.2024. Отмечен с обилием sp3.

Iris pumila L. 1) Куйбышевский р-н, 3,0 км юго-западнее с. Новоспасовка (Лысогорское с. п.), балка Дубовая, верхняя часть пологого правого склона балки, типчаково-ковыльная степь, асс. *Stipa capillata* + *Stipa ucrainica* + *Festuca rupicola*, рассеянно, 18.04.2024. Площадь ЦП около 500 кв. м, размещение особей контагиозное. Плотность ценопопуляции в местах концентрации на 1 кв. м – в среднем 3,1 (2–5) куртин; 2) Куйбышевский р-н, 1,5 км северо-восточнее с. Русское (Куйбышевское с. п.), изрезанный короткими балками левый коренной берег р. Миус, верхняя часть склона балки, типчаково-ковыльная степь, асс. *Stipa ucrainica* + *Stipa pulcherrima* + *Festuca rupicola*, рассеянно, 20.04.2024. Ценопопуляция касатика карликового занимает площадь около 1 тыс. кв. м. Размещение особей контагиозное, плотность ЦП в местах концентрации на 1 кв. м – в среднем 1,9 (1–4) куртина.

Onosma tanaitica Klok. 1) Матвеево-Курганский р-н, 3,7 км юго-восточнее х. Иваново-Ясиновка (Большекирсановское с. п.), правый коренной берег балки Дубовой, пологий приводораздельный склон южной экспозиции, тимьянник, асс. *Onosma tanaitica* + *Thymus calcareus* + петрофитное разнотравье, рассеянно, 18.05.2024. Площадь – около 0,0015 кв. км, размещение особей – контагиозное. Плотность ЦП – 4–12 (в среднем 8,7) особи на 4 кв. м.

Raeonia tenuifolia L. 1) Куйбышевский р-н, окр. с. Лысогорка, нижняя часть левого склона балки Мостовой, склон южной экспозиции, ООПТ категории охраняемый природный объект «Лысогорка», 2-й кластерный участок; дерновиннозлаковая степь, асс. *Stipa pulcherrima*, редко, 19.04.2024. Площадь ЦП – около 4 кв. м; состоит из 10 генеративных и 6 виргинильных особей; 2) Куйбышевский р-н, 3 км юго-западнее с. Новоспасовка (Лысогорское с. п.), балка Дубовая, отвершек по правому берегу балки, пологий склон восточной экспозиции,

кустарниково-разнотравное сообщество на опушке байрачной дубравы, граничащее с каменистой степью, асс. *Cerasus fruticosa* + опушечно-степное разнотравье. Выявлено 2 небольших скопления на расстоянии нескольких метров друг от друга. Общая численность ЦП – 29 разновозрастных особей, из которых 20 – генеративных. Площадь ЦП – 30 кв. м; 3) Матвеево-Курганский р-н, 1,5 км северо-западнее с. Авило-Фёдоровка (Алексеевское с. п.), правый коренной берег р. Крынки, пересеченный многочисленными балками, луговое сообщество в промоине склона, асс. *Phragmites australis* + *Elytrigia repens* + *Paesia tenuifolia*, обильно, 19.04.2024. Площадь ЦП – 500 кв. м, распределение особей контактно-агрегатное, выявлено 22 скопления вида. В местах концентрации на площади 1 кв. м. отмечено в среднем 67,0 (8–119) разновозрастных особей. Общая численность ценопопуляции – около 180 разновозрастных растений.

Polygala cretacea Kotov 1) Куйбышевский р-н, окр. с. Лысогорка (Лысогорское с. п.), левый крутой борт небольшого отрога балки Мостовой в её устьевой части, ООПТ категории охраняемый природный объект «Лысогорка», 2-й кластерный участок, тимьянник, асс. *Artemisia salsoloides* + *Onosma tanaitica* – *Genista scythica*, изредка, 24.05.2024. Площадь ЦП – около 2000 кв. м, размещение особей относительно равномерное. Плотность ЦП – 2–4 генеративных особи на 1 кв. м.

Polygala sibirica L. 1) Матвеево-Курганский р-н, 3,6 км юго-восточнее х. Иваново-Ясиновка (Большекирсановское с. п.), правый коренной берег балки Дубовой, пологий приводораздельный склон южной экспозиции, петрофитное сообщество, асс. *Hedysarum grandiflorum* + *Onosma tanaitica* + *Linum czerniaevii*, изредка, 24.05.2024. Площадь ЦП – около 100 кв. м, размещение особей контактно-агрегатное, небольшими скоплениями. Плотность ценопопуляции составляет 1–5 (в среднем 2,7) особи на 1 кв. м. Общая численность ЦП – около 200 разновозрастных особей; 2) там же, тимьянник, асс. *Thymus calcareus* + *Onosma tanaitica* + петрофитное разнотравье, рассеянно, 24.05.2024. Площадь ЦП – около 500 кв. м, размещение особей – диффузно-контактно-агрегатное. Плотность ЦП – в среднем 2,5 (1–5) особи на 1 кв. м. Общая численность популяции – около 500 генеративных особей; 3) Неклиновский р-н, западная окраина с. Васильево-Ханжоновка (Васильево-Ханжоновское с. п.), правый коренной берег р. Мокрый Еланчик, устье балки Торбина, средняя часть склона балки, каменистая степь со следами сильного пожара, асс. *Genista scythica* + *Jurinea multiflora*, рассеянно, 01.06.2024. Площадь – около 500 кв. м, размещение особей – диффузно – контактно-агрегатное. Плотность ЦП – в среднем 7,8 (2–15) особи на 1 кв. м. Общая численность ЦП – около 500 генеративных особей; 4) Неклиновский р-н, 4,8 км северо-западнее с. Васильево-Ханжоновка (Васильево-Ханжоновское с. п.), правый коренной берег р. Мокрый Еланчик, левый откос балки Каменовой, вершина склона балки, тимьянник со следами сильного пожара, асс. *Thymus dimorphus* + *Jurinea multiflora*, рассеянно, 01.06.2024. Площадь – около 500 кв. м, размещение особей диффузно-контактно-агрегатное. Плотность ЦП – в среднем 6,9 (3–11) разновозрастных особи на 1 кв. м; 5) Неклиновский р-н, 3,4 км северо-западнее с. Васильево-Ханжоновка (Васильево-Ханжоновское с. п.), правый коренной берег р. Мокрый Еланчик, балка Вонючая, вершина склона балки, петрофитное сообщество со следами пожара, асс. *Genista*

scythica + *Cleistogenes bulgarica* + *Psephellus marschallianus*, рассеянно, 01.06.2024. Площадь ЦП – около 1 тыс. кв. м, размещение особей – диффузно-контагиозное. Плотность ЦП – в среднем 9,8 (3–15) разновозрастных особи на 1 кв. м.

Salvia austriaca Jacq. 1) Мясликовский район, 1,8 км к северо-востоку от х. Недвиговка (Недвиговское с. п.), балка Каменная, средняя часть правого склона балки юго-восточной экспозиции, ООПТ категории охраняемый природный объект «Каменная балка», разнотравно-дерновиннозлаковая степь, асс. *Stipa lessingiana* + *Festuca rupicola* + петрофильно-степное разнотравье, редко, 15.05.2024. Размещение особей – контагиозное, выявлено два очага концентрации растений, общая средняя плотность которых составляет 3,4 (2–5) особи на 1 кв. м. Общая площадь ЦП не превышает 15 кв. м, численность – около 20 разновозрастных особей. Данные Карасёвой Т.А.; 2) Мясликовский р-н, 0,650 км севернее х. Недвиговка (Недвиговское с. п.), балка Каменная, протяжённый отвершек, пересекающий правый склон балки, на склоне юго-юго-западной экспозиции, ООПТ областного значения категории охраняемый природный объект «Каменная балка», сухая каменистая разнотравно-дерновиннозлаковая степь, изредка, 24.05.2024. Распространение контагиозное, в виде нескольких скоплений, их площадь варьирует от 2 до 10 кв. м, число генеративных растений на отдельных участках концентрации достигает 5 особей (данные Карасёвой Т.А.); 3) Неклиновский р-н, 2,3 км на северо-восток от ст. Морская (Приморское с. п.), правый склон балки Манучкина, участок водораздела между пашней и карьером по добыче известняка-ракушечника, разнотравно-дерновиннозлаковая степь, асс. *Stipa lessingiana* + *Salvia austriaca* + степное разнотравье, одним пятном, 25.05.2024. Площадь ЦП – 35 кв. м, плотность в местах концентрации на 1 кв. м – в среднем 7 (2–12) разновозрастных особей, в т.ч. 3,1 (0–7) генеративных и 3,9 (1–8) прегенеративных растений. Общая численность – 110–120 разновозрастных растений. Данные Карасёвой Т.А. 4) Неклиновский р-н, западная окраина с. Васильево-Ханжоновка (Васильево-Ханжоновское с. п.), правый коренной берег р. Мокрый Еланчик, устье балки Торбина, дерновиннозлаковая степь, асс. *Stipa pulcherrima* + *Festuca valesiaca*, изредка, 01.06.2024. Общая площадь ЦП – около 100 кв. м, распространение контагиозное, отмечена в виде нескольких небольших скоплений. Средняя плотность ЦП на 1 кв. м. – 7,9 (3–13) разновозрастных особей.

Silene hellmannii Claus 1) Куйбышевский р-н, 1,7 км северо-восточнее с. Русское (Куйбышевское с. п.), изрезанный короткими балками левый коренной берег р. Миус, верхняя часть склона балки, тимьянник, асс. *Thymus dimorphus* + *Dianthus pseudoarmeria*, изредка, 18.05.2024. Площадь ЦП – около 750 кв. м. Размещение особей диффузно – контагиозное, группами по 2–5 особей. На площади 1 кв. м отмечено в среднем 3,7 генеративных растений (1–10), из которых 2,4 (1–7) – мужских и 1,3 (0–3) – женских; вегетативных розеток – 1,3 (0–7) шт. Общая численность ЦП – около 500 разновозрастных особей; 2) Куйбышевский р-н, 2,8 км северо-восточнее с. Русское (Куйбышевское с. п.), изрезанный короткими балками левый коренной берег р. Миус, нижняя часть склона балки, тимьянник, асс. *Thymus dimorphus* + *Festuca rupicola*, изредка, 18.05.2024. Площадь ЦП – около 100 кв. м. Размещение особей диффузно – контагиозное, группами по 2–5 особей. Всего

выявлено 43 мужских и 6 женских растений, 3 вегетативных розеток.

***Stipa pulcherrima* K. Koch.** 1) Куйбышевский р-н, окр. с. Лысогорка (Лысогорское с.п.), приводораздельная и средняя часть склона балки Мостовой, склон южной экспозиции, ООПТ категории охраняемый природный объект «Лысогорка», 2-й кластерный участок, приазовская степь, асс. *Stipa pulcherrima* + *Stipa lessingiana* + ксерофильное разнотравье, массово, 18.05.2024. Площадь ЦП – около 12 тыс. кв. м, размещение особей более или менее равномерное. Плотность ЦП – 3–7 (в среднем 4,8) генеративных особей на 1 кв. м; 2) Куйбышевский р-н, в 4 км северо-западнее х. Крюкова (Лысогорское с. п.), правый коренной берег р. Тузлов, балка Ершова, каменистая степь, асс. *Stipa pulcherrima*, массово, 18.05.2024. Площадь ЦП – около 10 тыс. кв. м, плотность – 9–13 (в среднем 10,8) генеративных особей на 1 кв. м. Размещение особей более или менее равномерное; 3) Матвеево-Курганский р-н, 2,9 км юго-восточнее х. Авило-Фёдоровка (Алексеевское с. п.), правый коренной берег р. Крынки, пересеченный многочисленными балками, дерновиннозлаковая степь, асс. *Stipa pulcherrima* + *Festuca valesiaca*, массово, 24.05.2024. Площадь ЦП – около 14 тыс. кв. м, размещение особей равномерное. Плотность на 1 кв. м составляет 8,5 (7–10) шт., из которых генеративных 6,2 (4–8), прегенеративных 2,3 (1–6) шт.; 4) Неклиновский р-н, западная окраина с. Васильево-Ханжоновка (Васильево-Ханжоновское с. п.), правый коренной берег р. Мокрый Еланчик, устье балки Торбина, дерновиннозлаковая степь, асс. *Stipa pulcherrima* + *Festuca valesiaca*, массово, 01.06.2024. Площадь ЦП – 7,5 тыс. кв. м, особи распределены равномерно. Плотность на 1 кв. м составляет 8,6 (7–11) шт., из которых генеративных 6,1 (4–10), прегенеративных 2,5 (2–4) шт.; 5) Неклиновский р-н, 2,2 км к северо-востоку от ст. Морская (Приморское с. п.), балка Манучкина, участок водораздела по правому борту балки, разнотравно-дерновиннозлаковая степь, асс. *Stipa lessingiana* + *Festuca valesiaca* + степное разнотравье, рассеянно, 01.06.2024. Общая площадь ЦП – 25–30 кв. м, размещение диффузно-контагиозное, в местах концентрации плотность в среднем 0,9 (0–3) особей на 1 кв. м. Численность очень незначительна (12–14 генеративных экземпляров). Данные Карасёвой Т. А.

***Stipa zaleskii* Wilensky ex P. A. Smirn.** 1) Куйбышевский р-н, в 4 км северо-западнее х. Крюкова (Лысогорское с. п.), правый коренной берег р. Тузлов, балка Ершова, каменистая степь, асс. *Stipa zaleskii*, массово, 18.05.2024. Площадь ЦП – около 1200 кв. м, размещение особей более или менее равномерное. Плотность ЦП – 2–13 (в среднем 7,4) генеративных особей на 1 кв. м; 2) Матвеево-Курганский р-н, 3,2 км юго-восточнее х. Иваново-Ясиновка (Большекирсановское с. п.), правый коренной берег балки Дубовой, плакорный участок, дерновиннозлаковая степь, асс. *Stipa pulcherrima* + *Stipa tirsia*, массово, 18.05.2024. Площадь ЦП – около 2 тыс. кв. м, размещение особей равномерное. Плотность на 1 кв. м составляет 8,9 (5–14) шт., из которых генеративных 7,6 (5–12), прегенеративных 1,3 (0–3) шт. 3) Матвеево-Курганский р-н, 1,7 км северо-западнее х. Авило-Фёдоровка (Алексеевское с. п.), правый коренной берег р. Крынки, пересеченный многочисленными балками, дерновиннозлаковая степь, асс. *Stipa tirsia*, массово, 24.05.2024. Площадь ЦП – около 500 кв. м, размещение особей равномерное. Плотность на 1 кв. м составляет 8,6

(7–12) шт., из которых генеративных 6,8 (5–10), прегенеративных 1,8 (1–3) шт. 4) Мясниковский р-н, 1 км к северо-востоку от х. Недвиговка (Недвиговское с. п.), край водораздела, примыкающий к правому склону балки. ООПТ категории охраняемый природный объект «Каменная балка», разнотравно-ковылково-крупнокобыльная степь, асс. *Stipa zalesskii* + *Stipa lessingiana* + петрофильно-степное разнотравье, массово, 24.05.2024. Общая площадь ЦП – 2000 – 2200 кв. м, распределение особей диффузное, плотность ЦП среднем – 4 (3–5) генеративных растения на 1 кв. м. Численность – 7–9 тыс. особей. Данные Карасёвой Т. А.; 5) Мясниковский р-н, около 2,2 км северо-восточнее х. Недвиговка (Недвиговское с. п.), правый склон балки Каменная, на склоне поперечного отворшка. ООПТ категории охраняемый природный объект «Каменная балка», разнотравно-кустарниково-дерновиннозлаковая степь, асс. *Stipa zalesskii* + *Caragana frutex* + степное разнотравье, массово, 24.05.2024. Представлена несколькими фрагментами, суммарная площадь которых – не менее 500 кв. м. Среднее общее число растений на 1 кв. м – 10 (от 7 до 15), в том числе 8,8 генеративных (6–12) и 1,2 прегенеративных (0–3). Общая численность ЦП – около 4–4,5 тыс. особей. Данные Карасёвой Т. А.

Thymus calcareus Klovov et Des.-Shost. s. l. 1) Матвеево-Курганский р-н, 1,5 км юго-западнее х. Иваново-Ясиновка (Большекирсановское с. п.), правый берег р. Ясиновка, верхняя часть склона, выходы мела, тимьянник, асс. *Thymus calcareus* + *Hedysarum grandiflorum* + *Jurinea multiflora*, обильно, 24.05.2024. Площадь ЦП – около 5 тыс. кв. м, особи распределены диффузно-контагиозно. Плотность ЦП – 1–3 парцелл на 1 кв. м (в среднем 1,9 шт.); 2) Матвеево-Курганский р-н, 3,7 км юго-восточнее х. Иваново-Ясиновка (Большекирсановское с. п.), правый коренной берег балки Дубовой, пологий приводораздельный склон южной экспозиции, тимьянник, асс. *Onosma tanaitica* + *Thymus calcareus* + петрофитное разнотравье, обильно, 24.05.2024. Площадь ЦП – около 500 кв. м, размещение особей контагиозное. Плотность ЦП – 2–4 парцелл на 1 кв. м (в среднем 2,7 шт.). Численность отдельных мелких ЦП варьирует от нескольких десятков до нескольких сотен особей; 3) Неклиновский р-н, юго-западнее с. Большая Неклиновка (Большенеклиновское с. п.), правый берег р. Миус, верхняя часть склона балки Платонова вблизи её устья. ООПТ категории охраняемый ландшафт Миусский склон, каменистая степь, асс. *Stipa lessingiana* + *Jurinea multiflora* + петрофитное разнотравье, изредка, 24.05.2024. Площадь ЦП – около 500 кв. м, размещение особей контагиозное, пятнами. Плотность ЦП составляет 1–6 парцелл на 1 кв. м (в среднем 3,0 шт.).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате работы установлено, что для 35 видов грибов и растений новыми являются 81 местонахождение, не учтённое в действующей КК РО [1], в том числе 25 местонахождений 10 видов, занесённых в КК РФ [8]. По итогам мониторинга число растительных объектов КК РО (грибов и растений) на обследуемой территории увеличилось на 5 видов, т. е. на 4,8 %. Из сумчатых грибов впервые выявлено 3 вида лишайников (*Cladonia magyarica*, *Flavoparmelia caperata*, *Xanthoparmelia stenophylla*) и 1 вид макромикетов (*Sarcosphaera coronaria*), а также 1 вид из покрытосеменных (*Aegonychon purpureocaeruleum*) Для всех районов

исследования также увеличилось число произрастающих на их территории видов грибов и растений, занесенных в КК РО (табл. 1).

Из данных табл. 1 следует, для всех районов исследования по итогам мониторинга текущего года наблюдается абсолютный и относительный прирост перечня растительных объектов КК РО. Так, он составляет (в порядке убывания абсолютного числа):

- Куйбышевский р-н – на 5 видов, или на 12,2 %;
- Матвеево-Курганский р-н – на 4 вида, или на 10,5 %;
- Мясниковский р-н – на 3 вида, или на 8,3 %;
- Азовский р-н – на 2 вида, или на 5,4 %;
- Неклиновский р-н – на 1 вид, или на 3,1 %.

Таблица 1

Число видов в основных макротаксонах в Красных книгах Ростовской обл. и РФ на территориях, обследуемых в 2024 г. районов.^{1,2}

Макротаксон	Всего видов	Районы, число видов				
		АЗ	КУ	МК	МЯ	НЕ
Сумчатые грибы (лишайники и макромицеты)	8/12	5/6	3/6	3/4	2/5	–
в т. ч. в КК РФ	0/1	–	–	–	0/1	–
Базидиальные грибы (макромицеты)	5/5	2/2	–	2/2	–	2/2
в т. ч. в КК РФ	1/1	1/1	–	1/1	–	–
Моховидные	9/9	1/1	0/1	1/2	6/6	1/1
в т. ч. в КК РФ	1/1	–	–	–	1/1	–
Хвощевидные	2/2	1/1	–	–	–	1/1
Папоротниковидные	2/2	1/1	–	–	1/1	–
Покрытосеменные	73/74	27/28	38/39	32/34	27/27	28/29
в т. ч. в КК РФ	18/18	7/7	10/10	10/10	8/8	7/7
Всего видов	99/104	37/39	41/46	38/42	36/39	32/33
в т. ч. в КК РФ	20/21	8/8	10/10	11/11	9/10	7/7

Примечание: 1) административные районы: АЗ – Азовский, КУ – Куйбышевский, МК – Матвеево-Курганский, МЯ – Мясниковский, НЕ – Неклиновский р-ны; 2) в графах таблицы в числителе – число видов по данным КК РО (2024), в знаменателе – по результатам работ 2024 г.

Как уже указывалось выше, для обследуемой территории впервые были найдены 5 видов, не отмеченных в КК РО [1] ни в одном из 5-ти районов. Эти находки были сделаны в Азовском (2 вида), Куйбышевском (2) и Мясниковском (1) р-нах. Ниже кратко прокомментирована ценность новых находок с указанием районов, которые должны быть включены в ареал соответствующих видов в области при подготовке очередного издания КК РО.

1. *Cladonia magyarica* – Кладония мадьярская. В КК РО лишайник приведен как спорадически встречающийся во многих районах области вид: Белокалитвинском

(х. Богураев: урочище Чёрная балка; х. Крутинский), Боковском (ст-ца Боковская; х. Горбатов: балки Крайняя и Караичева; х. Дуленков), Верхнедонском (ст-ца Казанская), Волгодонском (х. Мокросолёный: Сальская дача), Каменском (х. Уляшкин), Кашарском (правобережье р. Яблоновой: с. Каменка, х. Будановка), Красносулинском (ст-ца Владимировская: балка Огибы; х. Дудкино; х. Зайцевка: по р. Кундрючьей), Милютинском (сл. Маньково-Берёзовская: балка Рассыпная; х. Павловка: балка Липовая), Обливском (х. Артёмов), Октябрьском (ст-ца Бессергеновская), Орловском (п. Рунный; п. Стрепетов: лиман Голый), Родионово-Несветайском (х. Маяки), Тарасовском (сл. Александровка: урочище Гора Городище), Усть-Донецком (Нижнекундрюченский песчаный массив: х. Мостовой, ст-ца Усть-Быстрианская), Цимлянском (ст-ца Хорошевская: балка Бол. Буерак; х. Паршиков: балка Вязовая), Чертковском (с. Тихая Журавка), Шолоховском (ст-ца Базковская; ст-ца Вёшенская; х. Белогорский) р-ны (RV). В своей совокупности новые находки *Cladonia magyarica* в Куйбышевском р-не заполняют разрыв между местонахождениями на севере (по Среднему Дону) и центре (Донецкий кряж) области, что позволяет ожидать и другие находки вида в южных районах области.

2. *Flavoparmelia caperata* – Флавопармелия козлиная. В КК РО лишайник приведен для единичного местонахождения в Аксайском р-не (ст-ца Ольгинская), но без точной герпривязки [RV; 9]. Этот вид, впервые включен в КК РО с категорией статуса редкости: 4 – Неопределённый по статусу вид. В текущем году *Flavoparmelia caperata* найдена на стволах ясеня пенсильванского в составе искусственных лесонасаждений на территории охотничьего угодья «Александровский производственный опытно-охотничий участок» в Азовском р-не. Эта находка текущего года крайне важна, т.к. позволяет уточнить реальный ареал вида в области и оценить состояние ценопопуляций.

3. *Xanthoparmelia stenophylla* – ксантопармелия узколистная. В КК РО лишайник впервые включен в КК РО (2024). В Ростовской обл. выявлен в Белокалитвинском (окрестности п. Синегорского), Каменском (х. Поповка) и Красносулинском (х. Малая Гнилуша) р-нах и г. Шахты [RV; 9]. В текущем году *Xanthoparmelia stenophylla* выявлена в Куйбышевском р-не в составе каменистой степи, на выходах глинистого сланца. Новая находка *Xanthoparmelia stenophylla* в Куйбышевском р-не дополняет ареал вида в области и указывает на приуроченность вида к отрогам Донецкого кряжа в западной части области.

4. *Sarcosphaera coronaria* – Саркосфера корончатая. В Ростовской обл. вид достоверно известен из единственного местонахождения в Боковском р-не (окрестности п. Яблоновского), возможно произрастание в Орловском р-не (устные сообщения, гербарные сборы отсутствуют) [LE]. Новая находка в Мясниковском р-не является вторым достоверным местообитанием в области. Оба местообитания значительно удалены друг от друга, что позволяет ожидать находки вида в других районах области. В связи с этим новая находка *Sarcosphaera coronaria* представляет не только созологический, но и научный интерес. Вероятно, в результате будущих поисков разрыв между местонахождениями вида будет более или менее заполнен.

5. *Aegonychon purpureocaeruleum* – Эгонихон пурпурно-голубой. В Ростовской обл. встречается на восточной границе ареала (ксеротермический реликт). Отмечен в

Красносулинском (северо-западнее х. Калиновка: Грушевая балка) и Усть-Донецком р-нах [RV, RWBG, 1]. В новом местонахождении в Азовском р-не *Aegonuchon purpuriscaeruleum* произрастает в составе опушечного сообщества между просеками на территории охотничьего угодья «Александровский производственный опытно-охотничий участок». Это очень значимая находка, находящаяся на значительном удалении от основного ареала вида в области, дополняющая линию реликтовых эксклавов ареала на Восточно-Европейской равнине.

Ниже особо названы 6 новых видов, приводимых впервые для отдельных районов обследуемой территории (2 – из лишайников, 1 – из моховидных и 3 – из покрытосеменных). Это следующие виды:

Ramalina farinacea – для Куйбышевского, Матвеево-Курганского, Мясниковского р-нов (в КК РО [1] приведён для Азовского р-на);

Ramalina fraxinea – для Мясниковского р-на (в КК РО [1] приведён для Азовского р-на);

Fontinalis antipyretica – для Матвеево-Курганского р-на (в КК РО [1] приведён для Мясниковского р-на);

Elytrigia stipifolia – для Куйбышевского р-на (в КК РО [1] приведён для Матвеево-Курганского р-на);

Erucastrum cretaceum – для Матвеево-Курганского р-на (в КК РО [1] приведён для Куйбышевского р-на);

Polygala sibirica – для Матвеево-Курганского и Неклиновского р-нов (в КК РО [1] приведён для Куйбышевского р-на);

Прочие находки представляют интерес для обследуемых юго-западных районов и для области в целом, расширяя и/или уточняя характер распространения растительных объектов КК РО. Они перечислены выше.

В табл. 2 обобщены данные о числе новых местонахождений растительных объектов КК РО в отдельных районах на обследуемой в отчётном году территории.

Таблица 2

Число новых местонахождений видов, занесенных в КК РО и КК РФ, на обследуемой в 2024 г. территории

Административные районы	КК РО, 2024 [1]		КК РФ, 2024 [8]	
	новые местонахождения		новые местонахождения	
	число видов	число местонахождений	число видов	число местонахождений
Азовский	3	4	–	–
Куйбышевский	17	30	7	12
Матвеево-Курганский	13	21	5	7
Мясниковский	7	10	2	3
Неклиновский	9	16	2	3
Итого по всем районам:	49	81	16	25

Таким образом, новые находки существенно дополняют информацию о характере распространения занесенных в ККРО [1] видов грибов и растений как на территории исследования, так и в Ростовской области в целом. Эти новые материалы будут использованы при подготовке следующего издания КК РО.

Авторы выражают благодарность Карасёвой Т. А. (доцент кафедры ботаники ЮФУ) за помощь в полевых исследованиях.

Исследования проводились при финансовой поддержке Минприроды Ростовской области (Государственный контракт №Ф2024.017 от 18.03.2024 г.).

Список литературы

1. Красная книга Ростовской области. Т. 2. Растения и грибы. / Министерство природных ресурсов и экологии Ростовской области; О. Н. Дёмина, Ю. В. Дзигунова, О. Ю. Ермолаева [и др.]; научные редакторы: Е. Э. Мучник [и др.]; редакционная коллегия: С. Н. Бодряков – заместитель Губернатора Ростовской области [и др.]. – Издание 3-е. – Ростов-на-Дону; Белгород: КОНСТАНТА, 2024. – 472 с.
2. Молодкин П. Ф. Равнины Нижнего Дона. / Молодкин П. Ф. – Ростов-на-Дону: Изд-во Рост. ун-та, 1980. – 141 с.
3. Сафронов И. Н. Геоморфология Северного Кавказа и Нижнего Дона. / Сафронов И. Н. – Ростов-на-Дону: Изд-во Рост. ун-та, 1987. – 104 с.
4. Хрусталёв Ю. П. Климат и агроклиматические ресурсы Ростовской области. / Хрусталёв Ю. П., Василенко В.Н., Свисюк И.В. и др. – Ростов-на-Дону: Батайское кн. изд-во, 2002. – 184 с.
5. Гаврилюк Ф. Я. Принципиальная схема агропочвенного районирования Ростовской области / Гаврилюк Ф. Я. // Почвоведение. – 1956. – № 7. – С. 92–101.
6. Лавренко Е. М. Степи Евразии. / Лавренко Е. М., Карамышева З. В., Никулина Р. В. – Л.: Наука, 1991. – 146 с.
7. Лавренко Е. М. Характеристика степей как типа растительности / Лавренко Е. М. – Растительность европейской части СССР. – Л.: Наука, 1980. – С. 203–206.
8. Красная книга Российской Федерации. Растения и грибы / Министерство природных ресурсов и экологии Российской Федерации [и др.]; ответственный редактор: доктор биол. наук Д. В. Гельтман. – 2-е офиц. изд. – Москва: ВНИИ «Экология», 2024. – 944 с.
9. Мучник Е. Э. К формированию раздела «Лишайники» третьего издания Красной Книги Ростовской области / Мучник Е. Э., Ермолаева О. Ю. // Электронный научно-образовательный журнал ВГСПУ «Грани познания». – 2023. – № 5(88). – С. 75–79. <http://grani.vspu.ru/jurnal/93>

NEW FINDINGS OF RARE PLANT AND MUSHROOM SPECIES IN THE SOUTH-WEST OF ROSTOV REGION

Ermolaeva O. Yu.¹, Rogal L. L.¹, Shmaraeva A. N.¹, Muchnik E. E.²

¹*Southern Federal University, Rostov-on-Don Russia, Russia*

²*Institute of Forestry Science, Russian Academy of Sciences, Moscow region, Odintsovo, Russia*

E-mail: oermolaeva@sfedu.ru

This article presents data on new locations of rare and protected species of plants and fungi in the southwestern districts of the Rostov Region — Azovsky, Kuibyshevsky,

Matveyevo-Kurgansky, Myasnikovsky and Neklinovsky. The study area is located in the southwestern part of the Rostov Region on the southern macroslope of the Donetsk Ridge, which passes into the North-Azov accumulative plain. These areas form a spatially compact group, located around the Taganrog Bay of the Sea of Azov from the borders of the Donetsk People's Republic and the Lugansk People's Republic in the north and west to the Krasnodar Territory in the south. From the east, the study area borders on the Rodiono-Nesvetaisky, Aksaysky and Kagalnitsky districts of the Rostov Region. During our research, 81 new locations of 35 species of plants and fungi (including lichens) not included in the third edition of the Red Book of the Rostov Region were identified, including 25 locations of 10 species listed in the Red Book of the Russian Federation.

Based on the monitoring results, the number of fungi and plants included in the Red Book of the Rostov Region in the study area increased by 5 species, i.e. by 4.8%. Of the marsupial fungi, 3 species of lichens (*Cladonia magyarica*, *Flavoparmelia caperata*, *Xanthoparmelia stenophylla*) and 1 species of macromycetes (*Sarcosphaera coronaria*), as well as 1 species of angiosperms (*Aegonychon purpureocaeruleum*) were identified for the first time in this area. These finds were made in the Azov (2 species), Kuibyshevsky (2) and Myasnikovsky (1) districts.

New finds of *Cladonia magyarica* in the Kuibyshevsky district fill the gap between the localities in the north (along the Middle Don) and the center (Donetsk Ridge) of the region, which allows us to expect other finds of the species in the southern areas of the Rostov Region. *Flavoparmelia caperata* was found on the trunks of *Fraxinus pennsylvanica* in artificial forest plantations in the Azov district. *Xanthoparmelia stenophylla* was found in the Kuibyshevsky district in the rocky steppe, on the outcrops of clay shale. The new find of *Xanthoparmelia stenophylla* in the Kuibyshevsky district complements the range of the species in the region and indicates that the species is confined to the spurs of the Donetsk Ridge in the western part of the region. The new find of *Sarcosphaera coronaria* in the Myasnikovsky district is the second reliable habitat of the species in the region. Both habitats are significantly distant from each other, which allows us to expect the species to be found in other areas of the region.

Aegonychon purpureocaeruleum in a new location in the Azov region grows as part of a forest edge community between clearings on the territory of a hunting ground. This is a very significant find, located at a significant distance from the main range of the species in the region, complementing the line of relic exclaves of the range on the East European Plain.

Thus, new finds of rare species of mushrooms and plants significantly supplement information on the nature of the distribution of rare species both in the study area and in the Rostov region as a whole. These new materials will be used in preparing the next edition of the Red Book of the Rostov Region.

Keywords: flora, rare and endangered plants, monitoring, floral finds, Red Book, Rostov region.

References

1. *The Red Book of the Rostov region: Plants and fungi*, 472 p. (Ministry of Natural Resources of the Rostov region, 2024).
2. Molodkin P. F. *Plains of the Lower Don*, 141 p. (Rostov-on-Don: Publishing House of Growth. un-ta, 1980).
3. Safronov I. N. *Geomorphology of the North Caucasus and the Lower Don*, 104 p. (Rostov-on-Don: Publishing House of Rostov University, 1987).
4. Khrustalev Yu. P., Vasilenko V. N., Svisyuk I. V. et al. *Climate and agro-climatic resources of the Rostov region*, 184 p. (Rostov-on-Don: Batay Book Publishing House, 2002).
5. Gavrilyuk F. Ya. Schematic diagram of agro-soil zoning of the Rostov region. *Soil Science*. **7**, 92 (1956).
6. Lavrenko E. M., Karamysheva Z. V., Nikulina R. V. *Steppes of Eurasia*, 146 p (L.: Nauka, 1991).
7. Lavrenko E. M. *Vegetation of the European part of the USSR*, p. 203 (L.: Nauka, 1980).
8. *The Red Book of the Russian Federation (Plants and fungi)*, 855 p. (M.: VNII «Ecology», 2024).
9. Muchnik E. E., Ermolaeva O. Yu. Y. To the formation of the section «Lichens» of the third edition of the Red Book of the Rostov region. *Grani cognition*. **5**(88), (2023). <http://grani.vspu.ru/jurnal/93>

УДК 582.71

DOI 10.29039/2413-1725-2025-11-2-70-84

КОЛЛЕКЦИЯ РОДА *CRATAEGUS* L. ПОЛЯРНО-АЛЬПИЙСКОГО БОТАНИЧЕСКОГО САДА-ИНСТИТУТА ИМ. Н. А. АВРОРИНА: ИСТОРИЯ И СОВРЕМЕННОСТЬ

Зотова О. Е., Гончарова О. А.

**Федеральный исследовательский центр «Кольский научный центр» РАН,
Полярно-альпийский ботанический сад-институт им. Н.А. Аврорина, Апатиты, Россия
E-mail: ol-sha@mail.ru**

Статья содержит данные о результатах интродукции представителей рода *Crataegus* L. в Полярно-альпийском ботаническом саду-институте (ПАБСИ) (г. Апатиты) с 1947 года. Согласно современной номенклатуре названий таксонов в ПАБСИ с 1947 по 2021 гг. в интродукционный эксперимент было введено 86 таксонов. Большая часть образцов (98 %) для интродукционного эксперимента была получена семенным материалом. Основная часть растений (84 %) представлена циркумбореальной флорой. Представители этой флористической области имели наибольшую всхожесть семян, которая составила 48,5 %. В настоящее время коллекция боярышников ПАБСИ содержит 30 образцов 23 таксонов, из которых 22 вида и 1 форма, что составляет 10,5 % от общего числа испытанных образцов и 26,7 % от общего числа испытанных видов боярышников. Согласно многолетним фенологическим данным период вегетации длится от 97 до 125 дней. Для большинства изученных видов характерна высокая зимостойкость. Виды, характеризующиеся обмерзанием побегов до снежного покрова или полным вымерзанием растения не обнаружены. В условиях Кольской Субарктики некоторые виды боярышников обильно цветут и плодоносят. К наиболее устойчивым в культуре видам боярышников, интродуцированным в Кольское Заполярье, можно отнести *C. flabellata*, *C. chlorosarca*, *C. dahurica*, *C. maximowiczii* и *C. sanguinea*, что позволяет рекомендовать их к широкому использованию в зеленом строительстве.

Ключевые слова: боярышник, таксон, интродукция, Кольское Заполярье, зимостойкость, цветение, плодоношение.

ВВЕДЕНИЕ

Ботанические сады обладают значительным объемом информации по развитию растений в условиях интродукции, что позволяет определять наиболее перспективные виды. Одной из основных задач ботанических садов является создание и поддержка коллекций растений ex-situ.

Род *Crataegus* L. включает, по разным источникам, от 250–300 [1] до 1250–1550 видов растений [2, 3], которые с давних пор являются объектами для интродукции. Высокая декоративность растений рода *Crataegus* во время цветения и плодоношения позволяет широко использовать их в озеленении населенных пунктов. Впервые цветение наблюдается в возрасте 10–15 лет. Цветение отмечается после распускания листвы. Соцветия сложные щитко- или зонтиковидные, располагаются на коротких боковых побегах текущего года. Плоды съедобные, яблокообразные [3]. Созревание

плодов наблюдается с августа по октябрь. Растения рода *Crataegus* обладают ценными лекарственными и декоративными качествами [4–8].

Виды рода *Crataegus* распространены в умеренных и субтропических широтах северного полушария. Согласно флористическому районированию Земного шара [8] ареал рода *Crataegus* находится в пределах Голарктического флористического царства. Максимального видового разнообразия он достигает в восточной части Северной Америки. Американские виды составляют примерно 2/3 всех видов рода. В Восточном полушарии наиболее богаты видами территории Юго-Восточной Европы (включая Крым), Турции и Кавказа. На Кольском полуострове боярышники в естественных растительных сообществах отсутствуют, но в культуре встречаются, при этом не требуют значительного ухода.

Живые коллекции представителей рода *Crataegus* в настоящее время многочисленны, они представлены в ботанических садах России и за рубежом [10, 11]. Однако вопрос об интродукции боярышников в условиях Заполярья недостаточно изучен и представлен в публикациях.

В Полярно-альпийском ботаническом саду коллекция боярышников была заложена в 1947 г. Пополнение коллекции проходило в течение всего периода из разных ботанических садов и естественных мест произрастания России и из-за рубежа.

Сведения о результатах интродукции боярышников в ПАБСИ содержатся в работах Н. А. Аврорина [12], Л. И. Качуриной [13], Н. М. Александровой [14], Л. А. Казакова [15], О. Б. Гонтарь [16], О. А. Гончаровой [17, 18].

Цель работы – проанализировать историю коллекции рода *Crataegus* в ПАБСИ и на основании многолетних данных по интродукции представителей рода *Crataegus* выделить наиболее устойчивые и перспективные виды для природно-климатических условий Кольского Заполярья.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Полярно-альпийский ботанический сад-институт им. Н.А. Аврорина – самый северный в России, расположенный в 120 км севернее Полярного Круга (67°38' с.ш. и 33°37' в.д.). Территория экспериментального участка ПАБСИ располагается на предгорной равнине в 3 км на запад от г. Апатиты. Средняя месячная температура января-февраля не опускается ниже –13°C, в июле колеблется от +10°C до +14°C. В воздухе первые заморозки возможны в августе, последние заморозки наблюдаются в конце мая и июне. Таким образом, продолжительность периода без мороза составляет 50–70 дней. Максимальное количество осадков выпадает в летние и осенние месяцы, а минимальное – в весенние. Среднемноголетнее количество осадков составляет 500–600 мм/год. Устойчивый снежный покров держится от 180 до 200 дней, высота снежного покрова 60–80 см. Переход через +5°C среднесуточных температур наблюдается 31 мая. Вегетационный период составляет 90–120 дней [19].

Объектами исследования являются 286 образцов 86 таксонов рода *Crataegus* введенных в первичный интродукционный эксперимент с 1947 по 2021 гг. и 30 образцов 23 таксонов современной коллекции боярышников ПАБСИ (все образцы находятся в сходных почвенно-климатических условиях).

Названия видов растений рода *Crataegus* приведены согласно сайту "The World Flora Online" (режим доступа: <http://www.worldfloraonline.org>). По каждому таксону, представленному в коллекции, приведены сведения о происхождении образца, внутриродовое таксономическое положение, распространение в природе, продолжительность периода вегетации в условиях Кольского Заполярья, характеристики цветения, плодоношения и зимостойкости.

Фенологические наблюдения за растениями коллекции боярышников проводили в 2017–2024 гг. согласно методике Главного ботанического сада для ботанических садов [20].

Зимостойкость растений определяли по 7-балльной шкале [21]. Обилие цветения/плодоношения определяли по 5-ти балльной шкале [22].

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Интродукция боярышников в Полярно-альпийский ботанический сад началась в 1947 г. В период с 1947 по 1961 гг. в интродукционный эксперимент было введено 12 видов растений рода Боярышник. До настоящего времени ни один образец, введенный в этот период, не сохранился, так как продолжительность жизненного периода растений этого рода составляет около 70 лет. Наиболее интенсивное пополнение рода новыми видами происходило в 1985–1986 гг. и 1991–1992 гг., это связано с работами по подбору растений для создания дендрария северных и высокогорных видов. Третий пик введения новых таксонов отмечается в 1997–1998 гг., в период активного сотрудничества с Архангельским институтом леса и лесохимии по обмену растительным материалом. Четвертый период интенсивного пополнения коллекции боярышников приходится на 2015–2016 гг. и обусловлен пополнением утраченных перспективных таксонов и приобретением новых видов для расширения разнообразия коллекции древесных растений ПАБСИ. Максимальное количество образцов введено в испытание в 1986 г. (36 образцов) (рис. 1).



Рис. 1. Динамика интродукционного эксперимента рода *Crataegus*.

По данным посевных журналов за 75 лет в ПАБСИ было испытано 86 таксонов (79 видов, 2 формы, 3 вариации, 1 подвид, 1 сорт) в количестве 286 образцов (табл. 1).

Таблица 1
Перечень таксонов рода *Crataegus* L., введенных в культуру (1947-2021 гг.)

№ п/п	Название таксона	№ п/п	Название таксона
1	2	3	4
1	<i>Crataegus almaatensis</i> Pojark.#	44	<i>Crataegus marshallii</i> Eggl.#
2	<i>Crataegus altaica</i> f. <i>flava</i> Lange*	45	<i>Crataegus maximoviczii</i> C.K.Schneid.#
3	<i>Crataegus ambigua</i> A.K.Becker#	46	<i>Crataegus monogyna</i> Jacq.#
4	<i>Crataegus arnoldiana</i> Sarg.#	47	<i>Crataegus nigra</i> Waldst. & Kit.#
5	<i>Crataegus atrocarpa</i> E.L.Wolf*	48	<i>Crataegus nikitinii</i> Essenova*
6	<i>Crataegus azarolus</i> L.#	49	<i>Crataegus nitida</i> Sarg.#
7	<i>Crataegus basilica</i> Beadle#	50	<i>Crataegus orientalis</i> (Mill.) M.Bieb.#
8	<i>Crataegus berberifolia</i> Torr. & A.Gray#	51	<i>Crataegus osiliensis</i> Cinovskis*
9	<i>Crataegus blanchardii</i> Sarg.*	52	<i>Crataegus ovalifolia</i> Hornem. ex Koehne*
10	<i>Crataegus calpodendron</i> (Ehrh.) Medik.#	53	<i>Crataegus pectinata</i> C.K.Schneid.#
11	<i>Crataegus calycina</i> subsp. <i>Calycina</i> #	54	<i>Crataegus pedicellata</i> Sarg.#
12	<i>Crataegus canadensis</i> Sarg.#	55	<i>Crataegus pennsylvanica</i> Ashe#
13	<i>Crataegus caucasica</i> K.Koch#	56	<i>Crataegus pentagyna</i> Waldst. & Kit. ex Willd.#
14	<i>Crataegus chlorosarca</i> Maxim. f. <i>pyramidalis</i> *	57	<i>Crataegus persimilis</i> Sarg.#
15	<i>Crataegus chlorosarca</i> Maxim.#	58	<i>Crataegus pinnatifida</i> Bunge#
16	<i>Crataegus chrysocarpa</i> Ashe#	59	<i>Crataegus poloniensis</i> Cinovskis*
17	<i>Crataegus coccinioides</i> Ashe#	60	<i>Crataegus pontica</i> K.Koch#
18	<i>Crataegus collina</i> Chapm.#	61	<i>Crataegus pratensis</i> Sarg. #
19	<i>Crataegus columbiana</i> Howell#	62	<i>Crataegus pringlei</i> Sarg.#
20	<i>Crataegus crus-galli</i> L.#	63	<i>Crataegus pseudoheterophylla</i> Pojark.#
21	<i>Crataegus cuneata</i> Siebold & Zucc.#	64	<i>Crataegus pseudoheterophylla</i> subsp. <i>turcomanica</i> (Pojarkova) K.I.Chr.#

1	2	3	4
22	<i>Crataegus dahurica</i> Koehne ex CK Schneid.#	65	<i>Crataegus punctata</i> Jacq. var. lutea#
23	<i>Crataegus douglasii</i> Lindl.#	66	<i>Crataegus punctata</i> Jacq.#
24	<i>Crataegus ellwangeriana</i> Sarg.#	67	<i>Crataegus putnamiana</i> Sarg.#
25	<i>Crataegus faxonii</i> Sarg. #	68	<i>Crataegus remotilobata</i> Raikova ex Popov#
26	<i>Crataegus flabellata</i> (Bosc ex Spach) K.Koch#	69	<i>Crataegus rivularis</i> Nutt. ex Torr. & A.Gray#
27	<i>Crataegus flava</i> Sol.#	70	<i>Crataegus rhipidophylla</i> Gand.#
28	<i>Crataegus foetida</i> Ashe#	71	<i>Crataegus rhipidophylla</i> var. lindmanii (Hrabětová) K.I.Chr.#
29	<i>Crataegus hissarica</i> Pojark.#	72	<i>Crataegus robesoniana</i> Sarg.#
30	<i>Crataegus holmesiana</i> Ashe#	73	<i>Crataegus rusanovii</i> Cinovskis#
31	<i>Crataegus horrida</i> Medik.*	74	<i>Crataegus sanguinea</i> Pall.#
32	<i>Crataegus integriloba</i> Sarg.#	75	<i>Crataegus sanguinea</i> var. incisus*
33	<i>Crataegus intricata</i> Lange#	76	<i>Crataegus scabrida</i> Sarg.#
34	<i>Crataegus irrasa</i> Sarg.#	77	<i>Crataegus serrulata</i> Poir.*
35	<i>Crataegus jonesae</i> Sarg.#	78	<i>Crataegus songarica</i> K.Koch
36	<i>Crataegus kyrtostyla</i> Fingerh. ex Schltdl.#	79	<i>Crataegus stevenii</i> Pojark.#
37	<i>Crataegus laevigata</i> (Poir.) DC.#	80	<i>Crataegus submollis</i> Sarg.#
38	<i>Crataegus laevigata</i> Paul's Scarlet*	81	<i>Crataegus suborbiculata</i> Sarg.#
39	<i>Crataegus lucorum</i> Sarg.#	82	<i>Crataegus succulenta</i> Schrad. ex Link#
40	<i>Crataegus lumaria</i> Ashe (jackii)#	83	<i>Crataegus tianschanica</i> Pojark.#
41	<i>Crataegus macracantha</i> Lodd. ex Loudon#	84	<i>Crataegus turkestanica</i> Pojark.#
42	<i>Crataegus macrosperma</i> Ashe#	85	<i>Crataegus vailiae</i> Britton#
43	<i>Crataegus maritima</i> Cinovskis*	86	<i>Crataegus wattiana</i> Hemsl. & Lace#

Примечание: # – название таксона согласно "The World Flora Online" (режим доступа: <http://www.worldfloraonline.org>), * – виды, имеющие статус неразрешенных (неразрешенное название) или отсутствуют в списке (названия таких растений даны в том виде, в каком они поступили в коллекцию).

Привлечение (или поступление) исходного семенного материала происходило в результате семенного обмена с различными пунктами интродукции (ботаническими учреждениями) в России и за рубежом. В течение длительного периода интродукционных исследований в испытание введены 65 географических образцов. К североамериканским представителям рода *Crataegus* относятся 52 % испытанных

образцов, к европейской флоре – 21 %, к среднеазиатской – 18 % и к дальневосточной – 9 %. География мест происхождения образцов представлена на Рис. 2.

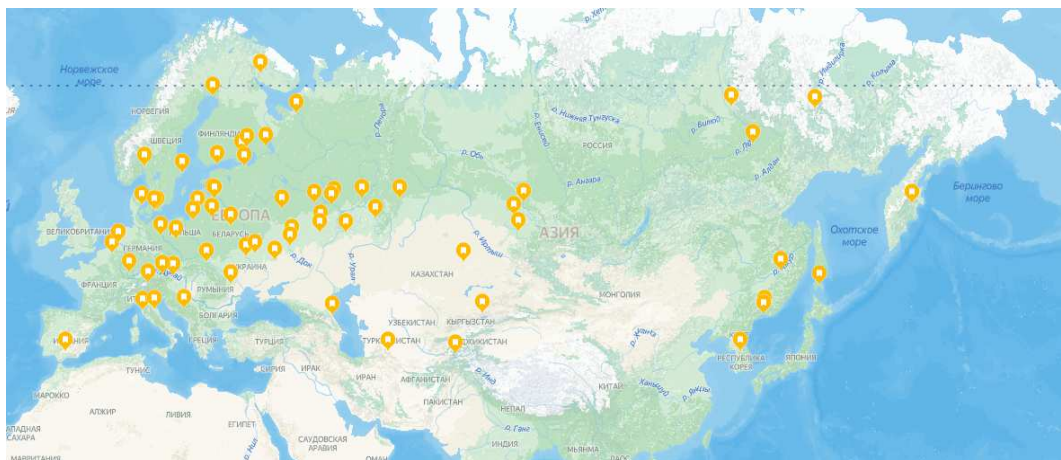


Рис. 2. География мест происхождения образцов рода *Crataegus* L.

Часто выделение объектов интродукции растений производится по флористическому принципу, обычно за основу берутся одна или несколько флористических областей. Согласно флористическому районированию Земли все географические зоны полученных образцов представляли следующие области: Циркумбореальная, Восточноазиатская, Средиземноморская, Ирано-Туранская. Все области относятся к голарктической флоре, которая охватывает всю Европу, внетропическую Северную Африку, всю внетропическую Азию и почти всю Северную Америку. Основная часть полученных образцов (84 %) представлена циркумбореальной флорой. Представители этой области имели наибольшую всхожесть семян, которая составила 48,5 % (рис. 3). Хорошая всхожесть отмечена у образцов ирано-туранской флоры – 42,9 %, которые поступили из интродукционных пунктов Махачкалы, Ашхабада, Алматы и других. Наименьшей всхожестью обладали представители восточноазиатской и средиземноморской областей, по 33,3 % соответственно.

Большая часть образцов (98 %) для интродукционного эксперимента была получена семенным материалом, из которых 235 образцов поступили в виде семян культурного происхождения и 46 образцов – в виде семян природного происхождения (рис. 4).



Рис. 3. Всхожесть семян образцов рода *Crataegus* L., согласно географическому происхождению

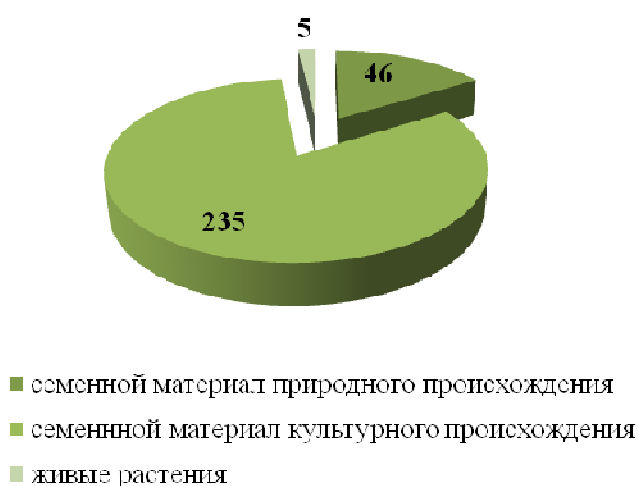
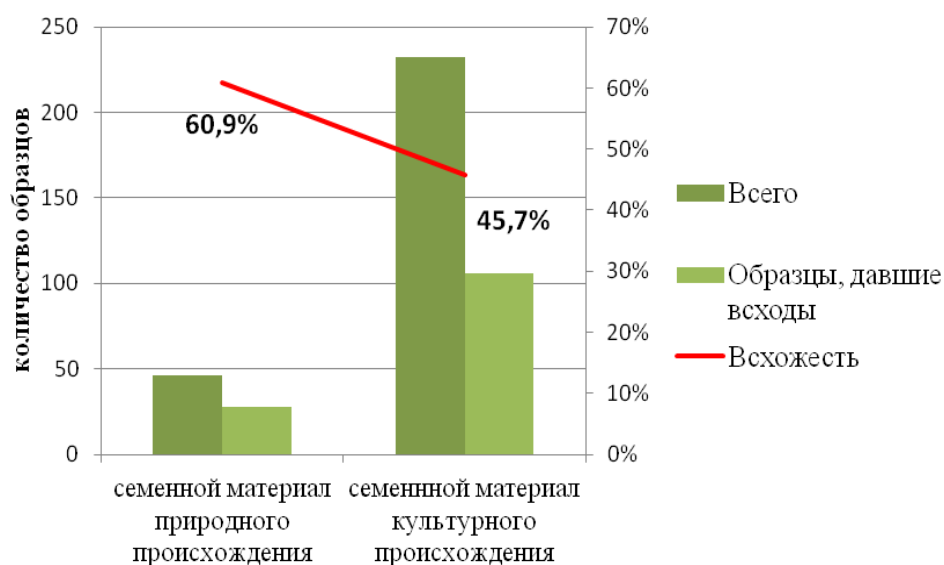


Рис. 4. Категории образцов, поступивших в коллекцию ПАБСИ.

Многолетний интродукционный эксперимент показал, что исходный семенной материал природного происхождения обладает большей всхожестью, которая составляет 60,9 %. Образцы, поступившие семенным материалом культурного происхождения, имели всхожесть 45,7 % (рис. 5).

Рис. 5. Всхожесть образцов рода *Crataegus* L. в ПАБСИ

По состоянию на 2024 г. коллекция рода *Crataegus* включает 22 вида и 1 форму (табл. 2). За историю интродукционного эксперимента в коллекции осталось 10,5 % от общего числа испытанных образцов и 26,7 % от общего числа испытанных видов боярышников.

Таблица 2

**Коллекция таксонов рода *Crataegus*
в Полярно-альпийском ботаническом саду-институте**

№ п/п	Наименование таксона	Происхождение материала, год	Естественный ареал	Продолжительность периода вегетации, дни	Обилие цветения, балл	Обилие плодоношения, балл	Зимостойкость, балл
1	2	3	4	5	6	7	8
1	<i>C. almaatensis</i> Б. алмаатинский	ск. г. Якутск, 2015	Средняя Азия	111±3,5	-	-	2
2	<i>C. arnoldiana</i> Б. Арнольда	ск. г. Липецк, 1998	Восток Северной Америки	119±7,2	-	-	3-4
3	<i>C. basilica</i> Б. великолепный	ск. г. Архангельск, 2004	Северо-восток Северной Америки	115±9,2	-	-	2

Продолжение таблицы 2

1	2	3	4	5	6	7	8
4	<i>C. canadensis</i> Б. канадский	ск г. Тростянец, 1985	Восточная часть Северной Америки	100±16,4	-	-	3
5	<i>C. chlorosarca</i> Б. зеленомясый	ск г. Архангельск, 1998	Камчатка, Приморье, Сахалин, Япония	105±5,2	3-4	3-4	1
		ск г. Архангельск, 1990					
		сд г. Ключи, 1982					
6	<i>C. chlorosarca</i> f. pyramidalica Б. зеленомясый ф. пира мидалная	ск г. Архангельск, 1998	Камчатка, Приморье, Сахалин, Япония	103±4,3	2-3	3	1
7	<i>C. chrysocarpa</i> Б. золотисто плодный	ск г. Линц (Австрия), 2015	Северная Америка, Канада	114±3,5	-	-	4
8	<i>C. cuneata</i> Б. китайский	ск г. Харьков, 1986	Китай	125±6,2	2-3	1	1-2
9	<i>C. dahurica</i> Б. даурский	сд г. Хабаровск, 1979	Юго- восточная часть Сибири, Приморья, Приамурье, Монголия, Северный Китай	105±5,4	3-4	3-4	1
		ск г. Барнаул, 2015					
10	<i>C. douglasii</i> Б. Дугласа	ск г. Архангельск, 1997	Север и восток США и юго- западные районы Канады	115±7,2	2-3	3	1
11	<i>C. flabellata</i> Б. вееровидный	ск. г. Санкт- Петербург, 1998	Северная Америка	110±4,2	4-5	4	1
		ск г. Архангельск, 2004					

КОЛЛЕКЦИЯ РОДА *CRATAEGUS* L. ПОЛЯРНО-АЛЬПИЙСКОГО...

Продолжение таблицы 2

1	2	3	4	5	6	7	8
12	<i>C. intricata</i> Б. переплетенный	ск г. Турку, 1977 ск г. Архангельск, 1998	Северо- восток Северной Америки	113±7,7	-	-	2-3
13	<i>C. laevigata</i> Б. обыкновенный	сд г. Калиниград, 1983	Западная и Центральная Европа, Северная Африка	124±5,3	2-3	1-2	1
14	<i>C. maximowiczii</i> Б. Максимовича	ск г. Архангельск. 1998	Сибирь и Дальний Восток	116±6,3	3-4	3-4	1
15	<i>C. monogyna</i> Б. однопестичный	ск г Клайпеда, 2017	Европейская часть России, Кавказ, Средняя Азия	107±3,5	-	-	2
16	<i>C. nigra</i> Б. черный	ск г. Архангельск, 1998	Венгрия, Словакия, Албания	118±7,8	1-2	2	1-2
17	<i>C. pedicellata</i> Б. шарлаховый	ск г. Пшемысль, 2015	Северная Америка	110±2,1	-	-	1
18	<i>C. pentagyna</i> Б. пяти пестичный	сд г. Махачкала, 2015	Юго- Восточная Европа, Западная Азия	107±7,8	-	-	1
19	<i>C. pinnatifida</i> Б. перисто надрезанный	ск г. Архангельск, 1997	Дальний Восток России, Корея, Северо- восточный Китай	125±7,9	4-5	2-3	1
20	<i>C. rusanovii</i> Б. Русанова	ск г. Архангельск, 1998	Средняя и Центральна я Азия	117±5,5	1-2	2	2-3
21	<i>C. sanguinea</i> Б. кроваво- красный	сд р. Дянышка Якутия, 1989 ск г. Йошкар- Ола, 2015 ск г. Архангельск, 1998	Западная и Восточная Сибирь, Средняя Азия	97±3,2	3-5	3-4	1

Продолжение таблицы 2

1	2	3	4	5	6	7	8
22	<i>C. submollis</i> Б. мягковатый	ск г. Саласпилс, 1977	Северо- восточная часть Северной Америки	113±9,6	-	-	2-3
23	<i>C. wattiana</i> Б. алтайский	ск г. Харьков, 1989	Центральна я Азия	124±4,4	3	3	1-2

В экстремальных условиях Кольской Субарктики вегетационный период существенно ограничен по времени, поэтому оценка продолжительности периода вегетации актуальна при введении в культуру в данном регионе. По многолетним данным длительность вегетация растений рода *Crataegus* варьирует от 97 до 125 дней. По классификации Александровой, Головкина (1978) короткой продолжительностью этого периода характеризовались *C. sanguinea*, *C. dahurica*, *C. canadensis*, *C. chlorosarca* и *C. monogyna*. Самая продолжительная вегетация отмечена у *C. cuneata*, *C. wattiana*, *C. laevigata*, *C. pinnatifida*. Среднее значение продолжительности вегетации всех изученных видов составляло $115 \pm 6,2$ дней.

Использование параметров, характеризующих особенности генеративного развития, расширяет оценку способности к адаптации интродуцированных растений. Не все таксоны коллекции характеризуются ежегодным цветением, у растений видов *C. arnoldiana*, *C. submollis*, *C. basilica*, *C. intricata*, *C. canadensis* цветение в условиях Кольской Субарктики отсутствуют, растения *C. rusanovii* и *C. nigra* характеризуются не ежегодным цветением, в неблагоприятные годы плодоношение может отсутствовать. В соответствии со шкалой В. Г. Каппера (1930) обилие цветения изучаемых видов боярышника оценено следующим образом: максимальные 5 баллов цветения по шкале оценки не характерны ни для одного из представленных видов. Высокая оценка цветения в 4 балла определена у видов *C. maximowiczii*, *C. pinnatifida*, *C. chlorosarca*, *C. dahurica*, *C. sanguinea* и *C. flabellate*. Более чем у 50 % видов, представленных в коллекции, наблюдалось слабое и среднее цветение.

Обильное плодоношение отмечено у образцов *C. flabellata*, *C. chlorosarca*, *C. dahurica*, *C. maximowiczii* и *C. sanguinea*. Единичные плоды или отсутствие плодоношения наблюдаются у *C. arnoldiana*, *C. canadensis*, *C. intricata*, *C. submollis*. Виды *C. almaatensis*, *C. chrysocarpa*, *C. monogyna*, *C. pedicellata* и *C. pentagyna* еще не вступили в стадию генеративного развития, т.к. цветение и плодоношение растений этого рода наступает в 10–15 лет. Остальные виды обладали средними и слабыми показателями плодоношения.

В условиях Кольской Субарктики некоторые виды боярышников хорошо и обильно цветут, что способствует более широкому использованию в озеленении населенных пунктов региона.

Растения представленных видов в основном обладают высокой зимостойкостью, у образцов видов *C. arnoldiana*, *C. canadensis*, *C. chrysocarpa* в разные годы наблюдалось обмерзание однолетних побегов или 2-летних и более

старых побегов. У растений видов *C. almaatensis*, *C. basilica*, *C. intricata*, *C. monogyna* и *C. submollis* обмерзает 50–100 % длины годичных побегов. Виды, характеризующиеся обмерзанием побегов до снежного покрова или полным вымерзанием растения не обнаружены. В целом, интродуцированные виды растений рода *Crataegus* в коллекции ПАБСИ успешно прошли период адаптации и обладают высокой зимостойкостью, ритм развития соответствует климатическим условиям Мурманской области.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Характер роста и развития растений-интродуцентов определяется как их наследственными особенностями, так и экологическими условиями места интродукции, что в совокупности влияет на успех интродукции.

В результате анализа данных установлено, что в период с 1947 по 2021 гг. в ПАБСИ проходили интродукционное испытание 86 таксонов, среди которых большую часть (45 видов) составляют представители североамериканской флоры. Наибольшей всхожестью обладают растения, полученные семенами природного происхождения (60,9 %) и представители Циркумбореальной области флористического районирования Земли.

В настоящее время коллекция боярышников ПАБСИ содержит 23 образца. По результатам исследования растения рода *Crataegus* являются перспективными для интродукции на Кольский Север. Интродуцированные образцы являются вполне жизнеспособными, успешно прошли период адаптации и обладают высокой зимостойкостью. У основной части образцов наблюдается регулярное цветение и плодоношение. К наиболее устойчивым в культуре видам боярышников отнесены *C. flabellata*, *C. chlorosarca*, *C. dahurica*, *C. maximowiczii* и *C. sanguinea*.

Работа выполнена на Уникальной научной установке «Коллекция живых растений Полярно-альпийского ботанического сада-института», рег. № 499394.

Список литературы

1. Уфимов Р. А. Род боярышник (*Crataegus* L., Rosaceae) во флоре Восточной Европы и Кавказа: диссертация ... кандидата биологических наук: 03.02.01 / Р. А. Уфимов – Санкт-Петербург, 2013. – 167 с.
2. Циновскис Р. Е. Боярышники Прибалтики / Р. Е. Циновскис. – Рига: Издательство «Зинатие», 1971. – 389 с.
3. Полетико О. М. Боярышник – *Crataegus* L. / О. М. Полетико // Деревья и кустарники СССР. – Т. 3. – М.-Л.: Изд-во АН СССР, 1954. – С. 514–577.
4. Бахтеев Ф. К. Важнейшие плодовые растения: Пособие для учителей / Ф. К. Бахтеев – Москва: Просвещение, 1970. – 351 с.
5. Губанов И.А. Дикорастущие полезные растения / И. А. Губанов, К. В. Киселева, В. С. Новиков. – 2-е изд., доп. – Москва : издательство МГУ, 1993 – 301 с.
6. Абышева Л. Н. Дикорастущие полезные растения России / Л. Н. Абышева, Л. М. Беленовская, Н. С. Бобылева [и др.]; отв. ред. А. Л. Буданцев, Е. Е. Лесиовская. – СПб.: СПХФА, 2001. – 663 с.
7. Коропачинский И. Ю. Древесные растения Азиатской России / И. Ю. Коропачинский, Т. Н. Встовская – Новосибирск: Изд-во СО РАН, филиал «Гео», 2002. – 707 с.

8. Li T. Biological properties and potential application of hawthorn and its major functional components: A review. / Li T., Fu S., Huang X., Zhang X., Cui Y., Zhang Z., Ma Y., Yu Q., Yang S., Li S. // *Journal of Functional Foods*. – 2022. – Volume 90. – 104988. DOI: 10.1016/j.jff.2022.104988
9. Тахтаджян А. Л. Флористические области земли / А. Л. Тахтаджян – Ленинград: Наука, Ленинградское отделение, 1978. – 248 с.
10. Вафин Р. В. Боярышники. Интродукция и биологические особенности / Р. В. Вафин, В. П. Путенихин. – М: Наука, 2003. – 224 с.
11. Бабич Н. А. Интродукция видов рода *Crataegus* L. в дендрологическом саду имени И. М. Стратоновича / Н. А. Бабич, Ю. В. Александрова – Архангельск: САФУ, 2023. – 160 с.
12. Аврорин Н. А. Переселение растений на полярный север: эколого-географический анализ / Н. А. Аврорин – Москва; Ленинград: Издательство Академии наук СССР, 1956. – 285 с.
13. Качурина Л. И. Результаты интродукции деревьев и кустарников в Полярно-альпийском ботаническом саду (1932–1956 гг.) / Л. И. Качурина, Н. М. Александрова // Переселение растений на Полярный Север: в 2 ч. Ч. 2: Результаты интродукционных работ в 1932–1956 гг. / отв. ред. Н. А. Аврорин. – Л.: Наука. Ленингр. отд-ние, 1967. – С. 27–66.
14. Александрова Н. М. Переселение деревьев и кустарников на Крайний Север / Н. М. Александрова, Б. Н. Головкин – Л.: Наука, 1978. – 116 с.
15. Казаков Л. А. Древесные растения Полярно-альпийского ботанического сада / Л. А. Казаков, Н. П. Даясова, А. Ф. Зайцева, Л. М. Лицкевич, А. А. Юшенкова – Апатиты: КНЦ РАН, 1993. – 187 с.
16. Гонтарь О. Б. Зеленое строительство в городах Мурманской области / О. Б. Гонтарь, В. К. Жиров, Л. А. Казаков, Е. А. Святковская, Н. Н. Тростенюк – Апатиты: Изд-во Кольского научного центра РАН, 2010. – 224 с.
17. Гончарова, О.А. Некоторые вопросы интродукции образцов *Crataegus* L. на Кольском Севере / О.А. Гончарова, Е.Ю. Полоскова, О.Е. Зотова, И.Н. Липпонен // Самарский научный вестник. – 2017. – Т. 6, № 2 (19). – С. 31–35.
18. Goncharova O. Trees and shrubs collection of Polar-Alpine Botanical Garden-Institute. / Goncharova O., Lipponen I., Poloskova E., & Zotova O. // *Sibbaldia: The International Journal of Botanic Garden Horticulture*. – 2020. – 19. DOI: 10.24823/Sibbaldia.2020.304
19. Семко А. П. Гидротермический режим почв лесной зоны Кольского полуострова. / А. П. Семко – Апатиты: КФ АН СССР, 1982. – 142 с.
20. Александрова М. С. Методика фенологических наблюдений в ботанических садах СССР / М. С. Александрова, Н. Е. Булыгин, В. Н. Ворошилов – М.: Изд-во ГБС АН СССР, 1975. – 28 с.
21. Лапин П. И. Оценка перспективности интродукции древесных растений по данным визуальных наблюдений / П. И. Лапин, С. В. Сиднева // Опыт интродукции древесных растений. – М.: Наука, 1973. – С. 7–67.
22. Каппер В. Г. Об организации ежегодных систематических наблюдений над плодоношением древесных пород / В. Г. Каппер // Труды по лесному опытному делу, 1930. – Вып. 8 – С. 130–139.

COLLECTION OF THE GENUS CRATAEGUS L. OF THE POLAR-ALPINE BOTANICAL GARDEN-INSTITUTE NAMED AFTER N. A. AVRORIN: HISTORY AND MODERNITY

Zotova O. E., Goncharova O. A.

***Federal Research Center "Kola Scientific Center" of the Russian Academy of Sciences, Polar-Alpine Botanical Garden-Institute named after N. A. Avrorin, Apatity, Russia
E-mail: ol-sha@mail.ru***

The article presents data on the results of the introduction of representatives of the genus *Crataegus* L. in the Polar Alpine Botanical Garden Institute (PABGI) (Apatity)

since 1947. The genus *Crataegus* is found in the temperate and subtropical zones of the northern hemisphere. According to the generally accepted classification of the zoning of the flora, the range of this genus is located within the Holarctic floral kingdom. The greatest species diversity is observed in the eastern part of North America. On the Kola Peninsula, hawthorn is absent from natural plant communities, but it is found in culture and does not require significant care. According to the modern nomenclature of taxa names, 86 taxa were introduced into the public domain from 1947 to 2021. During the period of the introduction studies, 65 geographical samples were included in the test. North American representatives of the genus *Crataegus* make up 52% of the tested samples, representatives of the European flora – 21%, Central Asian – 18% and Far Eastern – 9%. Most of the samples (98%) for the introduction experiment were obtained in the form of seeds. The initial seed material was obtained as a result of seed exchange with various points of introduction (botanical institutions) in Russia and abroad. The initial seed material of natural origin had a higher germination rate, which was 60.9%. The majority of plants (84%) were represented by circumboreal flora. Representatives of this floral region had the highest seed germination, which was 48.5%. Representatives of the East Asian and Mediterranean regions had the lowest germination rate - 33.3%, respectively. Currently, the PABSI hawthorn collection contains 30 specimens from 23 taxa, including 22 species and 1 form, which is 10.5% of the total number of tested specimens and 26.7% of the total number of tested hawthorn species. According to long-term phenological data, the growing season lasts from 97 to 125 days and is characterized as short. The average value of the growing season for all studied species was 115 ± 6.2 days. Most of the studied species are characterized by high winter hardiness. No species characterized by the freezing of shoots to snow cover or the complete freezing of the plant were found. In the conditions of the Kola Subarctic, some species of hawthorn bloom abundantly and bear fruit. Plants of the species *C. arnoldiana*, *C. submollis*, *C. basilica*, *C. intracatata* and *C. canadensis* do not bloom, plants of *C. rusanovii* and *C. nigra* are characterized by irregular flowering, and fruiting may be absent in unfavorable years. According to the results of the study, plants of the genus *Crataegus* are promising for introduction in the Kola North. The most resistant species of hawthorn in culture include *C. flabellata*, *C. chlorosarca*, *C. dahurica*, *C. maximowiczii* and *C. sanguinea*, which allows us to recommend them for widespread use in green construction.

Keywords: hawthorn, taxon, introduction, Kola Arctic, winter hardiness, flowering, fruiting.

References

1. Ufimov R. A. *Rod boyaryshnik (Crataegus L., Rosaceae) vo flore Vostochnoi Evropy i Kavkaza: dissertatsiya ... kandidata biologicheskikh nauk: 03.02.01, 167 s.* (Sankt-Peterburg, 2013).
2. Tsinovskis R. E., *Boyaryshniki Pribaltiki*, 389 s. (Riga: Izdatel'stvo «Zinatie», 1971).
3. Poletiko O. M. Boyaryshnik – *Crataegus* L., *Derev'ya i kustarniki SSSR*, **3**, 514 (1954).
4. Bakhteev F. K. *Vazhneishie plodovye rasteniya: Posobie dlya uchitelei*, 351 s. (Moskva: Prosveshchenie, 1970).
5. Gubanov I. A., Kiseleva K. V., Novikov V. S. *Dikorastushchie poleznye rasteniya*, 301 s. (Moskva : izdatel'stvo MGU, 1993).

6. Abysheva L. N., Belenovskaya L. M., Bobyleva N. S. *Dikorastushchie poleznye rasteniya Rossii*, 663 s. (SPb.: SPKhFA, 2001).
7. Koropachinskii I. Yu., Vstovskaya T. N. *Drevesnye rasteniya Aziatskoi Rossii*, 707 s. (Novosibirsk: Izd-vo SO RAN, filial «Geo», 2002).
8. Li T., Fu S., Huang X., Zhang X., Cui Y., Zhang Z., Ma Y., Yu Q., Yang S., Li S. Biological properties and potential application of hawthorn and its major functional components: A review. *Journal of Functional Foods*, **90**, 104988. (2022). DOI: 10.1016/j.jff.2022.104988
9. Takhtadzhyan A. L. *Floristicheskie oblasti zemli*, 248 s. (Leningrad: Nauka, Leningradskoe otделение, 1978).
10. Vafin R. V., Putenikhin V. P. *Boyaryshniki. Introduktsiya i biologicheskie osobennosti*, 224 s. (M.: Nauka, 2003).
11. Babich N. A., Aleksandrova Yu. V. *Introduktsiya vidov roda Crataegus L. v dendrologicheskom sadu imeni I. M. Stratonovicha*, 160 s. (Arkhangel'sk: SAFU, 2023).
12. Avrorin N. A. *Pereselenie rastenii na polyarnyi sever: ekologo-geograficheskii analiz*, 285 s. (Moskva; Leningrad: Izdatel'stvo Akademii nauk SSSR, 1956).
13. Kachurina L. I., Aleksandrova N. M. Rezul'taty introduktsii derev'ev i kustarnikov v Polyarno-al'piiskom botanicheskom sadu (1932-1956 gg.), *Pereselenie rastenii na Polyarnyi Sever*, **2** (2), 27 (1967).
14. Aleksandrova N. M., Golovkin B. N. *Pereselenie derev'ev i kustarnikov na Krainii Sever*, 116 s. (L.: Nauka, 1978).
15. Kazakov L. A., Dayasova N. P., Zaitseva A. F., Litskevich L. M., Yushenkova A. A. *Drevesnye rasteniya Polyarno-al'piiskogo botanicheskogo sada*, 187 s. (Apatity: KNTs RAN, 1993).
16. Gontar' O. B., Zhirov V. K., Kazakov L. A., Svyatkovskaya E. A., Trostenyuk N. N. *Zelenoe stroitel'stvo v gorodakh Murmanskoi oblasti*, 224 s. (Apatity: Izd-vo Kol'skogo nauchnogo tsentra RAN, 2010).
17. Goncharova O. A., Poloskova E. Yu., Zotova O. E., Lipponen I. N. Nekotorye voprosy introduktsii obraztsov Crataegus L. na Kol'skom Severe, *Samarskii nauchnyi vestnik*, **6**, **2**, 31 (2017).
18. Goncharova O., Lipponen I., Poloskova E., & Zotova O. Trees and shrubs collection of Polar-Alpine Botanical Garden-Institute. *Sibbaldia: The International Journal of Botanic Garden Horticulture*, 19 (2020) DOI: 10.24823/Sibbaldia.2020.304
19. Semko A. P. *Gidrotermicheskii rezhim pochv lesnoi zony Kol'skogo poluostrova*, 142 s. (Apatity: KF AN SSSR, 1982).
20. Aleksandrova M. S., Bulygin N. E., Voroshilov V. N. *Metodika fenologicheskikh nablyudenii v botanicheskikh sadakh SSSR*, 28 s. (M.: Izd-vo GBS AN SSSR, 1975)
21. Lapin P. I., Sidneva S. V. Otsenka perspektivnosti introduktsii drevesnykh rastenii po dannym vizual'nykh nablyudenii, *Opyt introduktsii drevesnykh rastenii*, **7** (1973).
22. Kapper V. G. Ob organizatsii ezhegodnykh sistemicheskikh nablyudenii nad plodonosheniem drevesnykh porod, *Trudy po lesnomu opytному delu*, **8**, 130 (1930).

УДК 612.282; 612.216.2

DOI 10.29039/2413-1725-2025-11-2-85-98

РЕСПИРАТОРНЫЕ РЕАКЦИИ НА ВВЕДЕНИЕ АДЕНОЗИНТРИФОСФАТА В ОБЛАСТЬ РЕТРОТРАПЕЦИЕВИДНОГО ЯДРА У КРЫС

Конашенкова А. Т., Ведясова О. А., Инюшкин А. Н.

*Самарский национальный исследовательский университет имени академика С. П. Королева,
Самара, Россия*

E-mail: o.a.vedyasova@gmail.com

Ретротрапещевидное ядро (РТЯ) играет ключевую роль в центральной хеморецепции, участвует в регуляции дыхания, обеспечивая центральный респираторный хеморефлекс в ответ на гиперкапнию и гипоксию. Активность нейронов РТЯ контролируется многими нейромедиаторными системами, среди которых до конца не установлена роль пуринаргических механизмов. В настоящем исследовании изучены изменения паттерна внешнего дыхания и биоэлектрической активности диафрагмальной мышцы при микроинъекциях АТФ, как агониста P2-рецепторов, в область РТЯ у наркотизированных крыс, дышащих атмосферным воздухом неизмененного газового состава. Показано, что в этих условиях воздействие АТФ на РТЯ усиливает внешнее дыхание и стимулирует инспираторную залповую активность диафрагмы. Полученные данные указывают на участие пуринаргической системы, в частности P2-рецепторов РТЯ, в регуляции дыхания в условиях нормоксии.

Ключевые слова: регуляция дыхания, ретротрапещевидное ядро, P2-рецепторы, аденозинтрифосфат (АТФ), микроинъекции, внешнее дыхание, электромиограмма диафрагмальной мышцы.

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время вопросы нейрохимической регуляции дыхания вызывают у исследователей особый интерес, что обусловлено задачей поиска новых методов профилактики и лечения респираторных заболеваний, связанных с поражением структур центральной нервной системы [1], а также необходимостью дальнейшего развития представлений о вкладе структур головного мозга [2], в том числе различных отделов центральной респираторной нейронной сети (РНС), в механизмы формирования ритма и паттерна дыхания [3]. Одним из отделов РНС, значение которых требует более глубокого изучения, является ретротрапещевидное ядро (РТЯ).

РТЯ представляет собой небольшую популяцию нейронов, идентификация которых долгое время была затруднена из-за их морфологической идентичности клеткам прилегающих структур дыхательного центра [4]. Точное местоположение в ростральной вентролатеральной медуллярной области и физиологическое значение РТЯ удалось установить благодаря экспрессии на поверхности цитоплазматических мембран его нейронов уникального набора маркеров. К ним относятся нейромедин В, калиевый канал TASK-2, протон-активируемый рецептор GPR4, транспортер

VGLUT2 и фактор транскрипции PNOX2B [4–6], которые обуславливают принадлежность РТЯ к хемочувствительным структурам мозга и его участие в регуляции дыхания [7]. Опыты на срезах продолговатого мозга новорожденных крыс показали, что сразу после рождения нейроны РТЯ характеризуются значительной импульсной активностью, что позволяет предполагать их вклад в механизм формирования первого вдоха [6]. Также было установлено, что у крыс гипоплазия РТЯ нарушает центральный хеморефлекс [8], а у человека генетические патологии нейронов данной области вызывают врожденный центральный гиповентиляционный синдром [9]. В настоящее время РТЯ рассматривается как важная структура вентролатеральной области мозгового ствола, которая входит в состав центральной РНС. Это ядро участвует в регуляции дыхательного ритма за счет связей с пейсмейкерными нейронами комплекса пре-Бетцингера [10] и в формировании оптимальных параметров легочной вентиляции, благодаря связям с премотормными нейронами РНС, тем самым выполняя важную гомеостатическую функцию [11].

Вовлечение РТЯ в центральный контроль за функцией дыхания опосредуется различными нейромедиаторными механизмами [12–14]. На данном этапе изучения РТЯ среди нейромедиаций, обеспечивающих его функционирование, вызывает интерес пуринергическая система, широко представленная в головном мозге, в том числе в структурах РНС. Исследование функций пуринергической системы в РНС очень актуально, особенно с учетом данных о потенциальном вкладе пуринома у недоношенных и новорожденных млекопитающих в формирование чувствительности к гипоксическому угнетению дыхания. Так, экспериментально доказано участие пуринома, в частности таких его компонентов, как АТФ и P2-рецепторы, в опосредовании возбуждающей вентиляционной реакции на гипоксическую стимуляцию в ряде отделов РНС, например, в комплексе пре-Бетцингера [15]. Однако в целом значение пуринергической сигнализации в деятельности разных дыхательных ядер изучено в недостаточной степени. Это относится и к РТЯ, где обнаружены секретируемые астроцитами и нейронами молекулы АТФ, активирующие прилегающие к ним нервные и глиальные клетки [16].

Сведения об участии пуринома РТЯ в регуляции дыхания весьма неоднозначны. По некоторым данным, инъекции АТФ в РТЯ усиливают дыхание и одновременно повышают кровяное давление при гипоксии, что объясняется в аспекте участия пуринергических механизмов в модуляции активности медуллярных хемосенсорных нейронов [13]. В качестве наиболее вероятной мишени для АТФ в РТЯ указываются пуриновые рецепторы P2-типа [17]. В экспериментах на крысах *in vivo* и *in vitro* с билатеральными микроинъекциями агонистов и блокаторов разных подтипов P2-рецепторов в данное ядро показано, что на фоне гипоксии и гиперкапнии этот тип рецепторов опосредует участие АТФ в хеморефлекторном контроле дыхания, но при этом ставится под сомнение роль рецепторов подтипа P2Y1 в возникновении наблюдаемых кардиореспираторных реакций [18]. То есть, рецепторные механизмы реализации респираторных эффектов пуриновых сигнальных молекул в РТЯ пока до конца не ясны. Кроме того, остается открытым вопрос об участии пуринергической системы РТЯ в

регуляции дыхания в условиях нормоксии. Все сказанное свидетельствует о том, что роль пуринергических механизмов в области РТЯ, включая модулирующий эффект АТФ на респираторную активность данного ядра, нуждается в дальнейшем детальном изучении и понимании.

Цель нашего исследования заключалась в анализе участия АТФ, как агониста пуриновых рецепторов, в механизмах регуляции дыхания на уровне РТЯ у крыс, дышащих обычным атмосферным воздухом.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В качестве объекта исследования использовались взрослые нелинейные крысы массой тела 180–220 г. Эксперименты выполнены в соответствии с этическим стандартом проведения исследований на животных, утвержденным правовыми актами РФ, принципами Базельской декларации и рекомендациями комиссии по биоэтике биологического факультета Самарского национального исследовательского университета имени академика С. П. Королева (протокол № 2 от 10.03.2024). Животные случайным образом были разделены на контрольную ($n=6$) и опытную ($n=10$) группы. Крыс наркотизировали уретаном (1,6 г/кг, внутривенно), располагали на операционном столике, проводили трахеостомию и открывали доступ к диафрагмальной мышце через разрез на боковой поверхности туловища. Затем животных переносили в стереотаксическую установку СЭЖ- 3, жестко фиксировали голову и обнажали поверхность черепа. В черепе высверливали трепанационное отверстие, через которое по стереотаксическим координатам (11,3 мм каудальнее брегмы; 2,0 мм латеральнее срединного шва; 8,8 мм вглубь от дорсальной поверхности мозга [8]) вводили в РТЯ стеклянную микроканюлю с диаметром кончика 30–50 мкм, герметично закрепленную на игле микрошприца («Hamilton», Швейцария). Крысам экспериментальной группы делали микроинъекции 0,2 мкл раствора АТФ (аденозинтрифосфата динатриевая соль, «Silko Research Laboratories», Индия) в концентрации 10^{-7} Моль/л, приготовленного методом разведения в искусственной спинномозговой жидкости (ИСМЖ). Концентрацию АТФ для микроинъекций подбирали с учетом литературных данных [18]. Контрольная группа получала микроинъекцию аналогичного количества ИСМЖ.

Запись респираторных эффектов в контроле и опыте проводили до и в течение 30 минут после микроинъекций. Регистрировали параметры паттерна внешнего дыхания с использованием миниатюрного спирографа, соединенного с трахеостомической трубкой, и одновременно при помощи электромиографа записывали биоэлектрическую активность диафрагмальной мышцы, отводимую унилатерально двухигольчатым электродом. Сигналы от спирографа и электромиографа передавали на персональный компьютер и анализировали в программе PowerGraph 3.3 Professional (ООО «Интероптика-С», Россия). На спирограммах определяли длительность вдоха ($T_{вд}$, с), длительность выдоха ($T_{выд}$, с), дыхательный объем (ДО, мл). Рассчитывали объемную скорость инспираторного потока ($V_{инс}$, мл/с), частоту дыхания (ЧД, мин^{-1}), минутный объем дыхания (МОД, мл/мин). На электромиограммах (ЭМГ) диафрагмальной мышцы оценивали

длительность инспираторных залпов (ДЗ, с), межзалповых интервалов (МЗИ, с), максимальную амплитуду осцилляций в залпе (МАО, усл. ед.).

Статистическую обработку проводили с помощью пакета программ SigmaPlot 12.5. Нормальность распределения данных проверяли в тесте Шапиро-Уилка. Изменение показателей относительно исходного уровня оценивали при помощи парного t-теста, для сопоставления реакций в эксперименте и контроле использовали t-тест. Корреляционный анализ выполняли с помощью теста Спирмена, рассчитывая коэффициент корреляции r . Первичные данные в статье представлены как среднее значение $\pm$ стандартная ошибка среднего ($M \pm SEM$). Статистически значимыми считали различия при $p < 0,05$.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

В ходе исследования установлено, что микроинъекции АТФ в РТЯ оказывают стимулирующее действие на респираторную активность крыс, о чем свидетельствует динамика амплитудных и частотных параметров спирограммы и ЭМГ диафрагмальной мышцы в процессе экспозиции.

Среди изменений частотных параметров паттерна внешнего дыхания в первую очередь следует отметить учащение дыхательного ритма, на что указывало увеличение ЧД, определенным образом коррелировавшее с изменениями других спирографических показателей (табл. 1, рис. 1).

Таблица 1

Коэффициенты корреляции между изменениями частотных и объемных параметров паттерна внешнего дыхания у крыс после микроинъекции АТФ в РТЯ

Время экспозиции	ЧД и Те		МОД и ЧД		МОД и ДО	
	r	p	r	p	r	p
1 мин	-0,97	< 0,001	0,89	< 0,001	0,50	> 0,05
2 мин	-0,98	< 0,001	0,96	< 0,001	0,75	< 0,05
3 мин	-0,98	< 0,001	0,86	< 0,01	0,11	> 0,05
4 мин	-0,97	< 0,001	0,85	< 0,01	0,46	> 0,05
5 мин	-0,98	< 0,001	0,85	< 0,01	0,57	> 0,05
10 мин	-0,99	< 0,001	0,75	< 0,05	0,96	< 0,001
15 мин	-0,99	< 0,001	0,96	< 0,001	0,89	< 0,001
30 мин	-0,99	< 0,001	0,93	< 0,001	0,75	< 0,05

Практически сразу после микроинъекции АТФ (с 1-й по 10-ю минуты) отмечался статистически значимый рост ЧД относительно исходного уровня (от $71,88 \pm 3,44 \text{ мин}^{-1}$ до $78,86 \pm 4,10 \text{ мин}^{-1}$), что в среднем составляло 9,7 % ($p < 0,01$) и превышало показатели контроля ($p < 0,05$). В контрольной серии существенных изменений ЧД у крыс не наблюдалось (рис. 1, А).

Учащение дыхания у экспериментальных животных обуславливалось сопутствующей динамикой длительности обеих фаз дыхательного цикла. В течение всего периода регистрации наблюдалось уменьшение Твд в среднем на 9,3 % ($p < 0,05$) от исходной величины (рис. 1, Б). Уменьшение Твд после микроинъекции АТФ в РТЯ происходило в более коротком временном диапазоне (со 2-й по 4-ю минуты) и составляло в среднем 8,5 % ($p < 0,05$) по сравнению с фоновыми значениями (рис. 1, В).

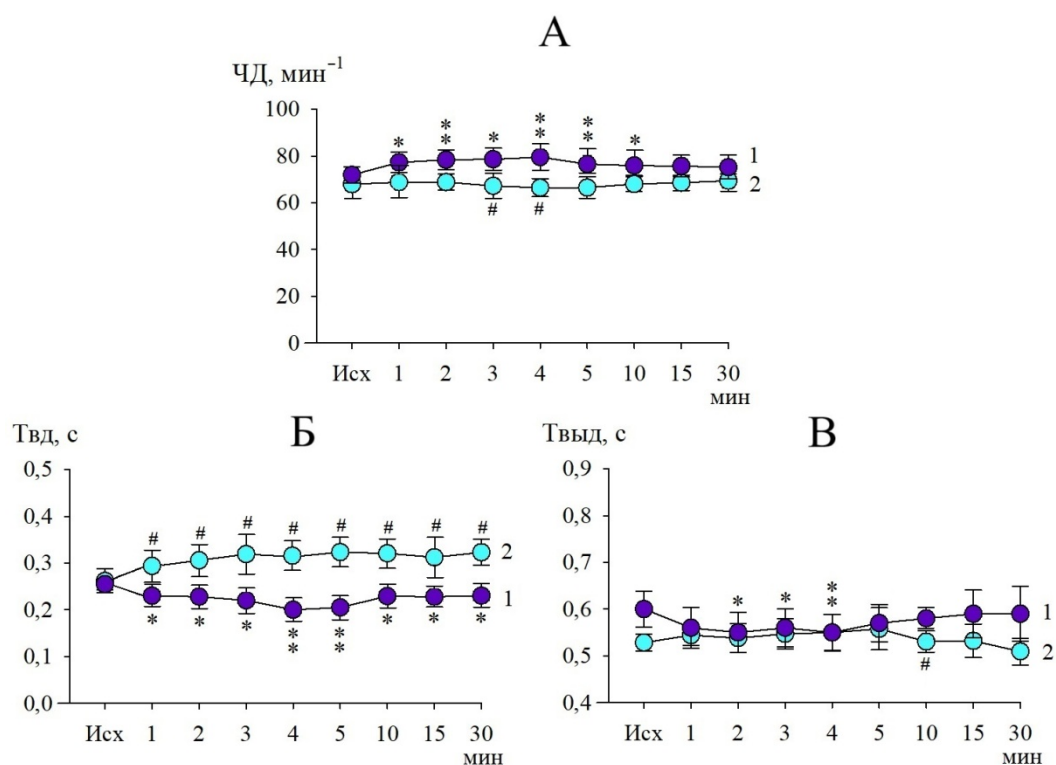


Рис. 1. Изменения частотных параметров внешнего дыхания после микроинъекции в РТЯ раствора АТФ (10^{-7} М). Обозначения: А – частота дыхания; Б – длительность вдоха; В – длительность выдоха; кривая 1 – эксперимент; кривая 2 – контроль; * ($p < 0,05$), ** ($p < 0,01$) – статистически значимые различия с исходным уровнем; # ($p < 0,05$) – различия между экспериментом и контролем.

Отмеченные в опыте изменения Твд и Твд_с статистически значимо отличались от изменений в контроле ($p < 0,05$). Обращают внимание результаты корреляционного анализа, показавшего наличие выраженной связи ЧД с изменениями только экспираторной фазы дыхательного цикла (табл. 1), что позволяет говорить о неоднозначном вкладе пуринаргических механизмов РТЯ в модуляцию активности нейронов, регулирующих продолжительность вдоха и выдоха. Дополнительным основанием для такого предположения служат данные об особенностях взаимодействия РТЯ с бульбоспинальными инспираторными и экспираторными нейронами ростральной и каудальной вентральных респираторных групп продолговатого мозга [19–21].

Что касается объемных параметров внешнего дыхания, то они при действии АТФ на РТЯ значимо увеличивались, внося свой вклад в итоговое усиление легочной вентиляции, о чем свидетельствует характер спирограмм (рис. 2, А).

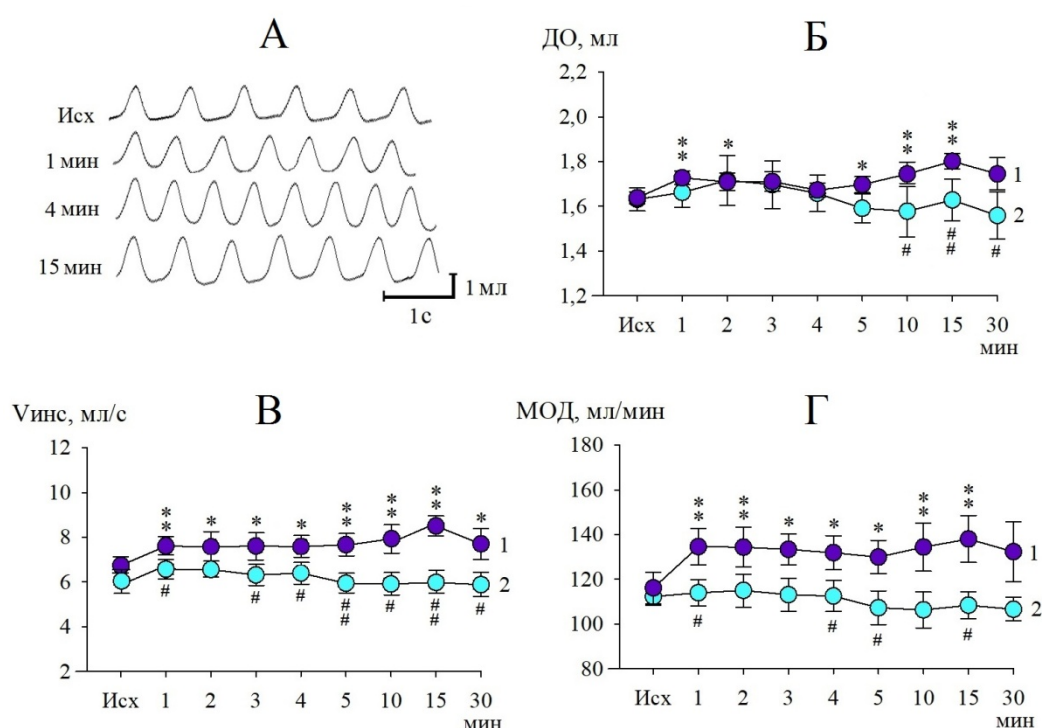


Рис. 2. Изменения объемных параметров внешнего дыхания после микроинъекции в РТЯ раствора АТФ (10^{-7} М). Обозначения: А – спирограммы, зарегистрированные в разные сроки экспозиции; Б – дыхательный объем; В – объемная скорость инспираторного потока; Г – минутный объем дыхания; кривая 1 – эксперимент; кривая 2 – контроль; * ($p < 0,05$), ** ($p < 0,01$) – статистически значимые различия с исходным уровнем; # ($p < 0,05$), ## ($p < 0,01$) – различия между экспериментом и контролем.

После введения в РТЯ агониста пуриновых рецепторов отмечался постепенный прирост ДО (рис. 2, Б), который на 1-й минуте составлял 8,5 % ($p < 0,01$) от исходного значения ($1,64 \pm 0,03$ мл). По мере действия агониста этот эффект усиливался, и на 15-й минуте наблюдений ДО возрастал до $1,85 \pm 0,04$ мл, то есть превышал исходный уровень на 13,2 % ($p < 0,01$). С учетом литературных данных, допустимо считать, что наблюдаемое усиление ДО в сочетании с выше отмеченным уменьшением Твд являются результатом модулирующего влияния АТФ на рецепторы P2Y_{2/4} в РТЯ и отражают участие пуринергической передачи в механизмах стимуляции центрального генератора инспираторной активности [15].

Выраженным приростом в ответ на микроинъекцию АТФ в РТЯ характеризовалась и величина Винс. Динамика Винс зависела как от уменьшения Твд ($r = -0,92$; $p < 0,01$), так и от увеличения ДО ($r = 0,77$; $p < 0,05$). Уровень Винс плавно нарастал от 1-й минуты экспозиции (12,9 % от фона; $p < 0,01$) к 15-й минуте (25,3 % от фона; $p < 0,01$). Отмеченные изменения Винс статистически значимо ($p < 0,01$) различались с реакциями у контрольных животных (рис. 2, В).

Стимулирующее действие АТФ на РТЯ наглядно проявилось усилением МОД. Исходно МОД составлял $116,54 \pm 10,03$ мл/мин. В течение первой половины экспозиции его величина достигала $137,01 \pm 15,02$ мл/мин ($p < 0,01$) и далее существенно не менялась. Изменения МОД при действии АТФ на РТЯ достоверно превышали отклонения данного показателя у животных в контрольной серии (рис. 2, Г). Характерно, что в первые 5 минут наблюдений у экспериментальных крыс на прирост МОД в большей степени влияло увеличение ЧД, в то время как на 10–30-й минутах экспозиции равноценным фактором роста МОД стало также увеличение ДО, что подтверждается усилением положительных корреляций между этими параметрами (табл. 1).

Микроинъекции АТФ в РТЯ оказывали также стимулирующее действие на биоэлектрическую активность диафрагмальной мышцы (рис. 3, А). На ЭМГ отмечалось увеличение частоты инспираторных залповых разрядов за счет уменьшения длительности как самих залпов, так и межзалповых интервалов.

Наиболее выраженное изменение ДЗ (от $0,33 \pm 0,02$ с до $0,29 \pm 0,02$ с) достигалось в интервале с 3-й по 5-ю минуты от начала воздействия АТФ (рис. 3, Б), что в среднем соответствовало уменьшению на 12,2 % ($p < 0,05$) от исходного уровня. Тенденция укорочения МЗИ была зафиксирована в том же временном интервале (рис. 3, В) и практически с той же выраженностью (9,6 %; $p < 0,05$). Эти изменения сопровождалось ростом амплитуды осцилляций в инспираторных залпах в среднем на 10,9 % ($p < 0,05$) по сравнению с исходным значением (рис. 3, Г). Указанные реакции диафрагмальной мышцы значимо превышали изменения в контроле ($p < 0,05$).

Подтверждением стимулирующего влияния активации пуриновых рецепторов области РТЯ на легочную вентиляцию и активность инспираторных мышц служит наличие и характер корреляционной зависимости между параметрами спирограммы и ЭМГ диафрагмальной мышцы. Так, следует отметить положительную корреляционную связь ($r > 0,70$; $p < 0,01$) между укорочением Твд на спирограмме и МЗИ на ЭМГ диафрагмы в ходе всей экспозиции. Положительные корреляции

наблюдались также между уменьшением длительности вдоха и инспираторных залпов диафрагмы на 4-й ($r=0,83$; $p<0,05$), 15-й ($r=0,74$; $p<0,05$) и 30-й ($r=0,75$; $p<0,05$) минутах экспозиции. Изменения ДО и МАО положительно коррелировали между собой на 1-й ($r=0,82$; $p<0,05$), 4-й ($r=0,75$; $p<0,05$) и 5-й ($r=0,78$; $p<0,05$) минутах эксперимента. Одновременно отмечалась сильная отрицательная корреляционная связь между Твйд и изменениями ЧД.

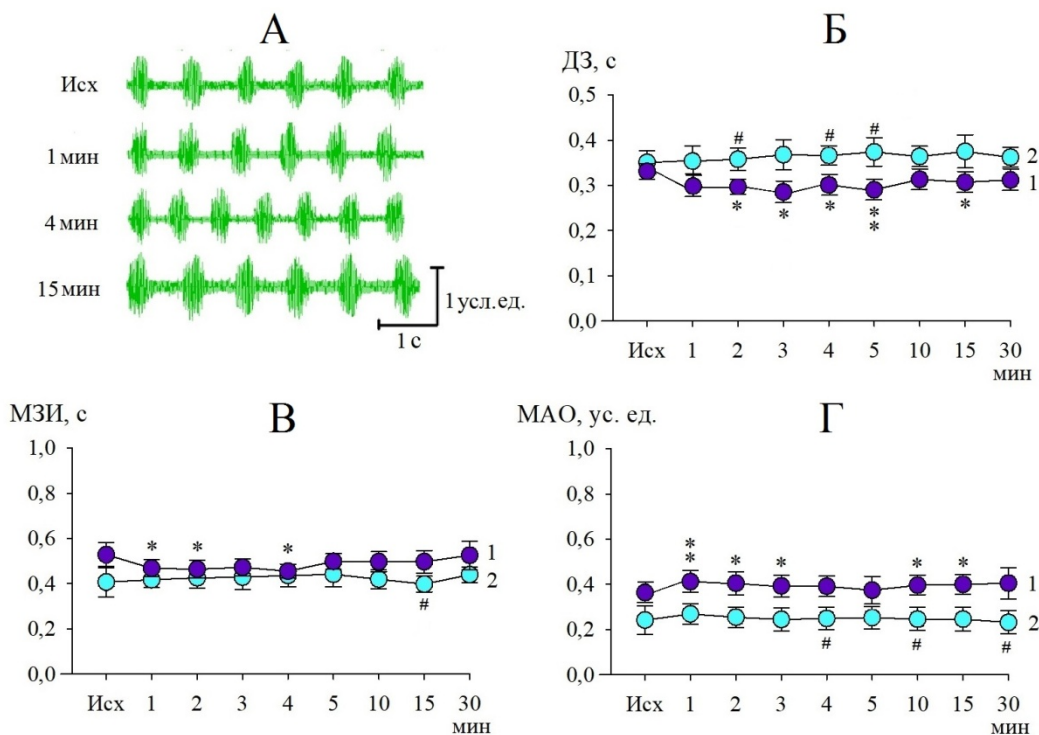


Рис. 3. Изменения параметров залповой активности диафрагмальной мышцы после микроинъекции в РТЯ раствора АТФ (10^{-7} М). Обозначения: А – ЭМГ, зарегистрированные в разные сроки экспозиции; Б – длительность залпов; В – межзалповый интервал; Г – максимальная амплитуда осцилляций в залпе; кривая 1 – эксперимент; кривая 2 – контроль; * ($p<0,05$), ** ($p<0,01$) – статистически значимые различия с исходным уровнем; # ($p<0,05$) – различия между экспериментом и контролем.

Характер реакций диафрагмальной мышцы и внешнего дыхания, зарегистрированных в настоящем исследовании у наркотизированных крыс с микроинъекциями АТФ в РТЯ, укладываются в рамки представлений о том, что активация пуриновых рецепторов в продолговатом мозге стимулирует моторный инспираторный выход из дыхательного центра [22]. Полученные в работе данные согласуются с описанными в литературе результатами плетизмографической регистрации усиления легочного дыхания в ответ на введение АТФ в РТЯ у

бодрствующих крыс, что объясняется активацией пуриновых рецепторов P2-типа, поскольку введение их неселективного блокатора (PPADS) в РТЯ ослабляло реакции дыхания на гиперкапнию и гипоксию [18]. Вклад P2-рецепторов в стимуляцию дыхания нейронами РТЯ также подтверждается сведениями о том, что микроинъекция PPADS в изучаемое ядро снижает частоту и амплитуду залпов диафрагмальной мышцы у крыс [23].

Респираторные эффекты микроинъекций АТФ в РТЯ могут быть объяснены с позиций активации разных типов P2-рецепторов, в том числе метаботропных P2Y и ионотропных P2X [13]. В пользу того, что на уровне РТЯ функционируют оба типа рецепторов, свидетельствует тот факт, что при действии АТФ на РТЯ активность его нейронов модулируется двумя путями. Так, контакт АТФ с постсинаптическими P2Y-рецепторами оказывает на нейроны РТЯ возбуждающее влияние, а при активации ионотропных P2X-рецепторов, расположенных пресинаптически, происходит угнетение нейронов РТЯ [24]. Высказывается предположение, что это угнетение, возможно, является следствием высвобождения ГАМК и глицина тормозными интернейронами, на терминалях которых локализованы P2X-рецепторы. Несмотря на то, что P2X-рецепторы широко представлены в различных отделах мозга [25], их роль в деятельности РНС до конца не ясна. В то же время имеются свидетельства того, что утрата подтипа P2X7 области РТЯ у нокаутных крыс вызывает нерегулярное дыхание на фоне сердечной недостаточности, а при восстановлении их экспрессии нарушения регуляции дыхания устраняются [26].

В отношении P2Y-рецепторов установлено, что на уровне РТЯ экспрессируются несколько их подтипов [4, 23], из которых в регуляции дыхания, предположительно, участвуют P2Y2 и P2Y4. Эти подтипы активируются эндогенным АТФ, выделяющимся астроцитами и аксональными терминалями, поступающими из ядра солитарного тракта, в условиях гиперкапнии и гипоксии [13]. Что касается результатов нашей работы, то на их основе можно говорить, что указанные подтипы P2Y-рецепторов РТЯ могут опосредовать реализацию респираторных эффектов АТФ и в условиях нормоксии.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, в ходе проведенного исследования получены данные, подтверждающие участие пуринергической системы на уровне РТЯ в регуляции дыхания у крыс, дышащих атмосферным воздухом обычного состава. Основанная на анализе собственных и литературных данных оценка молекулярных механизмов действия АТФ, как важнейшего компонента пуринома, на РТЯ позволяет заключить, что важную роль в реализации респираторных эффектов АТФ играют P2Y-рецепторы. Взаимодействие АТФ с рецепторами данного типа в области РТЯ вызывает стимуляцию внешнего дыхания и инспираторной залповой активности диафрагмальной мышцы, что указывает на вклад пуринергической сигнализации в формирование инспираторного драйва из РНС к дыхательным мотонейронам. Обращает внимание, что обусловленное воздействием АТФ усиление дыхания наблюдается не только в условиях измененного газового гомеостаза, о чем говорится во многих публикациях, но и в условиях нормоксии, что подтверждается

нашими данными. Этот факт позволяет рассматривать пуринергические механизмы РТЯ не только в контексте поддержания жизнедеятельности организма при гипоксических и гиперкапнических состояниях, но и в аспекте регуляции дыхания в условиях оптимального газового баланса. В плане развития этой точки зрения перспективным является экспериментальное исследование роли различных подтипов пуриновых P2Y-рецепторов РТЯ в модуляции респираторных реакций в условиях нормального газового гомеостаза.

Список литературы

1. Manganelli F. Brainstem involvement and respiratory failure in COVID-19 / F. Manganelli, M. Vargas, A. Iovino [et al.] // *Neurol. Sci.* – 2020. – Vol. 41, No 7. – P. 1663–1665. <https://doi.org/10.1007/s10072-020-04487-2>
2. Губаревич Е. А. Микроинъекции раствора хлорида кобальта в инфраламбическую кору подавляют реакции систем кровообращения и дыхания анестезированной крысы на микроэлектростимуляцию латеральной орбитальной коры / Е. А. Губаревич, Т. Н. Кокурина, Г. И. Рыбакова [и др.] // *Российский физиологический журнал им. И. М. Сеченова*. – 2024. – Т. 110, № 2. – С. 216–229. DOI: 10.31857/S0869813924020058
3. Guyenet P. G. Rostral ventrolateral medulla, retrotrapezoid nucleus and autonomic regulations / P. G. Guyenet, R. L. Stornetta // *Auton. Neurosci.* – 2022. – Vol. 237. – P. 102922. <https://doi.org/10.1016/j.autneu.2021.102922>
4. Guyenet P. G. The retrotrapezoid nucleus: central chemoreceptor and regulator of breathing automaticity / P. G. Guyenet, R. L. Stornetta, G. M. P. R. Souza [et al.] // *Trends. Neurosci.* – 2019. – Vol. 42, No 11. – P. 807–824. DOI: 10.1016/j.tins.2019.09.002
5. Kumar N.N. PHYSIOLOGY. Regulation of breathing by CO₂ requires the proton-activated receptor GPR4 in retrotrapezoid nucleus neurons / N.N. Kumar, A. Velic, J. Soliz [et al.] // *Science*. – 2015. – Vol. 348. – P. 1255–1260. DOI: 10.1126/science.aaa0922
6. Shi Y. Neuromedin B expression defines the mouse retrotrapezoid nucleus / Y. Shi, R. L. Stornetta, D. S. Stornetta [et al.] // *J. Neurosci.* – 2017. – Vol. 37(48). – P. 11744–11757. DOI: 10.1523/jneurosci.2055-17.2017
7. Gonye E. C. Intrinsic molecular proton sensitivity underlies GPR4 effects on retrotrapezoid nucleus neuronal activation and CO₂-stimulated breathing / E. C. Gonye, Y. Shi, K. Li [et al.] // *J. Neurosci.* – 2024. – Vol. 44(36). – e0799242024. DOI: 10.1523/JNEUROSCI.0799-24.2024
8. Souza G. Contribution of the retrotrapezoid nucleus and carotid bodies to hypercapnia- and hypoxia-induced arousal from sleep / G. Souza, R. L. Stornetta, D. S. Stornetta [et al.] // *J. Neurosci.* – 2019. – Vol. 39(49). – P. 9725–9737. DOI: 10.1523/JNEUROSCI.1268-19.2019
9. Петрова Н. А. Синдром врожденной центральной гиповентиляции. Опыт НМИЦ им. В. А. Алмазова / Н. А. Петрова, А. В. Брызжин, Д. П. Фофанова [и др.] // *Российский журнал персонализированной медицины*. – 2023. – Т. 3, № 2. – С. 57–67. DOI: 10.18705/2782-3806-2023-3-2-57-67
10. Bochorishvili G. Pre-Bötzinger complex receives glutamatergic innervation from galaninergic and other retrotrapezoid nucleus neurons / G. Bochorishvili, R. L. Stornetta, M. B. Coates, P. G. Guyenet // *J. Comp. Neurol.* – 2012. – Vol. 520, No 5. – P. 1047–1061. <https://doi.org/10.1002/cne.22769>
11. Souza G. M. P. R. Neuromedin B-expressing neurons in the retrotrapezoid nucleus regulate respiratory homeostasis and promote stable breathing in adult mice / G. M. P. R. Souza, D. S. Stornetta, Y. Shi [et al.] // *J. Neurosci.* – 2023. – Vol. 39(49). – P. 9725–9735. DOI: 10.1523/jneurosci.0386-23.2023
12. Guyenet P. G. Proton detection and breathing regulation by the retrotrapezoid nucleus / P. G. Guyenet, D. A. Bayliss, R. L. Stornetta [et al.] // *J. Physiol.* – 2016. – Vol. 594, No 6. – P. 1529–1551. DOI: 10.1113/JP271480
13. Moreira T. S. The retrotrapezoid nucleus and the neuromodulation of breathing / T. S. Moreira, C. R. Sobrinho, B. Falquetto [et al.] // *J. Neurophysiol.* – 2021. – Vol. 125, No 3. – P. 699–719. DOI: 10.1152/jn.00497.2020
14. Будаев А. И. Респираторные реакции на микроинъекции антагониста ГАМКв-рецепторов 2-гидроксисаклофена в ретротрапециевидное ядро у крыс / А. И. Будаев, О. А. Ведясова,

- A. Т. Конашенкова, Т. Е. Ковалева // Современные вопросы биомедицины. – 2022. – Т. 6, № 2. DOI: 10.51871/2588-0500_2022_06_02_4
15. Reklow R. J. The purinome and the preBöttinger complex – a ménage of unexplored mechanisms that may modulate/shape the hypoxic ventilatory response / R. J. Reklow, T. S. Alvares, Y. Zhang [et al.] // Front. Cell. Neurosci. – 2019. – Vol. 13. – P. 365. DOI: 10.3389/fncel.2019.00365
 16. Wenker I. C. Astrocytes in the retrotrapezoid nucleus sense H⁺ by inhibition of a Kir4.1-Kir5.1-like current and may contribute to chemoreception by a purinergic mechanism / I. C. Wenker, O. Kréneisz, A. Nishiyama, D. K. Mulkey // J. Neurophysiol. – 2010. – Vol. 104, No 6. – P. 3042–3052. DOI: 10.1152/jn.00544.2010
 17. Sobrinho C. R. Purinergic signaling contributes to chemoreception in the retrotrapezoid nucleus but not the nucleus of the solitary tract or medullary raphe / C. R. Sobrinho, I. C. Wenker, E. M. Poss [et al.] // J. Physiol. – 2014. – Vol. 592, No 6. – P. 1309–1323. DOI: 10.1113/jphysiol.2013.268490
 18. Barna B. F. Purinergic receptor blockade in the retrotrapezoid nucleus attenuates the respiratory chemoreflexes in awake rats / B. F. Barna, A. C. Takakura, D. K. Mulkey, T. S. Moreira // Acta Physiol. (Oxf). – 2016. – Vol. 217, No 1. – P. 80–83. DOI:10.1111/apha.12637
 19. Lindsey B. G. Computational models and emergent properties of respiratory neural networks / B. G. Lindsey, I. A. Rybak, J. C. Smith // Compr. Physiol. – 2012. – Vol. 2, No 3. – P. 1619–1670. DOI: 10.1002/cphy.c110016
 20. Guyenet P. G. Neural control of breathing and CO₂ homeostasis / P. G. Guyenet, D. A. Bayliss // Neuron. – 2015. – Vol. 87, No 5. – P. 946–961. DOI: 10.1016/j.neuron.2015.08.001
 21. Silva J. N. Neuroanatomical and physiological evidence that the retrotrapezoid nucleus/parafacial region regulates expiration in adult rats / J. N. Silva, F. M. Tanabe, T. S. Moreira, A. C. Takakura // Respir. Physiol. Neurobiol. – 2016. – Vol. 227. – P. 9–22. DOI: 10.1016/j.resp.2016.02.005.
 22. Funk G. D. Neuromodulation: purinergic signaling in respiratory control / G. D. Funk // Compr. Physiol. – 2013. – Vol. 3, No 1. – P. 331–363. DOI:10.1002/cphy.c120004
 23. Hawkins V. E. Purinergic regulation of vascular tone in the retrotrapezoid nucleus is specialized to support the drive to breathe / V. E. Hawkins, A. C. Takakura, A. Trinh [et al.] // eLife. – 2017. – Vol. 6. – e25232. DOI:10.7554/eLife.25232
 24. Mulkey D. K. Purinergic P2 receptors modulate excitability but do not mediate pH sensitivity of RTN respiratory chemoreceptors / D. K. Mulkey, A. M. Mistry, P. G. Guyenet, D. A. Bayliss // J. Neurosci. – 2006. – Vol. 26(27). – P. 7230–7233. DOI: 10.1523/JNEUROSCI.1696-06.2006
 25. Andrejew R. The P2X7 receptor: central hub of brain diseases / Andrejew R., Oliveira-Giacomelli Á., Ribeiro D. E. [et al.] // Front. Mol. Neurosci. – 2020. – Vol. 13. – P. 124. DOI: 10.3389/fnmol.2020.00124.
 26. Toledo C. Potential role of the retrotrapezoid nucleus in mediating cardio-respiratory dysfunction in heart failure with preserved ejection fraction / C. Toledo, D. Ortolani, F. C. Ortiz [et al.] // Front. Physiol. – 2022. – Vol. 13. – 863963. DOI:10.3389/fphys.2022.863963

RESPIRATORY REACTIONS TO ADENOSINE TRIPHOSPHATE ADMINISTRATION IN THE AREA OF THE RETROTRAPEZOID NUCLEUS IN RATS

Konashenkova A. T., Vedyasova O. A., Inyushkin A. N.

*Samara National Research University, Samara, Russia
E-mail: o.a.vedyasova@gmail.com*

The research of neurochemical mechanisms of respiratory regulation is very relevant, which is due to the need for further development of ideas about the role of various parts of the central respiratory neural network in the generation of breathing rhythm and pattern. In this aspect, the retrotrapezoid nucleus (RTN) is of interest, which is the main

chemosensory structure of the medulla and provides the central chemoreflex under conditions of hypercapnia and hypoxia. Various neurotransmitters, including adenosine triphosphate (ATP), participate in the modulation of respiration at the RTN level. It is known that ATP provides purinergic signaling in the RTN during hypercapnia and hypoxia. However, under normoxia, the role of ATP in the regulation of respiration by RTN structures not been sufficiently studied.

The aim of our research was to analyze the participation of ATP, as an agonist of purinergic receptors, in the mechanisms of respiratory control at the level of the RTN in rats breathing normal atmospheric air.

The research performed on adult rats weighing 180-220 g, anesthetized with urethane, in which the respiratory effects of microinjections of an ATP solution into the RTN were studied. Microinjections were carry out through a glass microcannula (tip diameter 30-50 μm), introduced into the brain according to stereotaxic coordinates. Control animals were injected with artificial cerebrospinal fluid into the RTN. In rats, the external respiration pattern was recorded using a spiograph connected to a tracheostomy tube, and simultaneously bioelectrical activity of the diaphragm was recorded on an electromyograph by bipolar needle electrodes. Changes in frequency and volume parameters of spiogram and electromyogram (EMG) were analyzed.

It has been established that microinjections of ATP into the RTN increase the respiratory activity of rats breathing atmospheric air of normal composition, as evidenced by changes in external respiration and EMG of the diaphragm. Analysis of spiogram revealed an increase in the respiratory rate (due to a decrease in the duration of inspiration and expiration), an increase in tidal volume, volumetric rate of inspiratory flow and minute lung ventilation compared to the initial level and control. Microinjections of ATP into the RTN also had a stimulating effect on the bioelectrical activity of the diaphragmatic muscle. The EMG showed an increase in the frequency of inspiratory burst discharges in combination with a decrease in the duration of both, the themselves bursts and interbursts intervals, relative to the initial values. These effects were accompanied by an increase in the amplitude of oscillations in inspiratory discharges. The observed reactions of the diaphragm statistically significantly exceeded the changes in control rats. The obtained results fit into the framework of the concept that activation of purine receptors in the medulla oblongata stimulates motor inspiratory output from the respiratory center. Taking into account the literature data, the increase in lung ventilation and bioelectrical activity of the diaphragm in response to ATP microinjections into the RTN may be explained by the activation of P2Y-type purinergic receptors.

Thus, data obtained confirming the participation of the purinergic system at the level of the RTN in the respiration control in rats breathing atmospheric air of normal composition. Based on the analysis of our own and literary data, the assessment of the molecular mechanisms of action of ATP, as the most important component of the purinome, allows us to conclude that P2Y receptors play an important role in the implementation of the respiratory effects of ATP in the RTN area. The interaction of ATP with receptors of this type in the RTN region causes stimulation of external respiration and inspiratory burst activity of the diaphragmatic muscle, which indicates the contribution of purinergic signaling to the formation of inspiratory drive from the central

respiratory neural network to respiratory motor neurons. It is noteworthy that the increase in respiration caused by the effect of ATP on the RTN is observed not only under conditions of altered gas homeostasis, as indicated by many publications, but also under normoxia, which is confirmed by our data. This fact allows us to consider the purinergic mechanisms of the RTN not only in the context of maintaining the body's vital functions under hypoxic and hypercapnic conditions, but also in the aspect of regulating respiration under conditions of optimal gas balance.

Keywords: regulation of respiration, retrotrapezoid nucleus, P2 receptors, adenosine triphosphate (ATP), microinjections, external respiration, electromyogram of the diaphragm.

References

1. Manganelli F., Vargas M., Iovino A., Iacovazzo C., Santoro L., Servillo G. Brainstem involvement and respiratory failure in COVID-19. *Neurol. Sci.*, **41**, 7, 1663 (2020). <https://doi.org/10.1007/s10072-020-04487-2>
2. Gubarevich E. A., Kokurina T. H., Rybakova G. I., Tumanova T. S., Aleksandrov V. G. Cobalt microinjections into the infralimbic cortex of the anesthetized rat suppresses circulatory and respiratory reactions to the microelectrostimulation of the lateral orbital cortex. *Russian journal of physiology*, **110**, 2, 216 (2024). DOI: 10.31857/S0869813924020058
3. Guyenet P. G., Stornetta R. L. Rostral ventrolateral medulla, retropontine region and autonomic regulations. *Auton. Neurosci.*, **237**, 102922 (2022). <https://doi.org/10.1016/j.autneu.2021.102922>
4. Guyenet P. G., Stornetta R. L., Souza G. M. P. R., Abbott S. B. G., Shi Y., Bayliss D. A. The retrotrapezoid nucleus: central chemoreceptor and regulator of breathing automaticity. *Trends Neurosci.*, **42**, 11, 807 (2019). DOI: 10.1016/j.tins.2019.09.002
5. Kumar N. N., Velic A., Soliz J., Shi Y., Li K., Wang S., Weaver J. L., Sen J., Abbott S. B., Lazarenko R. M., Ludwig M. G., Perez-Reyes E., Mohebbi N., Bettoni C., Gassmann M., Suply T., Seuwen K., Guyenet P. G., Wagner C.A., Bayliss D. A. PHYSIOLOGY. Regulation of breathing by CO₂ requires the proton-activated receptor GPR4 in retrotrapezoid nucleus neurons. *Science*, **348**(6240), 1255 (2015). DOI: 10.1126/science.aaa0922
6. Shi Y., Stornetta R. L., Stornetta D. S., Onengut-Gumuscu S., Farber E. A., Turner S. D., Guyenet P. G., Bayliss D.A. Neuromedin B expression defines the mouse retrotrapezoid nucleus. *J. Neurosci.*, **37**(48), 11744 (2017). DOI: 10.1523/jneurosci.2055-17.2017
7. Gonye E. C., Shi Y., Li K., Clements R. T., Xu W., Bayliss D. A. Intrinsic molecular proton sensitivity underlies GPR4 effects on retrotrapezoid nucleus neuronal activation and CO₂-stimulated breathing. *J. Neurosci.*, **44**(36): e0799242024 (2024). DOI: 10.1523/Jneurosci.0799-24.2024
8. Souza G., Stornetta R. L., Stornetta D. S., Abbott S., Guyenet P. G. Contribution of the retrotrapezoid nucleus and carotid bodies to hypercapnia- and hypoxia-induced arousal from sleep. *J. Neurosci.*, **39**(49), 9725 (2019). DOI: 10.1523/JNEUROSCI.1268-19.2019
9. Petrova N. A., Bryzzhin A. V., Fofanova D. P., Kolbina N. Yu., Pervunina T. M., Artamonova I. N., Borodin A. V. Congenital central hypoventilation syndrome. Experience Almazov National Medical Research Centre. *Russian Journal for Personalized Medicine*, **3**, 2, 57 (2023). DOI: 10.18705/2782-3806-2023-3-2-57-67
10. Bochorishvili G., Stornetta R. L., Coates M. B., Guyenet P. G. Pre-Bötzinger complex receives glutamatergic innervation from galaninergic and other retrotrapezoid nucleus neurons. *J. Comp. Neurol.*, **520**, 5, 1047 (2012). <https://doi.org/10.1002/cne.22769>
11. Souza G. M. P. R., Stornetta D. S., Shi Y., Lim E., Berry F. E., Bayliss D. A., Abbott S. B. G. Neuromedin B-expressing neurons in the retrotrapezoid nucleus regulate respiratory homeostasis and promote stable breathing in adult mice. *J. Neurosci.*, **43**(30), 5501 (2023). DOI: 10.1523/jneurosci.0386-23.2023
12. Guyenet P. G., Bayliss D. A., Stornetta R. L., Ludwig M. G., Kumar N. N., Shi Y., Burke P. G., Kanbar R., Basting T. M., Holloway B. B., Wenker I. C. Proton detection and breathing regulation by the retrotrapezoid nucleus. *J. Physiol.*, **594**, 6, 1529 (2016). DOI: 10.1113/JP271480

13. Moreira T. S., Sobrinho C. R., Falquetto B., Oliveira L. M., Lima J. D., Mulkey D. K., Takakura A. C. The retrotrapezoid nucleus and the neuromodulation of breathing. *J. Neurophysiol.*, **125**, 3, 699 (2021). DOI: 10.1152/jn.00497.2020
14. Budaev A. I., Vedyasova O. A., Konashenkova A. T., Kovaleva T. E. Respiratory reactions to microinjections of the antagonist of GABA_A-receptors 2-hydroxysaclofen into the retrotrapezoid nucleus in rats. *Modern Issues of Biomedicine*, **6**, 2 (2022). DOI: 10.51871/2588-0500_2022_06_02_4
15. Reklow R. J., Alvares T. S., Zhang Y., Miranda Tapia A. P., Biancardi V., Katzell A. K., Frangos S. M., Hansen M. A., Toohey A. W., Cass C. E., Young J. D., Pagliardini S., Boison D., Funk G. D. The purinome and the preBötzinger complex – a ménage of unexplored mechanisms that may modulate/shape the hypoxic ventilatory response. *Front. Cell. Neurosci.*, **13**, 365 (2019). DOI: 10.3389/fncel.2019.00365
16. Wenker I. C., Kréneisz O., Nishiyama A., Mulkey D. K. Astrocytes in the retrotrapezoid nucleus sense H⁺ by inhibition of a Kir4.1-Kir5.1-like current and may contribute to chemoreception by a purinergic mechanism. *J. Neurophysiol.*, **104**, 6, 3042 (2010). DOI: 10.1152/jn.00544.2010.
17. Sobrinho C. R., Wenker I. C., Poss E. M., Takakura A. C., Moreira T. S., Mulkey D. K. Purinergic signaling contributes to chemoreception in the retrotrapezoid nucleus but not the nucleus of the solitary tract or medullary raphe. *J. Physiol.*, **592**, 6, 1309 (2014). DOI: 10.1113/jphysiol.2013.268490
18. Barna B. F., Takakura A. C., Mulkey D. K., Moreira T. S. Purinergic receptor blockade in the retrotrapezoid nucleus attenuates the respiratory chemoreflexes in awake rats. *Acta Physiol. (Oxf)*, **217**, 1, 80 (2016). DOI:10.1111/apha.12637
19. Lindsey B. G., Rybak I. A., Smith J. C., Computational models and emergent properties of respiratory neural networks. *Compr. Physiol.*, **2**, 3, 1619 (2012). DOI: 10.1002/cphy.c110016
20. Guyenet P. G., Bayliss D. A. Neural control of breathing and CO₂ homeostasis. *Neuron*, **87**, 5, 946 (2015). DOI: 10.1016/j.neuron.2015.08.001
21. Silva J. N., Tanabe F. M., Moreira T. S., Takakura A. C. Neuroanatomical and physiological evidence that the retrotrapezoid nucleus/parafacial region regulates expiration in adult rats. *Respir. Physiol. Neurobiol.*, **227**, 9 (2016). DOI: 10.1016/j.resp.2016.02.005
22. Funk G. D. Neuromodulation: purinergic signaling in respiratory control. *Compr. Physiol.*, **3**, 1, 331 (2013). DOI:10.1002/cphy.c120004
23. Hawkins V. E., Takakura A. C., Trinh A., Malheiros-Lima M. R., Cleary C. M., Wenker I. C., Dubreuil T., Rodriguez E. M., Nelson M. T., Moreira T. S., Mulkey D. K. Purinergic regulation of vascular tone in the retrotrapezoid nucleus is specialized to support the drive to breathe. *ELife*, **6**, e25232 (2017). DOI: 10.7554/eLife.25232
24. Mulkey D.K., Mistry A.M., Guyenet P.G., Bayliss D.A. Purinergic P2 receptors modulate excitability but do not mediate pH sensitivity of RTN respiratory chemoreceptors. *J. Neurosci.*, **26**(27), 7230 (2006). DOI: 10.1523/JNEUROSCI.1696-06.2006
25. Andrejew R., Oliveira-Giacomelli Á., Ribeiro D. E., Glaser T., Arnaud-Sampaio V. F., Lameu C., Ulrich H. The P2X7 receptor: central hub of brain diseases. *Front. Mol. Neurosci.*, **31**, 13, 124 (2020). DOI: 10.3389/fnmol.2020.00124.
26. Toledo C., Ortolani D., Ortiz F. C., Marcus N. J., Del Rio R. Potential role of the retrotrapezoid nucleus in mediating cardio-respiratory dysfunction in heart failure with preserved ejection fraction. *Front. Physiol.*, **13**, 863963 (2022). DOI: 10.3389/fphys.2022.863963

УДК 595.789-19(470.55)

DOI 10.29039/2413-1725-2025-11-2-99-131

**ОХРАНЯЕМЫЕ, РЕДКИЕ И МАЛОИЗВЕСТНЫЕ НАСЕКОМЫЕ
ПАМЯТНИКОВ ПРИРОДЫ «ЧЕЛЯБИНСКИЙ (ГОРОДСКОЙ) БОР» И
«КАШТАКСКИЙ БОР» (ЧЕЛЯБИНСКАЯ ОБЛАСТЬ)**

Красуцкий Б. В.^{1,2}, Гашек В. А.³

¹*Ботанический сад УрО РАН, Екатеринбург, Россия*

²*Челябинский государственный университет, Челябинск, Россия*

³*Международный аэропорт Челябинск, Челябинск, Россия*

E-mail: boris_k.63@mail.ru

На территории Челябинского (городского) и Каштакского боров обитает 18 видов из 10 семейств и 6 отрядов насекомых, включенных в Красную книгу Челябинской области, и 26 видов из 15 семейств и 7 отрядов, которых мы отнесли к категории редких и малоизвестных (малоизученных). Дана предварительная оценка численности всех видов в местах обнаружения, а для включенных в региональную Красную книгу – характеристика их распространения в регионе и на территориях боров. Приведены краткие сведения по биологии и экологии большинства насекомых, названы виды, рекомендуемые для включения в третье издание Красной книги.

Ключевые слова: особо охраняемые природные территории, энтомофауна, мониторинг, численность, Красная книга.

ВВЕДЕНИЕ

В последние годы в связи с быстрым развитием экологического туризма, резким увеличением привлекательности доступных для населения, особенно горожан, природных рекреационных объектов, происходит многократное увеличение антропогенной нагрузки на экосистемы, имеющие важное средообразующее, средорегулирующее, средозащитное значение и нередко составляющие основу экологического каркаса определенного региона. Возрастающему воздействию со стороны человека подвергаются не только территории памятников природы, заказников, природных и национальных парков, но и отдельные участки заповедников согласно их функциональному зонированию. В связи с этим, научные исследования на особо охраняемых природных территориях (ООПТ) приобретают важное значение, и их результаты должны освещаться не только в материалах комплексных экологических обследований или «Летописях природы», но и в крупных научных публикациях по отдельным компонентам биоты, кадастрах видов, монографиях, доступных для широкой аудитории. Насекомые, как важнейший и чувствительный ко многим воздействиям компонент практически любой экосистемы, часто становятся модельной группой для оценки различных видов влияния человека на окружающую среду, показателями благополучия или неблагополучия конкретного

биоценоза. Резкое уменьшение численности многих видов, обеднение видового состава – первые тревожные сигналы, свидетельствующие о начавшихся негативных изменениях в природной среде и необходимости осуществления комплексов природоохранных мероприятий.

Энтомологические исследования в Челябинской области выполняли, главным образом, сотрудники Ильменского государственного заповедника им. В. И. Ленина (Лагунов А. В., Чащина О. Е., Чичков Б. М.), Челябинского государственного педагогического университета (Гуськова Е. В., Красуцкий Б. В., Пекин В. П., Тюмасева З. И.), Чебаркульской станции защиты леса (Заигралина М. В., Гниненко Ю. И., Распопов П. М., Соколов Г. И.), Института экологии растений и животных УрО РАН (Гилев А. В., Горбунов П. Ю., Зиновьев Е. А., Коробейников Ю. И., Олышванг В. Н.), Уральского государственного университета им. А. М. Горького (Малоземов Ю. А., Новоженков Ю. И.), Уральской лесотехнической академии (Михайлов Ю. Л.), Пермского государственного университета (Есюнин С. Л., Козьминых В. О.), Зоологического музея МГУ (Антонова Е. М.), Института эволюционной морфологии и экологии животных им. А. Н. Северцова (Буйнова С. К., Воронова Л. Д., Стебаев И. В.).

Инициатором и координатором многих направлений изучения энтомофауны, ее отдельных таксонов и, особенно, охраняемых и редких видов был А. В. Лагунов [1–21]. По его данным и материалам некоторых других авторов, в наиболее изученном Ильменском заповеднике обитает 42 вида стрекоз, 32 вида прямокрылых, 213 видов полужесткокрылых, 1008 видов жесткокрылых и 1159 видов чешуекрылых [8, 13, 16, 17, 19, 22, 23]. Для Челябинской области в целом указано 3700 видов насекомых, но научно обоснованные расчеты и экспертные оценки показывают значительно большее их число – около 14,5 тыс. видов [3, 8].

Пока еще фрагментарные и немногочисленные исследования выполнены в национальном парке «Зюраткуль» [11, 12], заповеднике «Аркаим» [24, 25], Троицком [26], Черноборском заказниках [27], на территориях памятников природы «Черный бор» [27], «Челябинский (городской) бор» [28–31] и «Каштакский бор» [32, 33].

В целом следует признать, что энтомофауна Челябинской области изучена крайне недостаточно. Даже по таким крупным и значимым ООПТ нашего региона, как национальные парки «Таганай», «Зигальга», Восточно-Уральский заповедник, не говоря уже о подавляющем большинстве заказников, памятников природы и не имеющих охранного статуса территориях, сведения о насекомых практически отсутствуют. Недостаточно данных о распространении, численности и биоэкологических особенностях видов, внесенных в региональную Красную книгу [34].

Целью данной работы является освещение главных результатов изучения охраняемых, редких и некоторых малоизвестных насекомых, обитающих на важнейших для жителей г. Челябинска и пригорода рекреационных объектах – памятниках природы «Челябинский (городской) бор» и «Каштакский бор». Выявленные охраняемые («краснокнижные») виды приведены в полном объеме. Что касается редких, малоизвестных (малоизученных) насекомых, то нам пришлось подвергнуть их список существенному отбору и поместить в настоящую статью довольно ограниченное число наиболее интересных, с нашей точки зрения, видов.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Целенаправленное изучение отдельных представителей энтомофауны Челябинского и Каштакского боров мы начали в 2007 году, а в период с 2010 по 2023 гг. проводили регулярно с весны (май) до осени (сентябрь), ежегодно выполняя от 5 до 10 экспедиционных выездов. Основное внимание уделяли насекомым из отрядов стрекоз (Odonata), полужесткокрылых (Hemiptera), жесткокрылых (Coleoptera), чешуекрылых (Lepidoptera), перепончатокрылых (Hymenoptera) и двукрылых (Diptera). Кроме того, после выхода в 2017 г. второго издания региональной Красной книги [34] мы ведем ежегодный мониторинг состояния популяций охраняемых, редких, уязвимых видов на всей территории Челябинской области, попутно собирая материалы по другим, малоизученным группам насекомых и регулярно освещая результаты в статьях и материалах конференций [28–33, 35–37].

Территории исследований. Ботанический памятник природы регионального значения «Челябинский (городской) бор» (дата создания: 21.01.1969 г.; общая площадь: 1184.6 га, площадь охранной зоны: 14.8 га) находится в черте города: с запада, севера и востока окружен городскими постройками, на юге вплотную примыкает к Шершневскому водохранилищу, а в Центральном районе г. Челябинска простирается вдоль правого берега р. Миасс. Территория бора расположена между параллелями 55°16'88" и 55°12'38" северной широты и меридианами 61°30'70" и 61°36'90" восточной долготы (Gauss Krueger, S-42).

Ботанический памятник природы регионального значения «Каштакский бор» (дата создания: 21.01.1969 г.; общая площадь: 2772.0 га, площадь охранной зоны: 516.8 га) расположен в северо-восточной части г. Челябинска и, частично, в Сосновском муниципальном районе Челябинской обл. Территория бора расположена между параллелями 55°21'51" и 55°15'32" северной широты и меридианами 61°20'25" и 61°26'53" восточной долготы (Gauss Krueger, S-42).

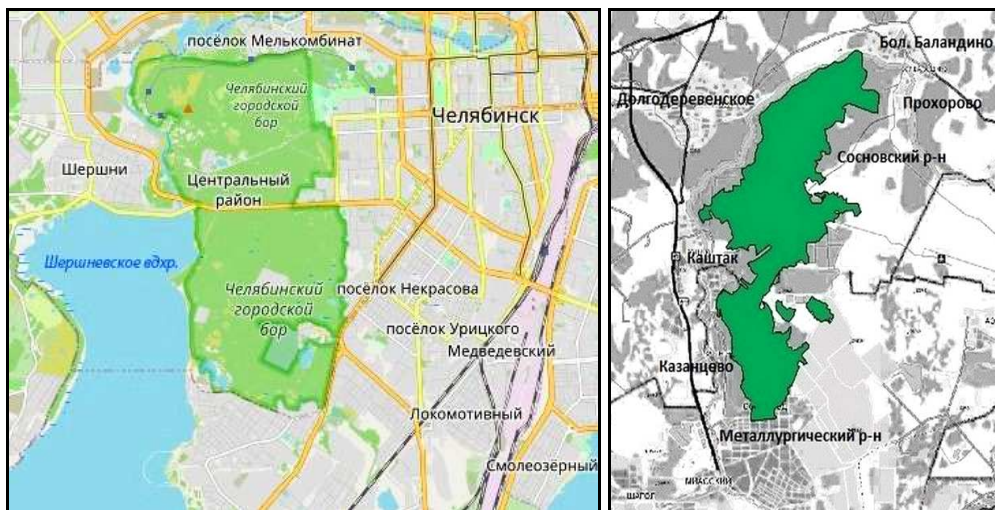


Рис. 1. Памятники природы «Челябинский (городской) бор» (слева) и «Каштакский бор» (справа).

Эти уникальные островные боры считаются реликтами перигляциальной лесостепи, экосистемами, сформировавшимися на рубеже верхнего плейстоцена и голоцена (около 10 тыс. лет назад) в период аридизации климата и отступления сплошной лесной зоны на север. Их современная флора начала формироваться в середине голоцена – в Атлантикуме – около 7 тыс. лет назад [38]. В начале XVIII в., согласно историческим сведениям, Челябинский и Каштакский боры вплотную подходили друг к другу (Moses Albrut, неопубликованные данные, [39]), но впоследствии значительная часть насаждений была уничтожена и эти территории попали под городскую застройку. Как писал профессор А. Д. Сысоев, «за период с 1736 по 1966 год, то есть, за 230 лет территория Челябинского бора сократилась более чем на две трети, и особенно интенсивно это сокращение проходило за последние 20–30 лет, в связи с ростом города и его населения» [40]. В конце 60-х годов стала очевидной необходимость придания им природоохранного статуса.

Сегодня это не только ботанические памятники природы, но и территории, выполняющие важные экологические функции и активно используемые для рекреации. Достаточно сказать, что ежегодно Челябинский бор посещает не менее 3 млн. человек, на его территории находятся три карьера, два поселка и действующее кладбище, а в центральной части Каштакского бора располагается крупный многоэтажный жилой комплекс, базы отдыха, детские лагеря и другие объекты.

Оба бора расположены на Челябинском гранитном массиве и возвышаются над уровнем р. Миасс на 25–60 м. Во многих местах имеются выходы гранитного фундамента на поверхность в виде россыпей, каменных глыб, матрасовидных отделенностей и больших плит нескольких разновидностей гранита.

Основной лесообразующей породой является *Pinus sylvestris*, а на отдельных участках – *Betula pendula*. Древостой разреженный, обычно одноярусный, средний возраст насаждений основных лесообразующих пород составляет 60–70 лет, максимальный (сосны) – 140–150 лет. Береза всегда присутствует и в сосновых насаждениях; доля ее участия может достигать 20–30 % – образуются смешанные, сосново-березовые древостои.

Во втором ярусе (если он выражен) преобладают *Malus sylvestris* (яблоня лесная), *Sorbus aucuparia* (рябина обыкновенная), в местах, подверженных рекреации и вблизи построек, – *Acer negundo* (клён ясенелистный), *Caragana arborescens* (карагана древовидная), *Ulmus laevis* (вяз гладкий) и *U. pumila* (вяз приземистый) заносного (семенного) происхождения. В условиях избыточного увлажнения (обычно вдоль ручьев) встречаются *Alnus glutinosa* (ольха черная), *Viburnum opulus* (калина обыкновенная) и *Prunus padus* (черемуха обыкновенная). В долине реки Миасс широко представлены *Salix alba* (ива белая) и *S. cinerea* (ива пепельная), а также *Alnus glutinosa*, иногда *Betula pubescens* (береза пушистая). В кустарниковом ярусе преобладают *Cotoneaster melanocarpus* (кизильник черноплодный), *Crataegus sanguinea* (боярышник кроваво-красный), *Cytisus ruthenicus* (ракитник русский), *Lonicera xylosteum* (жимолость настоящая), *Prunus tomentosa* (вишня войлочная), *Rubus idaeus* (малина обыкновенная), *Rosa cinnamomea* (шиповник майский), *Sambucus racemosa* (бузина красная).

В условиях достаточного увлажнения произрастает *Populus tremula*, местами образующая выраженные парцеллярные структуры. Встречаются небольшие мертвопокровные насаждения *Tilia cordata*.

И в Челябинском (городском), и в Каштакском борах сохранившиеся естественные насаждения перемежаются с обширными участками лесопосадок (культур) сосны, занимающими более 30 % от общей площади. В зонах активной рекреации, у дорог, поселков и вблизи садовых товариществ имеются участки искусственных насаждений, состоящие из *Acer negundo*, *A. platanoides*, *Fraxinus pennsylvanica*, *Larix sibirica*, *Ulmus laevis*, *U. pumila*, *Quercus robur* и *Caragana arborescens*. Обычно в них в небольшом количестве присутствуют сосна и береза.

Незначительные площади занимают культуры лиственницы сибирской (*Larix sibirica*), а в Каштакском бору также ели европейской (*Picea abies*).

Травяной ярус сложный по составу и включает различные виды злаков, бобовых, сложноцветных, норичниковых, розоцветных, гречишных, зонтичных, лютиковых, крестоцветных, гераниевых, бурачниковых, губоцветных, подорожниковых и др.

Работы осуществляли на регулярных маршрутах и ключевых участках, включая также водные объекты (ручьи, реки, пруды, временные водоемы) и прибрежные биотопы. Протяженность маршрутов в зависимости от погодных условий и конкретных задач составляла от 3 до 15 км. Они охватывали почти все наиболее характерные типы сообществ, в т.ч. частично преобразованные человеком. Применяли ручной сбор, отлов с помощью сачка для кошения, воздушного и водного энтомологических сачков. Численность определяли по имаго путем прямого подсчета числа особей на единицу площади (в границах 1 га) или учетной полосы. Фотографировали характерные биотопы и найденных в них насекомых.

Отловленных беспозвоночных в полевых условиях умерщвляли с помощью этилового эфира уксусной кислоты (этилацетата), хранили на ватных матрасиках, в бумажных конвертах, либо фиксировали в 70 %-ном спирте и помещали в пробирки. В лабораторных условиях имаго стрекоз, прямокрылых, равнокрылых, ручейников, сетчатокрылых, чешуекрылых, перепончатокрылых и двукрылых расправляли на расправилках, а жуков и клопов наклеивали в разных положениях (при достаточном числе особей) на треугольные пластинки из прозрачной пластиковой пленки и эти пластинки своим широким основанием накалывали на энтомологические булавки. Каждый экземпляр насекомых снабжали стандартными этикетками, напечатанными на плотной бумаге с помощью программы Labels. Для определения насекомых были использованы «Определители насекомых Европейской части СССР» [46–49]. Все собранные материалы хранятся у авторов статьи.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Всего мы приводим 44 вида из 21 семейства и 8 отрядов, распределенных в две группы.

1. Охраняемые виды, внесенные в Красную книгу Челябинской области

Выявлено 18 видов региональной Красной книги, принадлежащих к 10 семействам и 6 отрядам: в Челябинском бору их 12 видов из 9 семейств и 6 отрядов, в Каштакском – 11 видов из 7 семейств и 4 отрядов (табл. 1).

Три вида внесены в Красную книгу Российской Федерации [44] – *Anax imperator* (Odonata, Aeschnidae), *Saga pedo* (Orthoptera, Tettigoniidae), *Parnassius apollo* (Lepidoptera, Papilionidae).

Таблица 1
Охраняемые насекомые Челябинского (городского) и Каштакского боров

Виды насекомых и (в скобках) категория статуса	Выявленные местообитания		Численность (плотность) в местах обнаружения
	Челябинский (Городской) бор	Каштакский бор	
1	2	3	4
Отряд Odonata			
Семейство Aeschnidae <i>Anax imperator</i> Leach, 1815 (II)	Опушки сосновых насаждений и луга на северном берегу Шершнёвского водохранилища	Луговые сообщества у водоканала Челябинского металлургического комбината (далее – ЧМК)	До 2 особей на 1 га
Семейство Gomphidae <i>Ophiogomphus cecilia</i> (Fourcroy, 1785) (III)	–	Опушки леса и грунтовые дороги	1 особь на 1 га
Семейство Libellulidae <i>Leucorrhinia caudalis</i> (Charpentier, 1840) (III)	–	Высокотравные луга на южном берегу безымянного пруда	1 особь на 1 га
Отряд Orthoptera			
Семейство Tettigoniidae <i>Saga pedo</i> (Pallas, 1771) (III)	Разнотравные луга на главной ЛЭП	–	1 особь на 1 га
Отряд Hemiptera			
Семейство Nepidae <i>Ranatra linearis</i> (Linnaeus, 1758) (III)	Пруд Коммунар; правый берег р. Миасс в черте города	–	До 2 особей на 25 погонных метров береговой полосы
Отряд Lepidoptera			
Семейство Papilionidae <i>Parnassius apollo</i> (Linnaeus, 1758) (III)	Луговые сообщества у северного берега водохранилища; участки трехлетних культур сосны	Луговые сообщества на высоких берегах р. Миасс; лесные опушки	До 2 особей на 1 га

Продолжение таблицы 1

1	2	3	4
Отряд Hymenoptera			
Семейство Apidae <i>Bombus distinguendus</i> Morawitz, 1869 (III)	Лесные опушки	–	1 особь на 1 га
Семейство Apidae <i>Bombus hypnorum</i> (Linnaeus, 1758) (III)	–	Участки старых садов	До 2 особей на 1 га
Семейство Apidae <i>Bombus lucorum</i> Linnaeus, 1761 (III)	–	Лесные поляны	1 особь на 1 га
Семейство Apidae <i>Bombus maculidorsis</i> Scorikov, 1922 (II)	Лесные опушки	Лесные опушки	1 особь на 1 га
Семейство Apidae <i>Bombus muscorum</i> (Linnaeus, 1758) (III)	Лесные опушки	–	1 особь на 1 га
Семейство Apidae <i>Bombus pratorum</i> (Linnaeus, 1761) (II)	Разнотравные луга вдоль сосновых насаждений	–	1 особь на 1 га
Семейство Apidae <i>Bombus serratipes</i> Morawitz, 1888 (III)	–	Разнотравные луга вдоль грунтовых дорог	1 особь на 1 га
Семейство Apidae <i>Bombus terrestris</i> Linnaeus, 1758 (III)	Лесные поляны и опушки сосновых насаждений	Опушки сосновых насаждений	До 2 особей на 1 га
Семейство Apidae <i>Bombus veteranus</i> (Fabricius, 1793) (III)	Опушки сосновых насаждений	–	1 особь на 1 га
Семейство Megachilidae <i>Megachila rotundata</i> (Fabricius, 1787) (III)	Луговые сообщества в пойме р. Миасс	–	1 особь на 1 га
Отряд Diptera			
Семейство Asilidae <i>Laphria gibbosa</i> (Linnaeus, 1758) (IV)	Старые вырубki и гари; лесные просеки	Лесные просеки и старые гари	До 2 особей на 1 га
Семейство Bombyliidae <i>Bombylius major</i> Linnaeus, 1758 (III)	–	Лесные дороги и опушки сосново-березовых насаждений	До 5 особей на 1 га
Всего видов: 18	12	11	

Дадим краткую характеристику распространения этих видов в регионе с учетом сведений из Красной книги и полученных нами новых данных (за 2024 г. пока неопубликованных), некоторых биоэкологических особенностей и информацию о статусе в Красных книгах соседних с Челябинской областью территориях – Республики Башкортостан, Курганской, Оренбургской и Свердловской областей.

Отряд **Стрекозы** – Odonata

Семейство **Коромысла** – Aeschnidae

Дозорщик-император *Anax imperator* Leach, 1815 (рис. 1А). II категория. Вид с сокращающейся численностью [34].

В период с 2007 по 2014 гг. в большом числе (до 7 особей на 1 га) мы отмечали этот вид в черте г. Челябинска, а именно, в Никольской роще (Тракторозаводский р-н) [34], но в последующие годы в связи с благоустройством этой территории численность стала резко снижаться.

В мае 2020 г. мы регулярно встречали стрекозу в Каштакском бору у пос. Каштак на опушках сосново-березовых насаждений вдоль восточного берега водоканала ЧМК [37]. В июне 2023 г. она была обнаружена на опушке леса в Челябинском (городском) бору в районе пос. АМЗ [35].

Максимальная наблюдаемая численность составляла 2 особи на 1 га. Период лёта охватывал май – июль.

Таким образом, все находки дозорщика в области (3 локалитета) приходятся на территорию г. Челябинска и его окрестностей.

Вид внесен в Красные книги РФ (5 категория) [44], Республики Башкортостан (III категория) [43], Курганской (II категория) [41], Оренбургской (II категория) [42] областей, а также представлен в Красных книгах 30 других субъектов Российской Федерации.

Семейство **Дедки** – Gomphidae

Рогатый змеедедка *Ophiogomphus cecilia* (Fourcroy, 1785) (рис. 1Б). III категория. Редкий вид [34].

По материалам Красной книги Челябинской области населяет территории лесной, лесостепной и отчасти степной зон. Обитает в Ильменском заповеднике, Харлушевском заказнике, в Карабашском, Магнитогорском гор. округах, на побережье оз. Увильды, реках Атя, Бол. Кизил, Гумбейка, Зингейка, Миасс, Юрюзань [34].

В Каштакском бору был зарегистрирован на открытых участках леса и грунтовых дорогах у пос. Каштак (Сосновский р-н) в 2020 г. [37].

После выхода второго издания Красной книги Челябинской области нами был обнаружен в Аршинском, Карагайском, Серпиевском, Шабуровском заказниках, на территориях памятников природы «Травниковский бор» (Чебаркульский р-н) и «Черный бор» (Чесменский р-н), в Верхнеуральском, Каслинском и Нязепетровском р-нах [37]. В 2024 г. отмечен на грунтовых лесных дорогах у пос. Тюлюк (Катав-Ивановский р-н).

Численность всюду низкая, в отдельные годы вид не встречается. Период лёта – июнь – август.

С учетом данных Красной книги [34] и всех наших материалов в регионе известно 25 местонахождений змееедки.

Вид включен в Красные книги еще трех субъектов РФ.



А

Б

Рис. 1. *Anax imperator* (А) (фото Б. В. Красуцкого); *Ophiogomphus cecilia* (Б) (фото В. А. Гашек).

Семейство **Настоящие стрекозы** – Libellulidae

Тонкохвостая белоноска *Leucorrhinia caudalis* (Charpentier, 1840). III категория. Редкий вид [34].

Отмечался на оз. Акакуль, у пос. Атлян и на р. Миасс, а также на оз. Бол. Миассово и на оз. Увильды [34].

В 2020 г. обнаружен на берегу небольшого, сильно заросшего пруда в Каштакском бору (Сосновский р-н) [37].

В последующие годы вид не находили; всего в регионе известно 6 локалитетов этой стрекозы.

Отряд **Прямокрылые** – Orthoptera

Семейство **Настоящие кузнечики** – Tettigoniidae

Степная дыбка *Saga pedo* (Pallas, 1771) (рис. 2А). III категория. Редкий вид [34].

В Челябинской области встречается редко и локально; зарегистрирован в Троицком р-не (Троицкий, Санарский заказники), Кизильском, Карталинском р-нах и в окрестностях г. Магнитогорска, имеются сведения о находках в Сосновском и Октябрьском районах, найден в Карагайском и Черноборском заказниках, в Варненском и Верхнеуральском районах, в Брединском бору, в долине р. Уй у пос. Осиповка, на р. Курасан у пос. Копаловский, в окрестностях сел Алексеевка и Полоцкое, в Челябинском (городском) бору [34].

В последующие годы дыбку в Челябинском бору не находили.

В августе 2017 г. одна особь обнаружена на разнотравно-злаковом лугу в юго-западной части Брединского заказника. В 2020 и 2021 гг. также по одной особи отмечено на остепненных, разнотравно-ковыльных участках в Верхнеуральском и Уйском р-нах [37]. Имаго встречены с середины июня по сентябрь.

Всего известно 20 местонахождений этого вида в регионе.

Внесен в Красные книги РФ (2 категория) [44], Республики Башкортостан (III категория) [43], Курганской (II категория) [41], Оренбургской (II категория) [42] областей, представлен в Красных книгах еще 22 субъектов РФ.

Отряд **Полужесткокрылые** – Hemiptera
Семейство **Водяные скорпионы** – Nepidae

Палочковидная ранатра *Ranatra linearis* (Linnaeus, 1758). III категория. Редкий вид [34].

В Челябинской обл. найден в озерах Ильменского, Восточно-Уральского заповедников и заповедника «Аркаим», в прудах Черноборского заказника, озерах Бол. Акакуль и Алакуль, на реках Аша у пос. Точильный, Тогузак, у с. Алексеевка, в пруду Коммунар в г. Челябинске, Миньярском пруду и оз. Чебаркуль [34].

В 2023 г. две особи отловлены в мелководной зоне на правом берегу р. Миасс у пруда Коммунар (Челябинский бор). Ниже по течению клоп не обнаружен, вероятно, из-за загрязнения воды коммунальными и промышленными стоками.

Ранее, в 2020 г. две особи обнаружены на мелководье западного берега оз. Тургояк (Миасский гор. округ), в 2022 г. одна особь отмечена в мелководной зоне с обилием водных растений на западном берегу оз. Мал. Миассово (Аргаяшский р-н) [37].

Всего в регионе известно 14 местонахождений вида.

Внесен в Красную книгу Курганской обл. (IV категория) [41], а также представлен в Красных книгах еще 10 субъектов РФ.

Отряд **Чешуекрылые** – Lepidoptera
Семейство **Парусники** – Papilionidae

Обыкновенный аполлон *Parnassius apollo* (Linnaeus, 1758) (рис. 2Б). III категория – редкий вид [34].

Широко распространен на территории Челябинской обл., встречается в степной, лесостепной и лесной зонах, где произрастают кормовые растения гусениц – *Sedum acre* (очиток едкий), *S. purpureum* (очиток пурпурный) [34].

В одной из работ А. В. Лагунов [1] отнес обыкновенного аполлона к числу вероятно исчезнувших с территории Челябинского бора видов чешуекрылых. В 2010–2011 гг. мы обнаружили двух бабочек в Челябинском (городском) бору на разнотравном лугу у северного берега Шершнёвского водохранилища. В 2023 г. одна гусеница обнаружена на участке трехлетних культур сосны, на очитке пурпурном (*Sedum purpureum*) в самой восточной части Челябинского (городского) бора [35].

В период с 2017 по 2023 гг. нами отмечен в Ашинском, Брединском, Карагайском, Уйском заказниках, на территории памятников природы «Каштакский бор», «Черный бор», «Травниковский бор», в Верхнеуральском, Каслинском, Нязепетровском, Сосновском, Чесменском р-нах, в Миасском гор. округе [35, 37]. В 2024 г. нам стало известно об обитании аполлона в Восточно-Уральском заповеднике.

Всего к настоящему времени известно 34 локалитета этого вида. На некоторых территориях с прекрасной кормовой базой для гусениц, бабочка не обнаружена.

Внесен в Красные книги РФ [44] (2 категория), Республики Башкортостан [43] (III категория), Курганской [41] (II категория), Оренбургской [42] (II категория) и Свердловской областей [45] (III категория).



А



Б

Рис. 2. *Sago pedo* (А) (фото В. А. Гашек); *Parnassius apollo* (Б) (фото В. А. Гашек).

Отряд Перепончатокрылые – Hymenoptera

Семейство Пчелиные – Apidae

Шмель-чесальщик *Bombus distinguendus* Morawitz, 1869. III категория – редкий вид [34].

В Челябинской обл. известен из Ильменского, Восточно-Уральского заповедников и Троицкого заказника, обнаружен также в окрестностях городов Челябинск и Копейск и на Аблязовских лугах в Агаповском р-не [34].

В мае 2018 г. и июне 2023 г. вид был отловлен на опушке леса на территории памятника природы «Челябинский (городской) бор» [35, 37].

Затем, в июне 2018 г., обнаружен на суходольном лугу в окрестностях пос. Сурменевский (Верхнеуральский р-н), в июле – на территории Черноборского заказника. В июне 2021 г. был отмечен в окрестностях пос. Линёвка (Верхнеуральский р-н), а в июле 2021 г. – на разнотравных лугах Ашинского заказника у р. Мал. Аша [37]. В июне 2024 г. мы подтвердили обитание вида в Восточно-Уральском заповеднике.

Всего сегодня в области известно 11 локалитетов этого вида.

Вид внесен в Красную книгу еще одного субъекта РФ.

Дупловой шмель *B. hypnorum* (Linnaeus, 1758) (рис. 3А). III категория. Редкий вид [34].

В Челябинской области зарегистрирован на территории Ильменского заповедника, в окрестностях оз. Тургояк и в Троицком заказнике [34].

В 2023 г. отмечен в Каштакском бору на цветках яблони (*Malus*) [35].

Ранее, в 2021 г., две особи отмечены у дороги вдоль р. Мал. Аша на цветках бодяка (*Cirsium*) и лопуха большого (*Arctium lappa*) в Ашинском заказнике. В июле 2022 г. обнаружен в с. Алабуга (Красноармейский р-н) [37], а в июле 2023 г. – в северной части Уйского заказника на синяке обыкновенном (*Echium vulgare*) [35].

Таким образом, в регионе 7 местонахождений этого вида.

Представлен в Красных книгах двух других субъектов РФ.

Норовой шмель *B. lucorum* (Linnaeus, 1761). III категория. Редкий вид [34].

Вероятно, распространен по всей территории Челябинской области. Достоверно известен из Ильменского и Восточно-Уральского заповедников, Троицкого заказника, отмечен на Аблязовских лугах в Агаповском р-не. Возможны находки в заповеднике «Аркаим» [34].

В июне 2020 г. отмечен на цветках вероники (*Veronica*) и горошка мышиного (*Vicia cracca*) в окрестностях пос. Каштак в Каштакском бору [37].

В июле 2023 г. обнаружен на цветках синяка обыкновенного и чертополоха (*Carduus*) на обочинах грунтовых дорог, проходящих через остепненные луга Уйского заказника [35].

Всего в регионе 6 местонахождений этого вида.

Внесен в Красную книгу Курганской области [41] (III категория) и Красную книгу еще одного субъекта РФ.

Пятнистоспинный шмель *B. maculidorsis* Scoville, 1922.

II категория – вид с сокращающейся численностью [34].

В Челябинской обл. обнаружен в Ильменском заповеднике. Возможно, встречается в окрестностях оз. Тургояк [34].

В 2023 г. был неоднократно отмечен на опушках лесов в Каштакском и Челябинском (городском) борах, на территории аэропорта Челябинск, почти вплотную подходящему к Каштакскому бору [35, 37].

В период с 2018 г. по 2023 г. был обнаружен на левом берегу р. Бол. Караганка, в окрестностях пос. Измайловский (Кизильский р-н), у пос. Ковыльный (Чесменский р-н) и на разнотравных лугах Уйского заказника [35, 37].

Таким образом, сегодня известно 6 локалитетов этого вида в регионе.

Моховой шмель *B. muscorum* (Linnaeus, 1758) (рис. 3Б).

III категория – редкий вид [34].

Вероятно, распространен по всей территории Челябинской обл., но достоверно известен из Ильменского заповедника, национальных парков «Таганай» и «Зюраткуль», Троицкого заказника [34].

В августе 2017 г. обнаружен на территории памятника природы «Челябинский (городской) бор»

В период с 2018 по 2023 гг. отмечен на разнотравных лугах Ашинского, Карагайского, Уйского заказников, в Черном бору и у пос. Ковыльный (Чесменский р-н), а также в аэропорту г. Челябинска [35, 37]. В 2024 г. найден в Восточно-Уральском заповеднике.

Всего на сегодняшний день известно 12 местонахождений вида в регионе.

Внесен в Красные книги Свердловской [45] (III категория) и Курганской [41] (III категория) областей, а также в Красные книги 32 других субъектов РФ.

Луговой шмель *Bombus pratorum* (Linnaeus, 1761). II категория. Вид с сокращающейся численностью [34].

В Челябинской обл. был отмечен только в Ильменском заповеднике [34].

В июле 2017 г. обнаружен на территории памятника природы «Челябинский (городской) бор»

В июле 2018 г. найден на территории памятника природы «Черный бор» у пос. Черноборский (Чесменский р-н). В последующие годы (2019–2023 гг.) был отмечен

на лугах Ашинского заказника, на горном лугу нац. парка «Зигальга», в Ботаническом саду Челябинского государственного университета. Обработка коллекций за период с 1996 по 2007 гг. показала, что вид ранее обитал в окрестностях ж/д станции Кисегач (Чебаркульский гор. округ) и пос. Мирный (Сосновский р-н) [35, 37].

Таким образом, сегодня известно 7 локалитетов этого вида в Челябинской области.

Представлен в Красных книгах еще трех субъектов РФ.



А

Б

Рис. 3. *Bombus hypnorum* (А) (фото В. А. Гашек); *Bombus muscorum* (В) (фото В. А. Гашек)

Пластинчатозубый шмель *B. serratissima* Morawitz, 1888 (рис. 4А). III категория – редкий вид [34].

Вероятно, встречается по всей территории области. Неоднократно регистрировали в Ильменском заповеднике и Троицком заказнике, есть сведения о находках в окрестностях г. Троицка [34].

В июне – августе 2023 г. был довольно обычен на разнотравных лугах в Каштакском бору и на территории Челябинского аэропорта [35].

В период с 2017 по 2023 гг. обнаружен в Ашинском, Брединском, Карагайском, Серпиевском, Черноборском, Уйском заказниках, на территории нац. парка «Зигальга», в Черный бору (Чесменский р-н), в устье р. Ниж. Тогузак (Варненский р-н), в окрестностях поселков Линевка, Сурменевский (Верхнеуральский р-н), Зингейский, Мусин (Кизильский р-н), Копаловский (Нагайбакский р-н), Ковыльный (Чесменский р-н), и в окрестностях с. Степнинское (Пластовский р-н) [37]. В июне 2024 г. впервые найден в Каслинском р-не.

Общее число местонахождений этого шмеля в области достигает 22.

Вид внесен в Красную книгу Свердловской области [44] (III категория) и Красные книги еще 19 субъектов РФ.

Земляной шмель *B. terrestris* Linnaeus, 1758 (рис. 4Б). III категория – редкий вид [34].

Вероятно, распространен по лесостепной и степной зонам Челябинской обл., но достоверно указан для Ильменского и Восточно-Уральского заповедников, Агаповского р-на (г. Воровская) [34].

На территории памятников природы «Каштакский бор», «Челябинский (городской) бор» этого шмеля регулярно находили в разное время (апрель – сентябрь) с 2018 по 2023 гг. [35, 37].

Также в период с 2018 по 2023 гг. отмечен на лугах и опушках лесов в Ашинском, Карагайском, Серпиевском, Уйском, Черноборском заказниках на памятниках природы «Гора Маячная» (Брединский р-н), «Травниковский бор» (Чебаркульский р-н), в окрестностях пос. Новоянгелька (Агаповский р-н), д. Уразбаева (Аргаяшский р-н), пос. Рымникский (Брединский р-н), пос. Комсомольский (Варненский р-н), с. Медведевка (Кусинский р-н), с. Травники (Чебаркульский р-н) [35, 37].

Всего на территории региона известно 18 местонахождений этого шмеля.



А



Б

Рис. 4. *Bombus serratipes* (А) (фото В. А. Гашек); *Bombus terrestris* (Б) (фото С. М. Овчинникова)

Конский шмель, или ветеранус *B. veteranus* (Fabricius, 1793). III категория – редкий вид [34].

В Челябинской обл. зарегистрирован в Троицком заказнике и в Агаповском районе (Аблязовские луга, гора Воровская) [34].

В начале июня 2023 г. одна особь отмечена на цветках кизильника черноплодного (*Cotoneaster melanocarpus*) на опушке леса в Челябинском (городском) бору [35].

Всего в регионе выявлено 3 местонахождения вида.

Семейство **Мегахилы** – Megachilidae

Округлая мегахила *Megachila rotundata* (Fabricius, 1787). III категория. Редкий вид [34].

В Челябинской обл. отмечен в Троицком заказнике, в Челябинском (городском бору) и в Никольской роще г. Челябинска [34].

В августе 2023 г. обнаружена на разнотравном лугу у р. Миасс в Челябинском (городском) бору [35], что подтверждает обитание этого вида здесь до настоящего времени.

В период с 2018 по 2022 гг. мегахилу отмечали в Ашинском и Карагайском заказниках, в Каслинском р-не, Чебаркульском гор. округе [37].

Всего в области 6 местонахождений вида.

Вид представлен в Красных книгах еще 14 субъектов РФ.

Отряд **Двукрылые** – Diptera

Семейство **Ктыри** – Asilidae

Горбатый ктырь *Laphria gibbosa* (Linnaeus, 1758) (рис. 5А). IV категория – вид с неопределенным статусом. Встречается по всей Челябинской обл., чаще в лесостепной зоне [34].

В период с 2018 по 2023 гг. вид неоднократно регистрировали на территориях памятников природы «Каштакский бор», «Челябинский (городской) бор» [35, 37].

В разное время сезона с 2018 по 2023 гг. горбатый ктырь оказался нередким в Карагайском Серпиевском, Черноборском и Уйском заказниках, Травниковском бору, а также в окрестностях с. Арасланово (Нязепетровский р-н) [35, 37].

Внесен в Красные книги 8 других субъектов РФ.

Семейство **Жужжало** – Bombyliidae

Большое жужжало *Bombylius major* Linnaeus, 1758 (рис. 5Б). III категория редкий вид [34].

В Челябинской обл. отмечался в Ильменском заповеднике, в Еткульском бору, на Аблязовских лугах, на горе Воровской, в Кизильском районе у пос. Путь Октября, в Нагайбакском районе у пос. Копаловский и в урочище Соляной лог у пос. Арсинский, а также в окрестностях с. Варламово [34].

В период с 2018 по 2023 гг. был обнаружен на территориях памятников природы «Каштакский бор», «Челябинский (городской) бор» [35, 37].

В разное время сезона с 2018 по 2023 гг. оказался довольно обычным в Ашинском, Карагайском, Уйском заказниках, Травниковском бору, в окрестностях поселков Комсомольский (Варненский р-н), Линевка, Смирновский (Верхнеуральский р-н), Измайловский (Кизильский р-н), Осиповка (Троицкий р-н), с. Черновское (Миасский гор. округ), д. Жукова (Каслинский р-н), в окрестностях аэропорта Челябинск [35, 37].

В мае 2024 г. обнаружен на грунтовой дороге в окрестностях с. Катенино (Варненский р-н).

Общее число местонахождений вида в регионе – 22.

Таким образом, на территориях памятников природы «Челябинский (городской) бор» и «Каштакский бор» обитают:

Виды II категории статуса (сокращающиеся в численности) – 3 вида (*Anax imperator*, *Bombus maculidorsis*, *B. pratorum*).

Виды III категории статуса (редкие) – 14 видов (*Ophiogomphus cecilia*, *Leucorhynia caudalis*, *Sago pedo*, *Ranatra linearis*, *Parnassius apollo*, *Bombus distinguendus*, *B. hypnorum*, *B. lucorum*, *B. muscorum*, *B. serrisquama*, *B. terrestris*, *B. veteranus*, *Megachila rotundata*, *Bombylius major*);

Виды IV категории статуса (неопределенные по статусу) – 1 вид (*Laphria gibbosa*).



А

Б

Рис. 5. *Laphria gibbosa* (А) (фото В. А. Гашек); *Bombylius major* (Б) (фото В. А. Гашек)

Они составляют 19 % от общего числа видов насекомых, представленных в региональной Красной книге. Общее число их упомянутых местонахождений в Челябинской области по материалам Красной книги составляет 106, а с учетом наших данных – 238 (рис. 6).

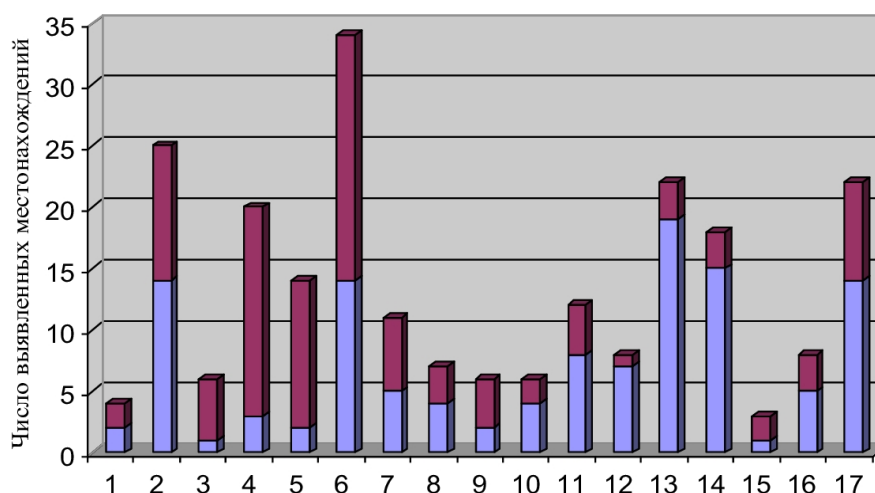


Рис. 6. Число местонахождений охраняемых насекомых по данным Красной книги Челябинской области (выделено синим цветом) и данным авторов (выделено красным цветом).

Цифрами обозначены: 1 – *Anax imperator*, 2 – *Ophiogomphus cecilia*, 3 – *Leucorrhinia caudalis*, 4 – *Saga pedo*, 5 – *Ranatra linearis*, 6 – *Parnassius apollo*, 7 – *Bombus distinguendus*, 8 – *B. hypnorum*, 9 – *B. lucorum*, 10 – *B. maculidorsis*, 11 – *B. muscorum*, 12 – *B. pratorum*, 13 – *B. serrisquama*, 14 – *B. terrestris*, 15 – *B. veteranus*, 16 – *Megachila rotundata*, 17 – *Bombylius major*.

Примечание: не отражена *Laphria gibbosa*, т.к. встречается по всей территории области [34].

2. Редкие и малоизвестные насекомые Челябинского (городского) и Каштакского боров

Анализ многолетних данных по видовому составу основных групп насекомых, распределения по территории их представителей в Челябинском (городском) и Каштакском борах, динамики численности и некоторых других биоэкологических особенностей, позволил отнести к этой группе по меньшей мере 26 видов насекомых из 15 семейств и 7 отрядов. В Челябинском бору их 16 видов из 12 семейств и 6 отрядов, в Каштакском – 16 видов из 11 семейств и 5 отрядов (табл. 2).

С учетом того, что энтомофауна наших боров изучена крайне недостаточно, мы допускаем, что таких видов может быть как минимум на порядок больше, а при использовании жестких критериев степени изученности и редкости – существенно больше. Наша задача значительно уже и состоит в том, чтобы обратить внимание на некоторых наиболее интересных представителей важнейших групп насекомых, отдельные из которых, возможно, являются потенциальными кандидатами в новое издание Красной книги Челябинской области или требуют особого внимания к состоянию их популяций.

Таблица 2
Редкие и малоизвестные насекомые Челябинского (городского) и Каштакского боров

Виды насекомых	Выявленные местообитания		Численность (плотность) в местах обнаружения
	Челябинский (городской) бор	Каштакский бор	
1	2	3	4
Отряд Odonata			
Семейство Aeschnidae <i>Anax parthenope</i> (Selys, 1839)	–	Старые садовые участки у южной границы	1 особь на 1 га
Семейство Aeschnidae <i>Aeschna isosceles</i> (Muller, 1767)	Разнотравные луга и грунтовые дороги у водохранилища	–	До 5 особей на 1 га
Семейство Libellulidae <i>Libellula fulva</i> Muller, 1764	–	Опушки сосново-березовых насаждений	До 2 особей на 1 га
Семейство Libellulidae <i>Sympetrum pedemontanum</i> (Muller, 1776)	Луга прибрежной зоны р. Миасс у Шершневого водохранилища	–	В отдельные годы до 1000 и более особей на 1 га

Отряд Orthoptera			
1	2	3	4
Семейство Tettigoniidae <i>Decticus verrucivorus</i> (Linnaeus, 1758)	–	Опушки березняков высокотравных	1 особь на 1 га
Отряд Coleoptera			
Семейство Staphylinidae <i>Scaphidium</i> <i>quadrимaculatum</i> (Olivier, 1771)	Березово-сосновые насаждения	–	До 2 особей на 1 га
Семейство Trogossitidae <i>Ostoma ferruginea</i> (Linnaeus, 1758)	Спелые сосняки	–	До 2 особей на 1 га
Семейство Trogossitidae <i>Peltis grossa</i> (Linnaeus, 1758)	–	Разреженные сосново- березовые насаждения	До 3 особей на 1 га
Семейство Meloidae <i>Meloe proscarabaeus</i> Linnaeus, 1758	–	Прогретые солнцем тропинки вдоль молодых культур сосны	1 особь на 1 га
Отряд Raphidioptera			
Семейство Raphidiidae <i>Raphidia ophiopsis</i> Linnaeus, 1758	В сосновых насаждениях у гранитных карьеров	–	До 20 особей на 1 га
Отряд Lepidoptera			
Семейство Papilionidae <i>Iphiclides podalirius</i> (Linnaeus, 1758)	Опушки сосняков разнотравных у автодорог	Разнотравные луга у водоканала ЧМК	1 особь на 1 га
Семейство Pieridae <i>Pieris brassicae</i> Linnaeus, 1758	Опушки сосновых и сосново- березовых насаждений	Территории у садовых товариществ	1 особь на 1 га
Семейство Lycaenidae <i>Glaucopsyche alexis</i> (Poda, 1761)	–	Опушки березово- сосновых насаждений; разнотравные луга	1 особь на 1 га
Семейство Nymphalidae <i>Apatura iris</i> (Linnaeus, 1758)	Территория кладбища; здания лыжной базы	Грунтовые дороги в березняках	До 2 особей на 1 га

Продолжение таблицы 2

1	2	3	4
Семейство Nymphalidae <i>Limenitis camilla</i> (Linnaeus, 1764)	–	Опушки березовых лесов	1 особь на 1 га
Семейство Nymphalidae <i>Limenitis populi</i> (Linnaeus, 1758)	Грунтовые дороги вдоль южной окраины бора	Территории у садовых товариществ	1 особь на 1 га
Семейство Nymphalidae <i>Euphydryas maturna</i> (Linnaeus, 1758)	–	Разнотравные луга на высоком берегу р. Миасс	1 особь на 1 га
Семейство Nymphalidae <i>Vanessa atalanta</i> (Linnaeus, 1758)	У старых деревянных построек, на опушках леса	У старых деревянных построек, в старых садах	1 особь на 1 га
Семейство Satyridae <i>Chazara briseis</i> (Linnaeus, 1764)	Вид приведен по данным [1]	–	Новых данных нет
Семейство Satyridae <i>Coenonympha hero</i> (Linnaeus, 1761)	Опушки сосновых насаждений	Грунтовые дороги в сосняках разнотравных	До 20 особей на 1 га
Семейство Satyridae <i>Coenonympha oedippus</i> (Fabricius, 1787)	Вид приведен по данным [1]	–	Новых данных нет
Семейство Satyridae <i>Oeneis tarpeja</i> (Pallas, 1771)	–	Рудеральные сообщества у поселка Каштак	1 особь на 1 га
Семейство Saturniidae <i>Agria tau</i> (Linnaeus, 1758)	Смешанные леса и лесные дороги	–	1 особь на 1 га
Отряд Hymenoptera			
Семейство Ichneumonidae <i>Megarhyssa perlata</i> (Christ, 1791)	–	Разреженные березовые насаждения	До 8 особей на 1 га
Семейство Ichneumonidae <i>Rhyssa persuasoria</i> (Linnaeus, 1758)	Спелые сосняки разнотравные	–	1 особь на 1 га
Отряд Diptera			
Семейство Conopidae <i>Conops flavifrons</i> Meigen, 1824	Разнотравные луга	–	1 особь на 1 га
Всего видов 26	16	16	

Отряд Стрекозы – Odonata

Семейство Коромысла – Aeschnidae

Темнолобый дозорщик *Anax parthenope* (Selys, 1839) (рис. 7А).

По опубликованным данным был известен только с территории Ильменского заповедника [23].

В 1975 г., а затем в период с 2006 по 2009 гг. в июне и июле один из авторов наблюдал имаго стрекоз у берегов оз. Чебаркуль (Чебаркульский гор. округ), а её личинки были отловлены в мелководной зоне озера.

25 мая 2023 г. этот вид обнаружили у южной границы Каштакского бора в старом саду. Стрекозы еще плохо летали. Численность низкая – 1 особь на 1 га. Предполагаемый водоем для развития личинок – находящийся в 700 м пруд на водоканале ЧМК. Возможный претендент в Красную книгу Челябинской области (категория статуса III – редкий вид).

Дозоркоромысло рыжеватое *Aeschna isosceles* (Muller, 1767).

Очень редкий теплолюбивый вид, нерегулярно встречающийся на Южном Урале. Впервые обнаружен нами в Челябинском бору в июне 2021 г. На участке разнотравного луга, протянувшегося вдоль опушки леса и грунтовой дороги у северного берега Шершнёвского водохранилища, летали 5 особей. Это место оказалось единственным локалитетом вида в бору. В последующие годы стрекозу не отмечали.

Необходимо специальное изучение биологии и экологии вида.

Семейство Настоящие стрекозы – Libellulidae

Плоскобрюх рыжий *Libellula fulva* Muller, 1764.

Необычная стрекоза с резким половым диморфизмом. Нами впервые зарегистрирована в Каштакском бору на опушке сосново-березового леса в июне 2021 г. В последующие годы её здесь не встречали, но обнаружили небольшую группировку в Никольской роще г. Челябинска.

Необходимы дополнительные исследования.

Перевязанная стрекоза *Sympetrum pedemontanum* (Muller, 1776) (рис. 7Б).

В августе 2006 г. найдена в Челябинском (городском) бору на значительном по протяженности участке берега р. Миасс от плотины Шершнёвского водохранилища до пруда «Коммунар». Популяция существует до сегодняшнего дня и в отдельные годы достигает высокой плотности (до 1000 особей и более на 1 га в районе урочища «Монахи»). Но это единственная группировка на всей территории бора, что можно объяснить высокой требовательностью вида к качеству воды (после выхода из плотины вода относительно чистая, затем ее качество под влиянием сбросов в черте города резко падает).

Отряд Прямокрылые – Orthoptera

Семейство Кузнечиковые – Tettigoniidae

Пестрый кузнечик *Decticus verrucivorus* (Linnaeus, 1758) (рис. 8А).

Эффектный, крупный кузнечик, ставший за последнее десятилетие (2013–2023 гг.) очень редким. Обитает в юго-восточной части Каштакского бора на хорошо прогреваемых солнцем опушках березовых лесов с богатым разнотравьем. Очень осторожен. Численность низкая – в местах обнаружения не более 1 особи на 1 га.



А

Б

Рис. 7. *Anax parthenope* (А) (фото В. А. Гашек); *Sympetrum pedemontanum* (Б) (фото В. А. Гашек)

Отряд **Жесткокрылые** – Coleoptera

Семейство **Стафилиниды** – Staphylinidae

Четырехпятнистая челновидка *Scaphidium quadrimaculatum* (Olivier, 1771).

Новый для Челябинской области вид, обнаруженный в 2023 году [31]. Заселял плодовые тела вешенок *Pleurotus pulmonarius* (Fr.) P. Kumm. на мертвой упавшей березе в сосново-березовом лесу у Шершневого водохранилища. По пищевой специализации – облигатный мицетофаг, развивается в древесных грибах. Пока это единственное место обнаружения вида в Челябинском (городском) бору.

В июле 2024 г. эту челновидку мы нашли на неокоренных бревнах березы в селе Тюлюк (Катав-Ивановский р-н).

Малоизученный вид, известный, главным образом, узкому кругу специалистов.

Семейство **Щитовидки** – Trogossitidae

Рыжая щитовидка *Ostoma ferruginea* (Linnaeus, 1758).

Также малоизвестный вид небольшого семейства ксило-мицетофильных жуков. Обнаружен в Челябинском (городском) бору в спелом сосновом лесу под корой старой, мертвой, упавшей сосны, пораженной окаймленным трутовиком *Fomitopsis pinicola* [28, 29]. В условиях лесостепи Челябинской области этот бореальный вид находится на южном пределе распространения и очень редок.

Потенциальный кандидат в Красную книгу (категория статуса III – редкий вид).

Большая щитовидка *Peltis grossa* (Linnaeus, 1758).

Редкий, недостаточно изученный вид, встречающийся в Каштакском бору в смешанных лесах обычно на плодовых телах грибов *Fomitopsis betulina* на березе и *Fomitopsis pinicola* на березе и сосне [33]. Личинки развиваются в бурых гнилях лиственных и хвойных деревьев.

Семейство **Нарывники** – Meloidae

Обыкновенная майка *Meloe proscarabaeus* Linnaeus, 1758 (рис. 8Б).

Впервые обнаружена в Каштакском бору в мае 2020 г. на участке молодых культур сосны. Пока это единственная находка за весь период наблюдений. Биология и экология вида в условиях бора не изучена.

Необходимы дополнительные исследования.



Рис. 8. *Decticus verrucivorus* (А) (фото Б. В. Красуцкого); *Meloe proscarabaeus* (В) (фото В.А. Гашек)

Отряд **Верблюдки** – Raphidioptera

Семейство **Верблюдки** – Raphidiidae

Тонкоусая верблюдка *Raphidia ophiopsis* Linnaeus, 1758.

Локально встречается в Челябинском бору на хорошо освещенных солнцем участках соснового леса у гранитных карьеров. Численность в местах обнаружения средняя (в июне до 20 особей на 1 га). Биология и экология в условиях бора изучена недостаточно.

Отряд **Чешуекрылые** – Lepidoptera

Семейство **Парусники** – Papilionidae

Подалирий *Iphiclides podalirius* (Linnaeus, 1758) (рис. 9А).

В 70-х и начале 80-х годов прошлого столетия бабочку можно было встретить даже в городе на цветущей сирени, а гусениц – на вишне. В Челябинском бору он обитал до конца 1990-х, местами был обычен, а затем исчез и появился вновь только в 2018 г. С 2021 г. до настоящего времени подалирий стал встречаться на лесных опушках и в Каштакском бору, но это единичные особи. На территории лесостепной зоны области бабочка бывает довольно обычной и в отдельные годы даже входит в число доминантов, но в наших борах это редкий и локально распространенный вид.

Семейство **Белянки** – Pieridae

Капустная белянка *Pieris brassicae* Linnaeus, 1758 (рис. 9Б).

Эта белянка, некогда один из обычных видов не только в Челябинском и Каштакском борах, но и во всем регионе, стала стремительно сокращаться в численности с 2012–2013 гг. В отдельные годы бабочка и вовсе исчезала. В 2023 г. единично вновь отмечалась на опушках лесов и вблизи садов. Но, по-прежнему, очень высока вероятность критического падения численности и исчезновения вида. Причины неизвестны, возможно гусеницы оказались очень чувствительными к пестицидам, масштабы применения которых в последние два десятилетия резко возросли.

Рекомендуем включить в третье издание региональной Красной книги (категория статуса II – вид с сокращающейся численностью).

Семейство **Голубянки** – Lycaenidae

Голубянка алексида *Glaucopsyche alexis* (Poda, 1761).

В июне 2019 г. впервые обнаружена на опушке сосново-березового леса в Каштакском бору. Впоследствии бабочку единично и не каждый год встречали на разнотравных лугах у пос. Каштак. На территории области также встречается локально и нерегулярно, в небольшом числе особей. Может оказаться уязвимой к антропогенному влиянию (разрушение местообитаний).



А



Б

Рис. 9. *Ipichlides podalirius* (А) (фото В. А. Гашек); *Pieris brassicae* (Б) (фото С. М. Овчинникова).

Семейство Нимфалиды – Nymphalidae

Большая переливница *Apatura iris* (Linnaeus, 1758) (рис. 10А).

Еще в 1985 г. А. В. Лагунов считал этот вид «вероятно исчезнувшим» [1]. Но в последние 10 лет бабочка из года в год стала все чаще появляться в Челябинском бору у старых построек и на территории кладбища, а в Каштакском бору – на грунтовых дорогах в лиственных лесах. Вид включен в приложение 3 Красной книги Челябинской области, но особого беспокойства не вызывает, поскольку численность его в последние годы увеличивается.

Ленточник камилла *Limenitis camilla* (Linnaeus, 1764) (рис. 10Б).

Обнаружен в Каштакском бору в июле 2019 г. на разнотравном лугу у березового леса. В последующие годы вид не отмечали. В лесной зоне на западе Челябинской области – один из обычных видов (в Ашинском заказнике входит в число доминантов), к востоку численность и встречаемость заметно уменьшаются.

Тополевый ленточник *Limenitis populi* (Linnaeus, 1758) (рис. 11А).

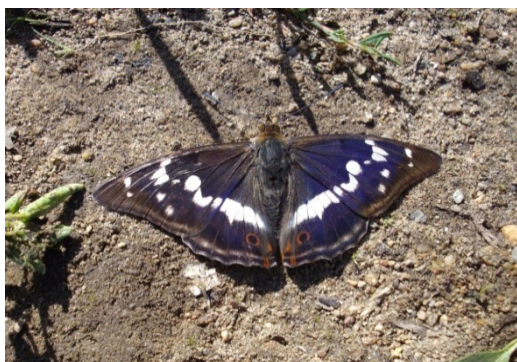
Из года в год все более редкий вид не только в наших борах, но и в целом на территории области. Встречается локально по лесным опушкам и на грунтовых дорогах неподалеку от водоемов и водотоков. Численность низкая (1 особь на 1 га). Исчез из некоторых местообитаний, где раньше был довольно обычен.

Шашечница матурна *Euphydryas maturna* (Linnaeus, 1758) (рис. 11Б).

Бабочка впервые обнаружена в восточной части Каштакского бора на разнотравном лугу у р. Миасс в июне 2021 г. В последующие годы мы её не встречали.

В целом вид в лесостепи Челябинской области распространен довольно широко, но численность в местах его обитания невысока. Необходимы специальные

исследования на территории бора для уточнения кормовой базы этой шашечницы, поскольку её гусениц находили в черте города.



А



В

Рис. 10. *Apatura iris* (А) (фото Б. В. Красуцкого); *Limenitis camilla* (В) (фото Б. В. Красуцкого).

Адмирал *Vanessa atalanta* (Linnaeus, 1758) (рис. 12А).

Вид с нестабильной численностью в обоих борах, в отдельные годы его вовсе не отмечали. В основном обитает у старых деревянных построек, на опушках смешанных лесов, в заброшенных садах, местами встречается на берегу р. Миасс, а также в черте города (в парках и скверах). В целом численность низка и имеет тенденцию к снижению.

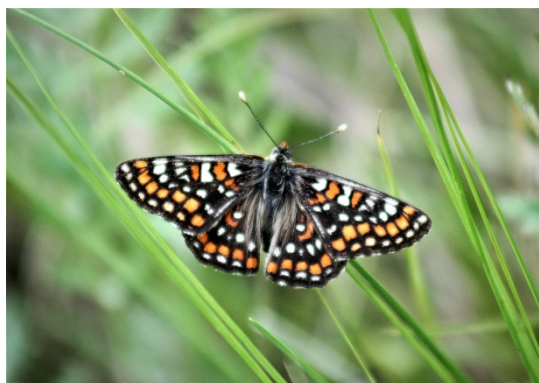


Рис. 11. *Limenitis populi* (А) (фото В. А. Гашек); *Euphydryas maturna* (В) (фото В. А. Гашек)

Семейство **Бархатницы** – Satyridae

Бризеида *Chazara briseis* (Linnaeus, 1764).

В 1985 г. А. В. Лагунов отнес эту бабочку к «вероятно исчезнувшим» с территории Челябинского бора [1]. В самом деле, уже почти 40 лет бризеида здесь не встречается, хотя пригодные для её обитания биотопы с того времени

сохранились. Вероятной причиной мы считаем значительное увеличение фактора беспокойства под влиянием резко возросшей рекреационной нагрузки. В степной зоне и на юге лесостепи вид обычен. Приведен как возможный обитатель бора.

Сенница геро *Coenonympha hero* (Linnaeus, 1761).

Этот вид включен в Приложение 3 Красной книги Челябинской области. Бабочка нами впервые обнаружена в обоих борах в 2013 г., причем если на территории Челябинского бора вид довольно редок [30], то на грунтовых дорогах в Каштакском бору местами очень обычен с численностью до 20 особей на 1 га [32]. Встречается ежегодно в сосняках разнотравных.

Сенница эдип *Coenonympha oedippus* (Fabricius, 1787).

Вид, который в Челябинском бору в 1985 г. А. В. Лагунов отнес к редким [1], а затем его и поместили в Красную книгу в статусе III категория. С того времени эту бабочку в бору и на территории области мы не находили. Скорее всего, она исчезла, как исчезла из ранее известных местонахождений в европейской части ареала. Поэтому у нас нет веских оснований указывать её в первой группе, и здесь мы ее только упоминаем как возможного обитателя бора.

Тарпея *Oeneis tarpeja* (Pallas, 1771).

Преимущественно степной вид, который мы обнаружили в Каштакском бору у пос. Каштак на заросшей свалке в августе крайне засушливого 2021 г.

Необходимо отметить, что в 2006 г. мы отмечали тарпею в черте г. Челябинска у «Сада Победы», а в 2013 г. – в Никольской роще. Вероятно, бабочка появляется не каждый год и в малом числе особей, но это предположение требует подтверждений.

Семейство **Павлиноглазки** – Saturniidae

Рыжая павлиноглазка *Aglia tau* (Linnaeus, 1758) (рис. 12Б).

Обитает в сосновых с незначительной примесью березы приспевающих и спелых лесах на территориях обоих памятников природы. Изредка, в мае – июне, самцы в стремительном полете встречаются у лесных тропинок и дорог, на просеках и разреженных участках леса. Самки сидят на стволах деревьев или в травостое. Биология и экология вида в условиях наших боров не изучена.



А



Б

Рис. 12. *Vanessa atalanta* (А) (фото В. А. Гашек); *Aglia tau* (Б) (фото Б. В. Красуцкого).

Отряд Перепончатокрылые – Hymenoptera

Семейство Ихневмониды – Ichneumonidae

Жемчужный мегарисса *Megarhyssa perlata* (Christ, 1791) (рис. 13А).

В 2018 г. обнаружен в Каштакском бору в разреженном березовом лесу с большим числом мертвых сухостойных берез. Вероятно, паразитирует на березовом рогахвосте *Tremex fuscicornis*, имаго которого мы в этом биотопе также наблюдали. На других участках бора мы этого наездника не находили.

С 2008 г. нам известно еще одно местонахождение мегариссы в Челябинской области – фрагмент усохшего березового леса на берегу оз. Чебаркуль.

Вид может быть рекомендован для внесения в региональную Красную книгу в статусе III категория – редкий вид.

Усердный рисса *Rhyssa persuasoria* (Linnaeus, 1758).

Обнаружен на лесной дороге в спелом сосновом лесу на территории Челябинского бора в июне 2015 г. В последующие годы встречи этого наездника были единичными и нерегулярными.

В целом, в Челябинской области он тоже довольно редок, как, впрочем, и более редкими стали одни из главных его хозяев – рогахвосты родов *Sirex* и *Tremex*. На этот факт следует обратить внимание и, после специальных исследований, принять решение о включении риссы и, по крайней мере, большого хвойного рогахвоста *Sirex gigas* (Linnaeus, 1758) в региональную Красную книгу.

Отряд Двукрылые – Diptera

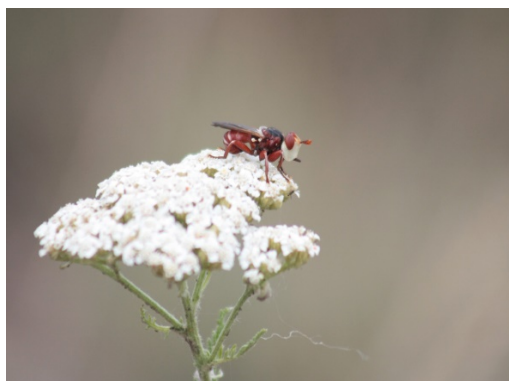
Семейство **Большеголовки** – Conopidae

Большеголовка желтолобая *Conops flavifrons* Meigen, 1824 (рис. 13Б).

Эта паразитическая муха впервые найдена в августе 2018 г. в Каштакском бору на разнотравном лугу у березового леса. В последующие годы мы её не отмечали. Впрочем, и на территории области этот вид довольно редок и встречается локально в лесостепи и в степной зоне.



А



Б

Рис. 13. *Megarhyssa perlata* (А) (фото Б. В. Красуцкого); *Conops flavifrons* (Б) (фото В. А. Гашек)

Из названных 26 видов многие (17) могут быть отнесены к редким, встречающимся на территориях Челябинского (городского) и Каштакского боров нерегулярно и в специфических местообитаниях, важнейшие условия и компоненты которых еще необходимо тщательно изучить. Особенно это касается наличия пригодных для размножения участков, кормовой базы личинок, комплекса специфических микроусловий, позволяющих из года в год занимать определенное жизненное пространство, испытывая минимальное конкурентное давление. Такими редкими мы считаем *Anas parthenope*, *Aeschna isosceles*, *Decticus verrucivorus*, *Meloe proscarabaeus*, *Iphiclides podalirius*, *Pieris brassicae*, *Glaucopsyche alexis*, *Apatura iris*, *Limenitis camilla*, *L. populi*, *Euphydryas maturna*, *Vanessa atalanta*, *Aglia tau*, *Oeneis tarpeja*, *Megarhyssa perlata*, *Rhyssa persuasoria*, *Conops flavifrons*.

Малоизвестными видами, биология и экология которых изучена недостаточно (не только в условиях боров) являются *Libellula fulva*, *Sympetrum pedemontanum*, *Scaphidium quadrimaculatum*, *Ostoma ferruginea*, *Peltis grossa*, *Raphidia ophiopsis*, *Coenonympha hero*.

Только возможными обитателями Челябинского бора признаны бризеида (*Chazara briseis*) и сенница эдип (*Coenonympha oedippus*), но это представляется сомнительным.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В настоящее время на территории Челябинского (городского) и Каштакского боров обитает 18 видов из 10 семейств и 6 отрядов насекомых, включенных в Красную книгу Челябинской области, и 26 видов из 15 семейств и 7 отрядов, которых мы отнесли к категории редких и малоизвестных (малоизученных).

Немалое число «краснокнижных» видов свидетельствует о том, что сегодня, испытывая значительное антропогенное воздействие, наши боры всё еще являются резерватами биоразнообразия и обеспечивают необходимыми для жизни условиями даже виды, внесенные в Красную книгу РФ (2021): *Anax imperator* (5 категория), *Saga pedo* (2 категория), *Parnassius apollo* (2 категория). Семь видов, обитающих в борах, охраняются и в соседних с Челябинской областью регионах – в Республике Башкортостан (3 вида), Курганской (6), Оренбургской (2), Свердловской (3) областях. В целом, из 18 выявленных нами охраняемых видов, в Красной книге Челябинской области [34] для Челябинского бора указано 7 видов, а для совершенно неизученного на тот момент времени Каштакского – ни одного.

Учитывая общее состояние изученности энтомофауны наших боров, мы допускаем, что список редких и малоизвестных видов после проведения новых циклов исследований будет существенно пополняться. Впрочем, уже сегодня можно было бы назвать гораздо большее их число.

Челябинский бор сегодня оказался расположенным в окружении города, практически, в его центре. Из года в год город всё больше наступает на лес; застройщики пытаются всяческим образом «отрезать» от памятника природы участки под строительство элитного жилья и связанной с ним инфраструктуры. Нередко это удается осуществить, что приводит к сокращению площади, прежде всего, лесных фитоценозов и снижению показателей их биоразнообразия. А

прирезаемые нелесные участки не могут компенсировать тот ущерб, который наносится бору в результате изъятия части его территории. Каштакский бор пока в меньшей степени подвержен такому негативному влиянию, но нет твердой уверенности, что в ближайшем будущем и на его территории не будет происходить интенсивное строительство апартаментов, подобных жилому комплексу «Соколиная гора».

Результаты наших исследований должны привлечь внимание природоохранных структур и общественности к проблеме сохранения этих памятников природы, а также усилить интерес ученых к изучению энтомофауны и других компонентов их биоты.

Список литературы

1. Лагунов А. В. Редкие и исчезающие дневные бабочки Челябинского бора / А. В. Лагунов // Изучение и охрана редких и исчезающих видов животных фауны СССР. – М., 1985. – С. 118–120.
2. Лагунов А. В. Степень изученности энтомофауны Челябинской области / Лагунов А. В. // Животный мир Урала. – Свердловск, 1990. – С. 58–59.
3. Лагунов А. В. Фауна прямокрылых (Insecta, Orthoptera) Челябинской области / А. В. Лагунов. // Проблемы экологии и экологического образования Челябинской области – Миасс, 1997. – С. 21–23.
4. Лагунов А. В. Видовое богатство энтомофауны Челябинской области / А. В. Лагунов // Проблемы экологии и экологического образования Челябинской области. – Челябинск: ЧГПУ, 1999. – С. 40–41.
5. Лагунов А. В. Фауна нарывников (Meloidae, Coleoptera) Челябинской области (Материалы к кадастру субъекта РФ) / А. В. Лагунов // Известия Челябинского научного центра. – 2004. – Вып. 3 (24). – С. 123–125.
6. Лагунов А. В. Фауна шмелей Челябинской области (Bombus, Apidae, Hymenoptera) / А. В. Лагунов // Природное и культурное наследие Урала. Материалы III региональной научно-практической конференции. – Челябинск, 2005. – С. 87–90.
7. Лагунов А. В. Энтомологические исследования в Челябинской области / А. В. Лагунов // Животный мир Южного Урала и Северного Прикаспия: Тезисы и материалы V региональной конференции. – Оренбург: Изд-во «Оренбургская губерния», 2005. – С. 52–56.
8. Лагунов А. В. Общий объем энтомофауны Челябинской области / А. В. Лагунов // Вестник Челябинского государственного университета. Серия 12. Экология, природопользование. – 2005. – № 1 (1). – С. 6–12.
9. Лагунов А. В. Тараканы Челябинской области. Фауна и проблемы охраны редких видов / А. В. Лагунов // Известия Челябинского научного центра. – 2008. – № 1(39). – С. 67–69.
10. Лагунов А. В. Насекомые Челябинской области (эколого-фаунистический очерк) / А. В. Лагунов. – Челябинск: «Край Ра», 2011. – 144 с.
11. Лагунов А. В. Охраняемые насекомые национального парка «Зюраткуль» / А. В. Лагунов // Проблемы географии Урала и сопредельных территорий: Материалы Всероссийской научно-практической конференции с международным участием. – Челябинск: АБРИС, 2010. – С. 251–257.
12. Лагунов А. В. Разнообразие биоты национального парка «Зюраткуль» / А. В. Лагунов, В. Д. Захаров, П. В. Куликов // Природное и культурное наследие Урала: Материалы VI региональной научно-практической конференции. – Челябинск, 2008. – С. 309–315.
13. Лагунов А. В. Фауна жесткокрылых Ильменского заповедника / А. В. Лагунов, Ю. И. Новоженков. – Миасс: ИГЗ, 1996. – 105 с.
14. Лагунов А. В. Охраняемые жесткокрылые Южного Урала: зоологический анализ / А. В. Лагунов, А. В. Русаков // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. – 2010. – № 2 (26). – С. 220–223.
15. Лагунов А. В. Библиографический указатель по насекомым Челябинской области (1879–1986 гг.) / А. В. Лагунов, Г. И. Соколов. – Свердловск: ИГЗ УрО РАН, 1989. – 51 с.
16. Аглямзянов Р. С. Фауна полужесткокрылых (Hymenoptera, Insecta) Ильменского заповедника / Р. С. Аглямзянов, А. В. Лагунов // Материалы по флоре и фауне Челябинской области. – Миасс: ИГЗ, 1994. – С. 30–47.

17. Горбунов П. Ю. Чешуекрылые Ильменского заповедника / П. Ю. Горбунов, В. Н. Ольшванг, А. В. Лагунов, К. Нуппонен. – Екатеринбург: ИГЗ, 2004. – 288 с.
18. Макаркин В. Н. К познанию фауны сетчатокрылых (Neuroptera) Челябинской области / В. Н. Макаркин, А. В. Лагунов // Евразийский энтомологический журнал. – 2010. – №9 (4). – С. 68–688.
19. Тишечкин Д. Ю. Аннотированный список цикадовых (Homoptera, Cicadinea) Ильменского заповедника / Д. Ю. Тишечкин, А. В. Лагунов // Зоологические исследования в Ильменском заповеднике и его окрестностях. – Миасс: ИГЗ, 1994. – С. 61–66.
20. Тюмасева З. И. Классификация охраняемых насекомых по материалам энтомофауны Челябинской области / З. И. Тюмасева, А. В. Лагунов. – Челябинск: Челябинский государственный педагогический институт, 1991. – 52 с. – Рукопись деп. в ВИНТИ 5.02.91, № 594-B91.
21. Чичков Б. М. Муравьи рода *Formica* Челябинской области / Б. М. Чичков, А. В. Лагунов, А. В. Гилев // Вестник Оренбургского государственного университета. – 2008. – № 6. – С. 146–149.
22. Антонова Е. М. Фауна и зоогеография пядениц (Lepidoptera: Geometridae) Ильменского государственного заповедника / Е. М. Антонова // Насекомые в экосистемах Сибири и Дальнего Востока. – М.: Изд-во МГУ, 1986. – С. 180–191.
23. Харитонов А. Ю. Стрекозы Ильменского заповедника / А. Ю. Харитонов // Вопросы зоологии. Вып. IV. – Челябинск: ЧГПИ, 1975. – С. 63–65.
24. Михайлов Ю. Е. Обзор фауны жесткокрылых заповедника «Аркаим» / Ю. Е. Михайлов // Успехи энтомологии на Урале. – Екатеринбург, 1997. – С. 187–188.
25. Михайлов Ю. Е. Насекомые музея-заповедника «Аркаим». Жесткокрылые: видовой состав и заметки по структуре популяций / Ю. Е. Михайлов // Природные системы Южного Урала. – Челябинск, 1999. – С. 221–248.
26. Есюнин С. Л. Материалы к фауне жесткокрылых заказника «Троицкий» / С. Л. Есюнин, В. О. Козьминых // Членистоногие охраняемых территорий Челябинской области. – Свердловск, 1992. – С. 59–67.
27. Шаповалов А. М. Материалы к фауне жуков-усачей (Coleoptera, Cerambycidae) Чесменских боров Челябинской области / А. М. Шаповалов, Р. В. Филимонов // Труды Оренбургского отделения РЭО. Вып. 2. – Оренбург, 2012. – С. 95–103.
28. Красуцкий Б. В. Материалы к фауне жуков Челябинского городского бора, связанных с ксилотрофными базидиальными грибами / Б. В. Красуцкий // Фауна Урала и Сибири. – Екатеринбург, 2018. – № 1. – С. 97–103.
29. Красуцкий Б. В. Ксилофильные жуки Челябинского городского бора / Б. В. Красуцкий // Фауна Урала и Сибири. – Екатеринбург, 2018. – № 1. – С. 104–112.
30. Красуцкий Б. В. Материалы к фауне чешуекрылых (Insecta: Lepidoptera) Челябинского городского бора / Б. В. Красуцкий // Фауна Урала и Сибири. – Екатеринбург, 2018. – № 1. – С. 113–125.
31. Красуцкий Б. В. Челновидка *Scaphidium quadrimaculatum* Olivier, 1790 (Coleoptera, Staphylinidae) – новый вид в фауне Челябинской области / Б. В. Красуцкий // Ученые записки Крымского федерального университета имени В. И. Вернадского. Биология. Химия. – 2023. – Том 9 (75), № 4. – С. 104–114.
32. Красуцкий Б. В. Первые данные по фауне булавоусых чешуекрылых памятника природы «Каштакский бор» / Б. В. Красуцкий // Фауна Урала и Сибири. – Екатеринбург, 2020. – № 2. – С. 37–45. DOI 10.24411/2411-0051-2020-10204
33. Красуцкий Б. В. Материалы к фауне жуков (Insecta, Coleoptera) ботанического памятника природы «Каштакский бор», связанных с ксилотрофными базидиальными грибами / Б. В. Красуцкий // Фауна Урала и Сибири. – Екатеринбург, 2023. – № 2. – С. 85–92. DOI 10.56268/24110051-2023-2-85.
34. Красная книга Челябинской области. Животные, растения, грибы / Отв. ред. А. В. Лагунов. – М., 2017. – 504 с.
35. Красуцкий Б. В. Обзор новых находок беспозвоночных из Красной книги Челябинской области в 2023 году / Б. В. Красуцкий, В. А. Гашек // Фауна Урала и Сибири. – Екатеринбург, 2023. – № 2. – С. 103–112. DOI 10.56268/24110051_2023_2_103.
36. Красуцкий Б. В. Новые регистрации растений, грибов и беспозвоночных Красной книги Челябинской области / Б. В. Красуцкий, В. А. Гашек, Е. В. Поляков // Географическое пространство:

- сбалансированное развитие природы и общества. Материалы II Международной науч.-практ. конф. (Челябинск, 8–10 октября 2021 г.). – Челябинск: «Край Ра». – 2021. – С. 184–188.
37. Красуцкий Б. В. Главные итоги мониторинга охраняемых беспозвоночных животных Челябинской области после выхода второго издания региональной Красной книги / Б. В. Красуцкий, В. А. Гашек, Е. В. Поляков // Трансформация экосистем. – 2024. – Том. 7, №. 3 (26). – С. 13–63.
38. Меркер В. В. Флора Челябинского (городского) соснового бора / В. А. Меркер // Ученые записки Челябинского отделения Русского Ботанического общества. – Челябинск: Изд-во Челяб. гос. ун-та, 2020. – Вып. 3. – С. 35–75.
39. Крашенинников И. М. Сосновые боры Челябинского уезда / И. М. Крашенинников, В. М. Крашенинникова // Изв. Императ. Ботан. сада. – 1905. – Т. 5, № 4. – С. 143–152.
40. Сысоев А. Д. Челябинский бор. / А. Д. Сысоев. – Челябинск: Юж.-Ур. кн. изд-во, 1968. – 46 с.
41. Красная книга Курганской области / Гл. ред. В. Н. Большаков. – Курган, 2012. – 448 с.
42. Красная книга Оренбургской области: редкие и находящиеся под угрозой исчезновения виды животных, растений и грибов: официальное издание / Отв. ред. В. С. Белов. – Воронеж, 2019. – 488 с.
43. Красная книга Республики Башкортостан. Т. 2: Животные / Отв. ред. Б. М. Чичков. – Уфа, 2014. – 244 с.
44. Красная книга Российской Федерации. Т. «Животные». – М., 2021. – 1128 с.
45. Красная книга Свердловской области: животные, растения, грибы / Отв. ред. Н. С. Корятин. – Екатеринбург, 2018. – 450 с.
46. Определитель насекомых Европейской части СССР. Том I. Низшие, древнекрылые, с неполным превращением / Под общ. ред. Г. Я. Бей-Биенко. – М.-Л., 1964. – 936 с.
47. Определитель насекомых Европейской части СССР. Том II. Жесткокрылые и веерокрылые / Под общ. ред. Г. Я. Бей-Биенко. – М.-Л., 1965. – 668 с.
48. Определитель насекомых Европейской части СССР. Том III. Перепончатокрылые. Третья часть / Под общ. ред. Г. С. Медведева. – Л.: Наука, 1981. – 688 с.
49. Определитель насекомых Европейской части СССР. Том V. Двукрылые и блохи. Вторая часть / Под общ. ред. Г. Я. Бей-Биенко. – Л.: Наука, 1970. – 944 с.

PROTECTED, RARE AND LITTLE-KNOWN INSECTS OF THE NATURAL MONUMENTS «CHELYABINSK (URBAN) FOREST» AND «KASHTAKSKY FOREST» (CHELYABINSK REGION)

Krasutsky B. V.^{1,2}, Gashek V. A.³

¹*Botanical Garden of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Ekaterinburg, Russia*

²*Chelyabinsk State University, Chelyabinsk, Russia*

³*Chelyabinsk International Airport, Chelyabinsk, Russia*

E-mail: boris_k.63@mail.ru

We began a targeted study of the entomofauna of the Chelyabinsk and Kashtak forests in 2007, and in the period from 2010 to 2023 were carried out regularly from spring (May) to autumn (September), annually performing from 5 to 10 expedition trips. In addition, after the publication in 2017 of the second edition of the Red Data Book of the Chelyabinsk Region, we also conducted annual monitoring of the status of populations of protected, rare, and vulnerable species throughout the region.

The purpose of this work is to highlight the main results of the study of protected, rare and some little-known insects living in the territories of the natural monuments «Chelyabinsk (urban) forest» and «Kashtaksky forest». The material was collected along regular routes and key areas, including water bodies (streams, rivers, ponds, temporary

reservoirs) and coastal biotopes. The length of the routes, depending on weather conditions and specific tasks, ranged from 3 to 15 km. They covered almost all the most typical types of communities, incl. partially transformed by man. We used manual collection, catching using a mowing net, air and water entomological nets. The abundance was determined by adults by direct counting the number of individuals per unit area (within 1 hectare) or count strip.

18 regional Red Data Book species have been identified, belonging to 10 families and 6 orders: in the Chelyabinsk forest there are 12 species from 9 families and 6 orders, in the Kashtak forest there are 11 species from 7 families and 4 orders. These are three species of status category II (declining in numbers) – *Anax imperator*, *Bombus maculidorsis*, *B. pratorum*, 14 species of status category III (rare) – *Ophiogomphus cecilia*, *Leucorhynia caudalis*, *Sago pedo*, *Ranatra linearis*, *Parnassius apollo*, *Bombus distinguendus*, *B. hypnorum*, *B. lucorum*, *B. muscorum*, *B. serrisquama*, *B. terrestris*, *B. veteranus*, *Megachila rotundata*, *Bombylius major* and one species of status category IV (uncertain status) – *Laphria gibbosa*. We classified 26 species from 15 families and 7 orders as rare and little-known (little studied). We consider *Anas parthenope*, *Aeschna isosceles*, *Decticus verrucivorus*, *Meloe proscarabaeus*, *Iphiclides podalirius*, *Pieris brassicae*, *Glaucopsyche alexis*, *Apatura iris*, *Limenitis camilla*, *L. populi*, *Euphydryas maturna*, *Vanessa atalanta*, *Agria tau*, *Oeneis tarpeja*, rare. *Megarhyssa perlata*, *Rhyssa persuasoria*, *Conops flavifrons*. Little-known species, the biology and ecology of which have not been sufficiently studied (not only in forest conditions) are *Libellula fulva*, *Sympetrum pedemontanum*, *Scaphidium quadrimaculatum*, *Ostoma ferruginea*, *Peltis grossa*, *Raphidia ophiopsis*, *Coenonympha hero*. The only possible inhabitants of the Chelyabinsk Forest are the *Chazara briseis* and the *Coenonympha oedippus*, but this seems doubtful. A considerable number of «Red Data Book» species indicates that today, despite experiencing significant anthropogenic impact, our forests are still reserves of biodiversity and provide the necessary conditions for life even for species included in the Red Data Book of the Russian Federation (2021): *Anax imperator* (category 5), *Saga pedo* (category 2), *Parnassius apollo* (category 2). Seven species living in forests are also protected in regions neighboring the Chelyabinsk region – in the Republic of Bashkortostan (3 species), Kurgan (6), Orenburg (2), Sverdlovsk (3) regions.

Keywords: specially protected natural areas, entomofauna, monitoring, abundance, Red Data Book.

References

1. Lagunov A. V. Rare and endangered butterflies of the Chelyabinsk pine forest, *Study and protection of rare and endangered species of animals of the USSR fauna*, 118–120 (M., 1985).
2. Lagunov A. V. The level of study of the entomofauna of the Chelyabinsk region, *Animal world of the Urals*, 58–59 (Sverdlovsk, 1990).
3. Lagunov A. V. Fauna of Orthoptera (Insecta, Orthoptera) of the Chelyabinsk region, *Problems of ecology and environmental education of the Chelyabinsk region*, 21–23 (Miass, 1997).
4. Lagunov A. V. Species richness of the entomofauna of the Chelyabinsk region, *Problems of ecology and environmental education of the Chelyabinsk region*, 40–41. (Chelyabinsk: publishing house of the Chelyabinsk State University, 1999).
5. Lagunov A. V. Fauna of blister beetles (Meloidae, Coleoptera) of the Chelyabinsk region (Materials for the cadastre of the subject of the Russian Federation), *Bulletin of the Chelyabinsk Scientific Center*, 3(24), 123–125 (Chelyabinsk: publishing house of the Chelyabinsk State University, 2004).

6. Lagunov A. V. Fauna of bumblebees of the Chelyabinsk region (Bombus, Apidae, Hymenoptera) // *Natural and cultural heritage of the Urals. Materials of the III regional scientific and practical conference*, 87–90. (Chelyabinsk: publishing house of the Chelyabinsk State University, 2005).
7. Lagunov A. V. Entomological studies in the Chelyabinsk region, *Fauna of the Southern Urals and Northern Caspian: Abstracts and materials of the V regional conference*, 52–56 (Orenburg: Orenburgskaya Guberniya Publishing House, 2005).
8. Lagunov A. V. Total volume of entomofauna of the Chelyabinsk region, *Bulletin of the Chelyabinsk State University. Series 12. Ecology, nature management*, **1**(1), 6 (2005).
9. Lagunov A. V. Cockroaches of the Chelyabinsk region. Fauna and problems of protection of rare species, *News of the Chelyabinsk Scientific Center*, **1**(39), 67 (2008).
10. Lagunov A. V. Insects of the Chelyabinsk region (ecological and faunistic essay), 144 p. (Chelyabinsk: «Kray Ra», 2011).
11. Lagunov A. V. Protected insects of the Zyuratkul National Park, *Problems of Geography of the Urals and Adjacent Territories: Materials of the All-Russian Scientific and Practical Conference with International Participation*, 251–257 (Chelyabinsk: ABRIS, 2010).
12. Lagunov A. V., Zakharov V. D., Kulikov P. V. Biota diversity of the Zyuratkul National Park, *Natural and cultural heritage of the Urals: Proceedings of the VI regional scientific-practical conference*, 309–315 (Chelyabinsk, 2008).
13. Lagunov A. V., Novozhenov Yu. I. *Coleoptera fauna of the Ilmsky Reserve*, 105 p. (Miass: IGZ, 1996).
14. Lagunov A. V., Rusakov A. V. Protected Coleoptera of the Southern Urals: zoological analysis, *Bulletin of the Orenburg State Agrarian University*, **2**(26), 220 (2010).
15. Lagunov A. V., Sokolov G. I. *Bibliographic index of insects of the Chelyabinsk region (1879–1986)*, 51 p. (Sverdlovsk: IGZ UB RAS, 1989).
16. Aglyamzyanov R. S., Lagunov A. V. Fauna of Hemiptera (Hymenoptera, Insecta) of the Ilmsky Reserve, *Materials on the flora and fauna of the Chelyabinsk region*, 30 (Miass: IGZ, 1994).
17. Gorbunov P. Yu., Olshvang V. N., Lagunov A. V., Nupponen K. *Lepidoptera of the Ilmsky Reserve*. 288 p. (Ekaterinburg: IGZ, 2004).
18. Makarkin V. N., Lagunov A. V. Towards understanding the fauna of lacewings (Neuroptera) in the Chelyabinsk region, *Eurasian Entomological Journal*, **9**(4), 68 (2010).
19. Tishechkin D. Yu., Lagunov A. V. Annotated list of cicadas (Homoptera, Cicadinea) in the Ilmsky Reserve, *Zoological research in the Ilmsky Reserve and its environs*, 61 (Miass: IGZ, 1994).
20. Tyumaseva Z. I., Lagunov A. V. *Classification of protected insects based on the entomofauna of the Chelyabinsk region*, 52 p. (Manuscript deposited in VINITI 5.02.91, No. 594-B91) (Chelyabinsk: Chelyabinsk State Pedagogical Institute, 1991).
21. Chichkov B. M., Lagunov A. V., Gilev A. V. Ants of the genus Formica of the Chelyabinsk region, *Bulletin of the Orenburg State University*, **6**, 146 (2008).
22. Antonova E. M. Fauna and zoogeography of geometrid moths (Lepidoptera: Geometridae) of the Ilmsky State Nature Reserve, *Insects in the ecosystems of Siberia and the Far East*, 180 (Moscow: Moscow State University Publishing House, 1986).
23. Kharitonov A. Yu. Dragonflies of the Ilmsky Nature Reserve, *The questions of zoology*. **IV**, 63 (Chelyabinsk: ChGPI, 1975).
24. Mikhailov Yu. E. Review of the fauna of beetles of the Arkaim Nature Reserve, *Advances in entomology in the Urals*, 187 (Yekaterinburg, 1997).
25. Mikhailov Yu. E. Insects of the Arkaim Museum-Reserve. Coleoptera: species composition and notes on population structure, *Natural systems of the Southern Urals*, 221 (Chelyabinsk, 1999).
26. Esyunin S. L., Kozminykh V. O. Materials on the fauna of Coleoptera of the Troitsky nature reserve, *Arthropods of protected areas of the Chelyabinsk region*, 59 (Sverdlovsk, 1992).
27. Shapovalov A. M., Filimonov R. V. Materials on the fauna of longhorn beetles (Coleoptera, Cerambycidae) of the Chesma pine forests of the Chelyabinsk region, *Proceedings of the Orenburg branch of the Russian Ecological Society*, **2**, 95 (Orenburg, 2012).
28. Krasutsky B. V. Materials on the fauna of beetles of the Chelyabinsk city pine forest associated with xylotrophic basidiomycetes, *Fauna of the Urals and Siberia*, **1**, 97 (Ekaterinburg, 2018).
29. Krasutsky B. V. Xylophilous beetles of the Chelyabinsk city pine forest, *Fauna of the Urals and Siberia*, **1**, 104 (Ekaterinburg, 2018).

30. Krasutsky B. V. Materials on the fauna of Lepidoptera (Insecta: Lepidoptera) of the Chelyabinsk city pine forest, *Fauna of the Urals and Siberia*, **1**, 113 (Ekaterinburg, 2018).
31. Krasutsky B. V. Shuttle Scaphidium quadrimaculatum Olivier, 1790 (Coleoptera, Staphylinidae) - a new species in the fauna of the Chelyabinsk region, *Scientific notes of the Crimean Federal University named after V. I. Vernadsky. Biology. Chemistry*, **9**(75), 4, 104 (2023).
32. Krasutsky B. V. First data on the fauna of club-shaped Lepidoptera of the natural monument «Kashtaksky Bor», *Fauna of the Urals and Siberia*, **2**, 37 (Ekaterinburg, 2020). DOI 10.24411/2411-0051-2020-10204
33. Krasutsky B. V. Materials on the fauna of beetles (Insecta, Coleoptera) of the botanical natural monument «Kashtaksky Bor» associated with xylophagous basidiomycetes, *Fauna of the Urals and Siberia*, **2**, 85 (Ekaterinburg, 2023). DOI 10.56268/24110051_2023_2_85.
34. *The Red Data Book of the Chelyabinsk Region. Animals, Plants, Fungi* / ed. A. V. Lagunov. 504 p. (M., 2017).
35. Krasutsky B. V., Gashek V. A. Review of new finds of invertebrates from the Red Book of the Chelyabinsk Region in 2023, *Fauna of the Urals and Siberia*, **2**, 103 (Ekaterinburg, 2023). DOI 10.56268/24110051_2023_2_103.
36. Krasutsky B. V., Gashek V. A., Polyakov V. E. New registrations of plants, fungi and invertebrates of the Red Data Book of the Chelyabinsk Region, *Geographical space: balanced development of nature and society. Proc. of the II International scientific-practical. conf.* (Chelyabinsk, October 8–10, 2021). 184 (Chelyabinsk: «Krai Ra», 1921).
37. Krasutsky B. V., Gashek V. A., Polyakov V. E. The main results of monitoring protected invertebrates of the Chelyabinsk Region after the release of the second edition of the regional Red Data Book, *Ecosystem transformation*, **7**(26), 13 (2024).
38. Merker V. V. Flora of the Chelyabinsk (city) pine forest // *Scientific notes of the Chelyabinsk branch of the Russian Botanical Society*, **3**, 35 (Chelyabinsk: Chelyabinsk state Publishing House. University, 2020).
39. Krashenninnikov I. M., Krashenninnikova V. M. Pine forests of the Chelyabinsk district, *News of the Imperial Botanical Garden*, **5**(4), 143 (1905).
40. Sysoev A. D. *Chelyabinsk pine forest*, 46 p. (Chelyabinsk: South-Ural book publishing house, 1968).
41. *The Red Data Book of the Kurgan Region* / ed.-in-chief V. N. Bolshakov. 448 p. (Kurgan, 2012).
42. *The Red Data Book of the Orenburg Region: rare and endangered species of animals, plants and fungi: official publication* / ed. V. S. Belov, 488 p. (Voronezh, 2019).
43. *The Red Data Book of the Republic of Bashkortostan. T. 2: Animals* / ed. B. M. Chichkov. 244 p. (Ufa, 2014).
44. *The Red Data Book of the Russian Federation. T. «Animals»*. 1128 p. (M., 2021).
45. *The Red Data Book of the Sverdlovsk Region: animals, plants, mushrooms* / ed. N. S. Korytin. 450 p. (Ekaterinburg, 2018).
46. *Key to insects of the European part of the USSR. Volume I. Lower, ancient wings, with incomplete metamorphosis* / under the general editorship of G. Ya. Bey-Bienko. 936 p. (M.-L., 1964).
47. *Key to insects of the European part of the USSR. Volume II. Coleoptera and Fanoptera* / under the general editorship of G. Ya. Bey-Bienko. 668 p. (M.-L., 1965).
48. *Key to insects of the European part of the USSR. Volume III. Hymenoptera. Third part* / under the general editorship of G. S. Medvedev. 688 p. (L.: Nauka, 1981)
49. *Key to insects of the European part of the USSR. Volume V. Diptera and fleas. Part two* / edited by G. Ya. Bey-Bienko. 944 p. (L.: Nauka, 1970).

УДК 631.465:631.466

DOI 10.29039/2413-1725-2025-11-2-132-144

МИКРОБИОЛОГИЧЕСКИЕ И БИОХИМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ПОЧВ ПРИ РАЗНЫХ СРОКАХ ПРИМЕНЕНИЯ СИСТЕМЫ ОРГАНИЧЕСКОГО ЗЕМЛЕДЕЛИЯ

**Кулагина В. И., Сунгатуллина Л. М., Шагидуллин Р. Р., Рязанов С. С.,
Хайруллина А. М., Гордеева К. А.**

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

Проведено сравнение биологических свойств почв между хозяйствами, применяющими органическую систему земледелия в течение разного времени (5, 10 и 25 лет), и хозяйствами с традиционной системой земледелия и фоновыми участками, расположенными в непосредственной близости. Показано, что среди изученных параметров почв наиболее чувствительным к длительности применения органической системы земледелия является фермент фосфатаза, активность которого закономерно и статистически значимо изменяется со временем. Численность азотобактера в случае недостаточного увлажнения почв не проявляет себя в качестве индикатора. Численность трофических групп микроорганизмов в почвах статистически значимо изменяется по сезонам года, но отличия между органическими и традиционными полями проявляются только на уровне тенденции. Эколого-трофические индексы в качестве индикаторов требуют дополнительных исследований.

Ключевые слова: почва, органическое земледелие, ферментативная активность, трофические группы микроорганизмов, эколого-трофические индексы.

ВВЕДЕНИЕ

Развитие органического земледелия призвано способствовать не только получению экологически чистых продуктов питания, оно задумывалось, как способ обеспечить благоприятное состояние окружающей среды, сохранения и восстановления плодородия почв. В «Стратегии развития производства органической продукции в Российской Федерации до 2030 года», утвержденной распоряжением Правительства Российской Федерации от 4 июля 2023 г. № 1788-р подчеркивается, что органическое сельское хозяйство оказывает содействие в решении глобальных проблем, таких как смягчение негативных последствий изменения климата, сохранение биоразнообразия.

Органическое земледелие способствует получению пусть не самых высоких, но стабильных (устойчивых) урожаев, менее зависящих от колебаний погодных условий, чем при традиционном земледелии, использующем минеральные удобрения и пестициды [1, 2]. При перечислении факторов, обеспечивающих устойчивость агроэкосистем при органическом земледелии, обычно упоминают

увеличение содержания гумуса, улучшение структуры почв при внесении органических удобрений и использовании правильных севооборотов [3–5]. Но это не все. Главным отличием органической агроэкосистемы от традиционной является восстановление полезной мезофауны, сбалансированного микробного и ферментного пулов почв, не подвергающихся воздействию искусственных удобрений и пестицидов [6, 7]. Именно они способствуют созданию динамического равновесия в системе почва-растения, приводящего к устойчивости агроэкосистемы.

Сертификат органического земледелия выдается после трехлетнего конверсионного периода, гарантирующего отсутствие остаточных количеств пестицидов и химических удобрений. Однако почва – самый медленно изменяющийся элемент наземных биогеоценозов. Перестроение и стабилизация взаимосвязей в почвенной экосистеме требует времени, длительность которого не определена до сих пор. По этой причине изучение изменения микробного и ферментативного пулов во времени при переходе к органическому земледелию по-прежнему остается актуальной задачей.

Цель данной работы – сравнить микробиологические и биохимические свойства почв при разных сроках применения системы органического земледелия.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Объектами исследования послужили земли трех фермерских хозяйств Республики Татарстан, использующих органическую систему земледелия на протяжении разного времени:

1. Фермерское хозяйство в Арском районе, близ с. Новый Кинер, органическое земледелие применяется 5 лет;
2. Высокогорский район близ с. Большие Ковали, срок применения органического земледелия 10 лет;
3. Мензелинский район, близ с. Холодный ключ – органическая система земледелия практикуется более 25 лет.

Отбор смешанных образцов из пахотного горизонта произведен в конце мая – начале июня, а также в сентябре 2024 г. Почвенные образцы отбирались на полях органических хозяйств, соседних традиционных (применяющих минеральные удобрения и пестициды), а также на необрабатываемых фоновых участках.

Почвы хозяйств относятся к разным типам: в Арском и Высокогорской районах – серые лесные, в Мензелинском – черноземы типичные. Сравнить напрямую величины микробного и ферментативного пулов в почвах разных районов было бы некорректно. Однако сравнивались не они, а разница свойств почв органических полей и расположенных по соседству традиционных полей и фоновых участков в каждом районе. Рабочая гипотеза предполагала, что, чем дольше применяется система органического земледелия, тем значительнее должна быть разница между почвами органических и традиционных полей, и ближе показатели органических полей и фоновых участков.

Определение численности трофических групп микроорганизмов проводилось при помощи посева разведениями почвенных взвесей на плотных питательных средах, *Azotobacter* – методом обрастания комочков на среде Эшби [8].

Ферментативную активность почв определяли с применением следующих методов: каталазы – методом Джонсона и Темпле, инвертазы – по Щербакову Т. А., фосфатазы – по методу Геллера И. Т. и Гинзбург К. Е.

В качестве эколого-трофических индексов были выбраны три коэффициента.

1. Коэффициент минерализации и иммобилизации по Е. Н. Мишустину

$$K_{\text{мин}} = \text{КАА} / \text{МПА},$$

где КАА – численность амилалитических микроорганизмов почвы, определяемых посевом на крахмал-аммиачном агаре; МПА – численность аммонификаторов, определяемых посевом на мясо-пептонном агаре.

2. Коэффициент гумификации

$$K_{\text{гум}} = (\text{КАА} + \text{МПА}) / \text{Авт},$$

где Авт – численность автохтонной микрофлоры почв.

3. Коэффициент трансформации органических соединений

$$K_{\text{тр}} = (\text{МПА} + \text{КАА}) \times (\text{МПА} / \text{КАА}).$$

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

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Биохимические показатели

Установлено, что ферментативная активность почв органических полей после 5 лет применения органической системы земледелия ниже, чем на полях с традиционной системой земледелия (табл. 1), хотя разница статистически значима только для фосфатазы (t-тест, $p < 0,05$).

После 10 лет средняя активность инвертазы и фосфатазы выше в почвах органических полей, хотя статистическая обработка показывает, что для всех ферментов разница между органическими и традиционными полями незначима.

Через 25 лет активность фосфатазы статистически значимо выше на органических полях по сравнению с традиционными и в весенний, и в осенний период, инвертазы – только в осенний (табл. 1).

Полученные результаты согласуются с литературными данными. Согласно исследованиям Куликовой А. Х. с соавторами и Калашникова Р. П. с соавторами внесение азотных удобрений способствует улучшению азотного питания и стимулированию активности фосфатазы [9, 10]. По этой причине в первые 5 лет перехода к органической системе активность фосфатазы на органических полях, где синтетические удобрения не вносились, была ниже, чем на традиционных полях. Однако далее при отсутствии регулярного допинга в виде минеральных удобрений вступают в силу механизмы саморегуляции в экосистеме. При недостатке подвижного фосфора в почве увеличивается поступление в почву фосфатаз микробного и растительного происхождения [11], с чем связано статистически

значимое преобладание их количества на полях с 25-летним использованием органической системы земледелия.

Таблица 1

Ферментативная активность почв при разных сроках применения системы органического земледелия, М±m

Система земледелия	Инвертаза, мг глюкозы /1г почвы за 4 часа		Фосфатаза P ₂ O ₅ мг/10г почвы за 24 часа		Каталаза мл 0,1 н KMnO ₄ за 20 мин	
	весна	осень	весна	осень	весна	осень
Арский район (5 лет)						
Традиционная	5,5±0,4	4,6±0,2	4,8±0,1*	4,8±0,1	2,3±0,1	2,7±0,0
Органическая	4,4±0,1	4,4±0,2	4,0±0,3	3,8±0,4	2,1±0,1	2,7±0,1
Фон	5,2±0,0	5,2±0,1	4,7±0,1	4,9±0,1	2,9±0,1	2,3±0,1
Высокогорский район (10 лет)						
Традиционная	5,8±0,0	3,6±0,3	3,0±0,4	2,7±0,2	2,2±0,1	3,3±0,3
Органическая	6,0±0,1	4,0±0,4	4,1±0,9	3,0±0,6	2,0±0,2	3,0±0,5
Фон	8,0±1,2	7,2±0,7	5,6±0,7	4,4±0,2	3,0±0,1	3,0±0,3
Мензелинский район (свыше 25 лет)						
Традиционная	7,0±0,1	5,6±0,0	9,7±0,1	8,5±0,1	3,7±0,0	3,9±0,1
Органическая	8,0±0,5	7,2±0,6	10,9±0,3	11,4±0,4	3,8±0,1	3,9±0,0
Фон	13,8±0,0	11,2±0,1	10,3±0,1	8,5±0,1	4,2±0,0	4,1±0,0

* статистически значимая разница между органическими и традиционными полями

** отсутствие статистически значимой разницы между фоном и органическими полями

Активность каталазы на органических и традиционных полях не имела статистически значимых отличий ни в одном из хозяйств. Это согласуется с данными Калашникова Р. П. с соавторами, отмечавшими, что каталазная активность от внесения удобрений существенно не меняется, в отличие от фосфатазной [10].

Литературные данные о влиянии внесения удобрений на активность инвертазы противоречивы [12, 13].

Тенденция к максимальной активности ферментов на фоновых участках по сравнению с обрабатываемыми полями просматривается достаточно хорошо и согласуется с ранее полученными данными [13–16]. Однако вторая часть рабочей гипотезы – об отсутствии статистически значимой разницы между фоновыми участками и органическими полями получила весьма скромное подтверждение (табл. 1).

Микробиологические показатели

Численность бактерий рода *Azotobacter*, обычно проявляет себя как хороший индикатор сельскохозяйственного использования почв [13, 17]. Исследования, проведенные в 2020 г. на землях фермерских хозяйств в Рыбно-Слободском районе, показали, что почвы необрабатываемых фоновых участков бедны бактериями рода *Azotobacter*. Максимальная численность азотобактера обнаруживалась на

традиционных полях, средняя – на органических полях [18]. Исследования, проведенные в 2024 г. в хозяйствах трех районов, не дали столь однозначного результата (табл. 2). В почвах Арского и Высокогорского районов четко прослеживаются отличия обрабатываемых полей от фоновых участков, что согласуется с литературными данными [17]. На фоновых участках *Azotobacter* не обнаруживался – обрастание комочков на среде Эшби равно 0 %, а то время, как на обрабатываемых полях численность бактерий этого рода достаточно высока (табл. 2). Статистически значимые отличия по численности азотобактера между традиционными и органическими полями наблюдались только в Арском районе в весенний период.

В почвах Мензелинского района в весенний период не выявлено значимых отличий по численности азотобактера между всеми исследованными участками – она везде одинаково низкая. В осенний период максимальная численность обнаружена на фоновом участке. По-видимому, в Мензелинском районе главным ограничивающим фактором развития азотобактера стало недостаточное увлажнение, к которому данный род бактерий очень чувствителен.

Таблица 2

**Численность бактерий рода *Azotobacter* в почвах фермерских хозяйств
по результатам исследования 2024 г., % обрастания комочков**

Система земледелия	Арский район (5 лет)		Высокогорский район (10 лет)		Мензелинский район (свыше 25 лет)	
	весна	осень	весна	осень	весна	осень
Традиционная	34,5	21,5	98,3	94,0	0,0	6,9
Органическая	63,2	25,3	81,0	81,8	1,1	7,8
Фон	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	22,2

Численность трофических групп микроорганизмов – довольно динамичный признак, как и их соотношение. Исследователи микробиологических параметров почв нередко сталкивались с тем, что данные, полученные на тех же полях в разное время, противоречат друг другу [19]. Тем не менее, этот показатель используется для оценки эколого-биологического состояния почв.

В данном исследовании рассматривалось пять трофических групп микроорганизмов, их численность представлена на рис. 1.

Прежде всего, обращает на себя внимание, что численность большинства трофических групп уменьшилась к осеннему периоду по сравнению с весенним в 1,5–10 раз. Причем в большинстве случаев эта разница статистически значима. Исключением являются микроскопические грибы, численность которых более стабильна, а на некоторых полях даже возрастает осенью.

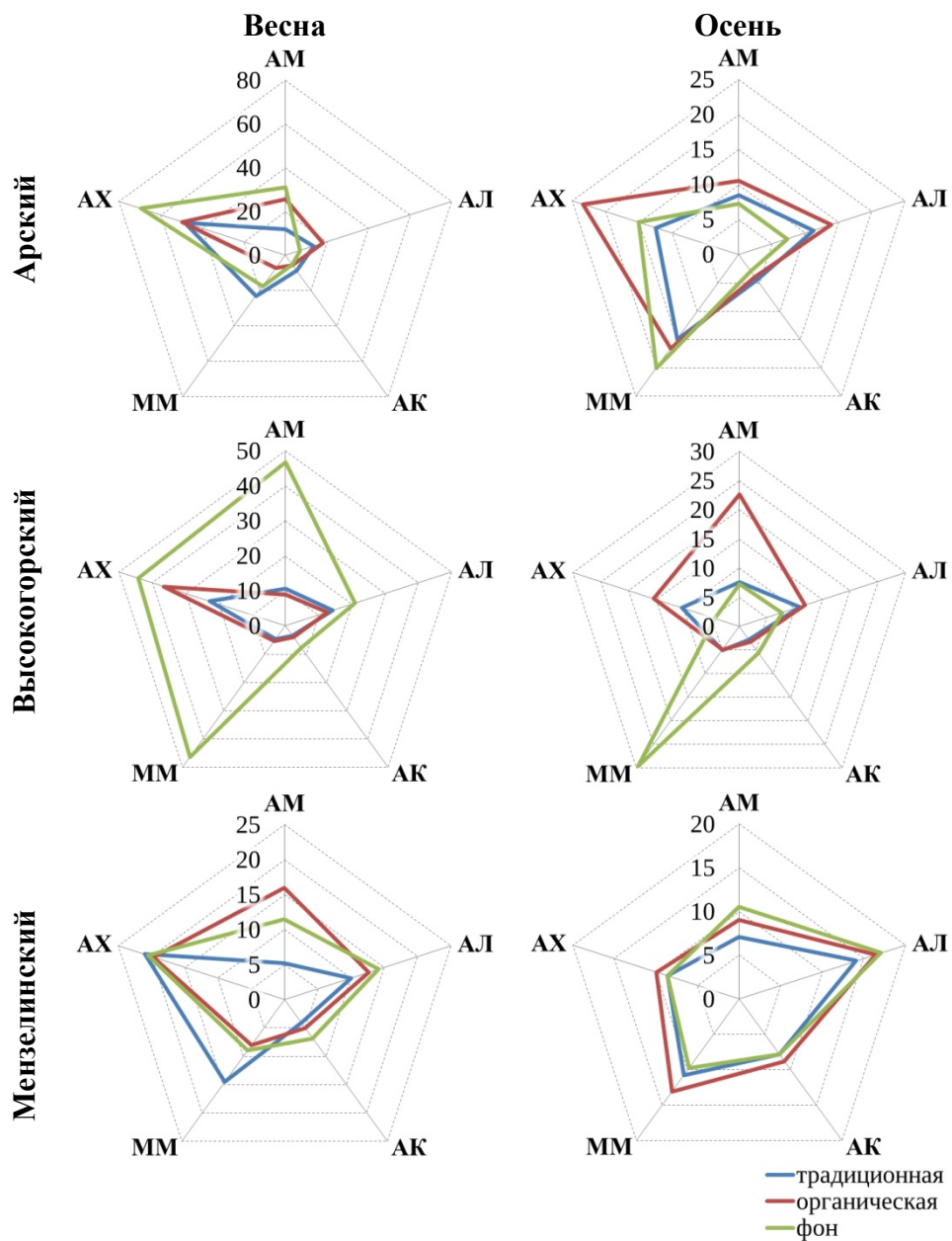


Рис. 1. Численность трофических групп микроорганизмов: AM – аммонификаторы, AL – амиллолитики, АК – актиномицеты, MM – микромицеты, AX – автохтонные. Ед. изм: микромицеты в 10^4 КОЕ/г, остальные – в 10^6 КОЕ/г.

Аммонифицирующие микроорганизмы почв (аммонификаторы) – способствуют разложению азотсодержащих органических соединений с образованием аммиака. В

проведенном нами исследовании в 5 случаях из 6 более высокие средние значения численности аммонификаторов наблюдались в почвах органических полей по сравнению с традиционными (рис. 1). Однако обработка результатов не показала статистически значимой разницы. Статистически значимая разница между органическими полями и фоновыми участками также не обнаружена, зато разница существенна между традиционными полями и фоновыми участками (t-тест, $p < 0,05$). Полученные результаты подтверждают ранее полученные данные для органических хозяйств Республики Татарстан [18, 20], а также согласуются с данными Зинченко М. К. о том, что длительное применение минеральных удобрений приводит к снижению численности аммонификаторов [21].

Амилолитические – микроорганизмы, использующие минеральный азот. Численность амилолитиков проявляет ту же тенденцию, что и численность аммонификаторов – в среднем на органических полях их больше, чем на традиционных. Хотя статистически значимая разница отмечена только на полях Мензелинского района, где органическое земледелие практикуется 25 лет. Полученные результаты согласуются с данными Завьяловой Н. Е. с соавторами [22], о снижении численности бактерий, усваивающих минеральный азот, на фоне применения минеральных удобрений.

Актиномицеты относятся к группе амилолитических микроорганизмов, но имеют свои особенности и подсчитываются отдельно. Участвуют в разложении трудноразлагаемых органических субстратов. В Арском районе средняя численность актиномицетов убывает в ряду: традиционные поля > органические поля > фоновые необрабатываемые участки. В двух других хозяйствах распределение численности актиномицетов обратное: фоновые участки > органические поля > традиционное земледелие.

Микромицеты – микроскопические грибы. Численность выявляемых колониеобразующих единиц микромицетов меньше, чем бактерий, но при этом общая биомасса мицелия грибов в почвах обычно больше [23], благодаря чему они оказывают значительное воздействие на разложение органических остатков. Четкой закономерности в распределении микроскопических грибов в почвах исследованных хозяйств не обнаружено. Обращает на себя внимание резкое увеличение численности микромицетов на фоновом участке в Высокогорском районе в осенний период, по-видимому, вызванное каким-то случайным фактором (рис. 1).

Автохтонные микроорганизмы – способны разлагать гумусовые вещества почв при значительном дефиците легкоразлагаемых органических веществ [8]. Единственная закономерность, которая четко прослеживается для автохтонных микроорганизмов во всех трех хозяйствах – это то, что в весенний период их численность больше, чем в осенний (рис. 1).

Эколого-трофические индексы (коэффициенты), рассчитанные по соотношениям численности трофических групп микроорганизмов, представлены в табл. 3.

Коэффициент минерализации/иммобилизации по Мишустину на органических полях в Арском и Мензелинском районах в весенний период меньше 1, что

свидетельствует о процессах минерализации азота, а в осенний – больше 1, что говорит о преобладании процессов иммобилизации азота (табл. 3). Такой режим наиболее благоприятен, поскольку весной сельскохозяйственным растениям доступен минеральный азот для питания, а осенью иммобилизация азота микроорганизмами предотвращает его потери из почвы. Однако на органических полях Высогорского района наблюдалась противоположная картина. На традиционных полях всех хозяйств преобладали процессы иммобилизации азота, связанные, по-видимому, с интенсивным поглощением амилотических микроорганизмами минерального азота, поступающего с удобрениями.

Интенсивность процессов гумификации увеличивается осенью во всех исследованных почвах, о чем свидетельствует коэффициент гумификации. Полученный результат согласуется с данными Девятовой Т. А. с соавторами [24]. При этом в весенний период самый высокий коэффициент гумификации наблюдался на органическом поле Мензелинского района.

Таблица 3

Эколого-трофические индексы почв

Система земледелия	Коэффициент минерализации		Коэффициент гумификации		Коэффициент трансформации органического вещества	
	весна	осень	весна	осень	весна	осень
Арский район (5 лет)						
Традиционная	1,1	1,3	0,5	1,6	22,6	15,0
Органическая	0,7	1,3	0,9	1,0	62,6	18,5
Фон	0,2	1,0	0,5	1,0	8,4	14,7
Высокогорский район (10 лет)						
Традиционная	1,3	1,4	1,1	1,8	18,9	13,0
Органическая	1,4	0,5	0,6	2,2	15,4	66,3
Фон	0,4	1,1	1,5	3,4	150,8	14,1
Мензелинский район (свыше 25 лет)						
Традиционная	1,9	2,0	0,7	2,5	8,0	10,7
Органическая	0,8	1,8	1,5	2,6	36,1	13,9
Фон	1,2	1,6	1,2	3,2	20,9	17,0

Коэффициент трансформации органических остатков в осенний период на органических полях выше, чем на традиционных, что, возможно, объясняется большей средней численностью аммонификаторов на органических полях.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Подтверждено, что выявление биологических показателей почв, изменяющихся при переходе от обычного, традиционного земледелия к органическому и

выявление микробиологических и биохимических индикаторов длительности применения органического земледелия является очень сложной задачей.

Численность всех пяти трофических групп микроорганизмов в почвах статистически значимо изменялась по сезонам года, весной она была выше, чем осенью. Однако отличия между органическими и традиционными полями проявились только на уровне тенденции для отдельных групп – средняя численность аммонификаторов и амилаolitikов больше на органических полях. Закономерности схожи для хозяйств с разной длительностью применения принципов органической земледелия.

Среди эколого-трофических индексов наиболее перспективными, но требующими дальнейшего изучения являются коэффициент гумификации и коэффициент трансформации органических остатков.

Бактерии рода *Azotobacter* в серых лесных почвах проявили себя как индикатор для разделения фоновых необрабатываемых участков (0 % обрастания комочков) и земледельческого использования почв, независимо от системы земледелия (21–98 % обрастания). В черноземных почвах обилие азотобактера являлось показателем влажности почв, а не вида землепользования.

Из трех изученных ферментов фосфатаза оказалась лучшим индикатором длительности применения органической системы земледелия. Соотношение активности фосфатазы на органических и традиционных полях закономерно и статистически значимо изменялось в зависимости от длительности использования органической системы (5, 10 и 25 лет).

Для подтверждения полученных выводов исследования изменений микробиологических и биохимических свойств почв при органическом земледелии должны быть продолжены.

Список литературы

1. Бачин С. Органика мифы и реальность / С. Бачин. – М.: ООО «ХлебСоль», 2016. – 128 с.
2. Семенов А. М. Здоровая почвенная экосистема – основа здорового фитоценоза / А.М. Семенов, А. П. Глинушкин, М. С. Соколов // Успехи современной науки. – 2017. – Т. 2, № 10. – С. 29–33.
3. Векленко В. И. Основные направления воспроизводства земельных ресурсов / В. И. Векленко, В. В. Дуплин, Н. Д. Жмакина // Вестник Курской государственной сельскохозяйственной академии. – 2018. – № 3. – С. 150–157.
4. Кислов А. В. Регулирование воспроизводства органического вещества и гумуса в почве при организации севооборотов в биологическом земледелии на Южном Урале / А. В. Кислов, В. Н. Диденко, А. В. Кашеев, А. С. Саврасов // Зерновое хозяйство России. – 2012. – № 3. – С. 68–71.
5. Долгополова Н. В. Плодородие почвы и устойчивость системы земледелия – залог производства сельскохозяйственной продукции / Н. В. Долгополова, А. А. Маньшин, М. Ж. Аширбеков, Е. А. Батраченко // Вестник Курской государственной сельскохозяйственной академии. – 2022. – № 4. – С. 6–15.
6. Соколов М. С. Здоровая почва – условие развития агро- и социосфер (проблемно-аналитический обзор) / М. С. Соколов, А. М. Семенов, Ю. Я. Спиридонов, Е. Ю. Торопова, А. П. Глинушкин // Известия Российской академии наук. Серия биологическая. – 2020. – № 1 – С. 12–21.
7. Zarb J. The importance of microorganisms in organic agriculture / J. Zarb, R. Ghorbani, A. Koochekiand, C. Leifert // Outlooks on Pest Management. – 2005. – No 16(2). – P. 52–55. DOI:10.1564/16apl02
8. Емцев В. Т. Микробиология / В. Т. Емцев, Е. Н. Мишустин. – М.: Дрофа, 2008. – 445 с.

9. Куликова А. Х. Ферментативная активность почвы в зависимости от систем удобрения / А. Х. Куликова, С. А. Антонова, А. В. Козлов // Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. – 2017. – №4(40). – С. 36–43.
10. Калашников Р. П. Влияние минеральных удобрений на ферментативную активность черноземовидной почвы под посевами кукурузы / Р. П. Калашников, Е. А. Семенова, С. А. Фокин, Е. Б. Захарова // Дальневосточный аграрный вестник. – 2020. – № 3 (55). – С. 26–34.
11. Лабутова Н. М. Основы почвенной энзимологии / Н. М. Лабутова, Т. А. Банкина. – Санкт-Петербург: Издательский дом Санкт-Петербургского гос. ун-та, 2013. – 102 с.
12. Постовалов А. А. Роль минеральных удобрений в повышении супрессивности почвы и ограничении развития корневой гнили / А. А. Постовалов, С. Ф. Суханова // Известия Горского государственного аграрного университета. – 2021. – Т. 58(3). – С. 9–16.
13. Зинченко М. К. Влияние приемов обработки и доз удобрений на ферментативную активность серой лесной почвы / М. К. Зинченко, С. И. Зинченко // Вестник Курской государственной сельскохозяйственной академии. – 2017. – № 8. – С. 3–5.
14. Гордеева К. А. Влияние различных систем земледелия на агрохимические и биохимические показатели серой лесной почвы / К. А. Гордеева, Т. Г. Кольцова, В. И. Кулагина, Л. М. Сунгатуллина, А. М. Хайруллина // Российский журнал прикладной экологии. – 2024. – № 3 (39). – С. 34–38.
15. Кольцова Т. Г. Оценка ферментативной активности серых лесных почв в органических и традиционных агроценозах Предкамья Республики Татарстан / Т. Г. Кольцова, В. И. Кулагина, Л. М. Сунгатуллина, А. А. Андреева, Э. Х. Рупова // Российский журнал прикладной экологии. – 2022. – № 3 (31). – С. 34–42.
16. Даденко Е. В. Применение показателей ферментативной активности при оценке состояния почв под сельскохозяйственными угодьями / Е. В. Даденко, М. А. Прудникова, К. Ш. Казеев, С. И. Колесников // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. – 2013. – Т. 15, №3. – С. 1274–1277.
17. Газиев М. А. Роль органических и минеральных удобрений в развитии физиологических групп микроорганизмов в системе севооборота / М. А. Газиев, А. Т. Турдалиев, М. Ш. Низометдинов // Современные фундаментальные и прикладные исследования. – 2019. – №2. – С. 9–12.
18. Кулагина В. И. Информативность микробиологических и биохимических параметров для мониторинга почв при органическом земледелии / В. И. Кулагина, Л. М. Сунгатуллина, С. С. Рязанов, Р. Р. Шагидуллин, А. А. Андреева // Региональные геосистемы. – 2021. – Т. 45, № 4. – С. 459–470.
19. Казеев К. Ш. Биодиагностика почв: методология и методы исследований: / К. Ш. Казеев, С. И. Колесников. – Ростов-на-Дону: Издательство Южного федерального университета, 2012. – 260 с.
20. Кулагина В. И. Проверка набора параметров для интегральной оценки эколого-биологического состояния почв при органическом земледелии / В. И. Кулагина, Л. М. Сунгатуллина, С. С. Рязанов, А. М. Хайруллина, Р. Р. Шагидуллин, Э. Х. Рупова // Ученые записки Крымского федерального университета имени В.И. Вернадского. Биология. Химия. – 2021. – Т. 7 (73), № 1. – С. 90–102.
21. Зинченко М. К. Мониторинг численности бактериальной микрофлоры в агроэкосистемах серой лесной почвы / М. К. Зинченко // Достижения науки и техники АПК. – 2019. – Т. 33, № 12. – С. 10–14.
22. Завьялова Н. Е. Микробиологическое состояние дерново-подзолистой почвы Предуралья при длительном применении органических и минеральных удобрений / Н. Е. Завьялова, И. Г. Широких, В. Р. Ямалтдинова // Теоретическая и прикладная экология. – 2020. – № 1. – С. 151–159.
23. Благовещенская Г. Г. Микробные сообщества почв и их функционирование в условиях применения средств химизации / Г. Г. Благовещенская, Т. М. Духанина // Агрохимия. – 2004. – №2. – С.80–88.
24. Девятова Т. А. Влияние сельскохозяйственных угодий и подтипа почвы на микробное сообщество зональных почв на примере черноземов Каменной степи / Т. А. Девятова, Н. Б. Безлер, А. Н. Антонюк // Вестник ВГУ. Серия химия, биология, фармация. – 2003. – №1. – С. 46–49.

MICROBIOLOGICAL AND BIOCHEMICAL PROPERTIES OF SOILS UNDER DIFFERENT DURATIONS OF ORGANIC FARMING APPLICATION

*Kulagina V. I., Sungatullina L. M., Shagidullin R. R., Ryazanov S. S.,
Khairullina A. M., Gordeeva K. A.*

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

Organic farming was conceived as a strategy to promote favorable environmental conditions, preserve and restore soil fertility, and as a pathway toward sustainable agriculture. By stabilizing agroecosystems, organic farming enables the production of non-record-breaking yet relatively stable yields. Agroecosystem sustainability is achieved through appropriate crop rotations and balanced microbial and enzymatic pools in soils not subjected to synthetic fertilizers or pesticides. The exact timeframe for stabilizing soil biological and biochemical properties during the transition to organic farming remains unclear, making the study of temporal changes in microbial and enzymatic pools an ongoing research priority. The aim of this study was to compare microbiological and biochemical soil properties under varying durations of organic farming implementation. The study focused on soils from three farms in the Republic of Tatarstan practicing organic farming for 5, 10, and 25 years, respectively. We compared these soils with those from neighboring farms using traditional practices and undisturbed background sites. Soil samples were collected in spring and autumn 2024. Microbial abundance across five trophic groups was determined via cultivation on solid media, alongside the activity of three enzymes (invertase, phosphatase, and catalase). Eco-trophic indices, including humification and organic residue transformation coefficients, were calculated. Phosphatase activity emerged as the most robust biomarker for assessing the duration of organic farming adoption. The ratio of phosphatase activity in organic versus traditional fields exhibited consistent and statistically significant trends: after 5 years, activity was significantly lower in organic fields; after 10 years, no differences were observed; and after 25 years, activity became significantly higher in organic fields. The introduction of nitrogen fertilizers helps improve nitrogen nutrition and stimulate phosphatase activity. For this reason, a decrease in phosphatase activity is observed in the first years after the transition to organic farming. However, in the absence of regular doping in the form of mineral fertilizers, self-regulation mechanisms in the ecosystem come into force. With a lack of mobile phosphorus in the soil, the flow of phosphatases of microbial and plant origin into the soil increases. In gray forest soils, *Azotobacter* bacteria served as a reliable indicator to distinguish cultivated from uncultivated areas, regardless of farming practices. In chernozems, however, *Azotobacter* abundance reflected soil moisture levels rather than land use type. Seasonal variations significantly affected all five microbial trophic groups, with higher abundances in spring than autumn. Differences between organic and traditional fields were limited to trends in specific groups, such as higher mean abundances of ammonifiers and amylolytics in organic soils. Actinomycetes belong to the

group of amylolytic microorganisms, although they are counted separately. For microscopic fungi, seasonal fluctuations in abundance are less pronounced than for other trophic groups, and for autochthonous microflora, seasonal fluctuations in abundance are expressed best of all. These patterns were consistent across farms with differing organic farming histories. Among eco-trophic indices, the humification coefficient and organic residue transformation coefficient showed promise but require further validation. The humification coefficient was significantly higher in fields with 25 years of organic farming compared to adjacent traditional fields.

Keywords: soil, organic farming, enzyme activity, trophic groups of microorganisms, eco-trophic indices.

References

1. Bachin S. *Organics myths and reality*, 128 p. (KhlebSol, Moscow, 2016).
2. Semenov A. M., Glinushkin A. P., Sokolov M. S. Healthy soil ecosystem is the basis of healthy phytocenosis, *Modern Science Success*, **10**, 29 (2017).
3. Veklenko V. I., Duplin V. V., Zhmakina N. D. The main directions of reproduction of land resources, *Bulletin of the Kursk State Agrarian University*, **3**, 150 (2018).
4. Kislov A. V., Didenko V. N., Kashcheev A. V., Savraev A. S. Regulation of reproduction of organic matter and humus in the soil when organizing crop rotations in biological farming in the Southern Urals, *Grain farming of Russia*, **3**, 68 (2012).
5. Dolgoplova N. V., Manshin A. A., Ashirbekov M. Zh., Batrachenko E. A. Soil fertility and sustainability of the agricultural system is a guarantee of agricultural production, *Bulletin of the Kursk State Agrarian University*, **4**, 6 (2022).
6. Sokolov M. S., Semenov A. M., Spiridonov Yu. Ya., Toropova E. Yu., Glinushkin A. P. Healthy Soil – Condition of Stability and Development of the Argo- and Sociospheres (Problem and Analytical Review), *Bulletin of the Russian Academy of Sciences. Biological Series*, **1**, 12 (2020).
7. Zarb J., Ghorbani R., Koochekiand A., Leifert C. The importance of microorganisms in organic agriculture, *Outlooks on Pest Management*, **16**(2), 52 (2005) DOI:10.1564/16apl02
8. Emtsev V. T., Mishustin E. N. *Microbiology*, 445 p. (Bustard, Moscow, 2008).
9. Kulikova A. Kh., Antonova S. A., Kozlov A. V. Soil enzyme activity depending on the fertilizer system, *Vestnik of Ulyanovsk State Agricultural Academy*, **4**(40), 36 (2017).
10. Kalashnikov R. P., Semenova E. A., Fokin S. A., Zakharova E. B. Mineral fertilizers and enzymatic activity of chernozem-like soil used corn crops, *Far Eastern agricultural journal*, **3**, 26 (2020).
11. Labutova N. M., Bankina T. A. *Fundamentals of Soil Enzymology*, 102 p. (Publishing House of the St. Petersburg State University, St. Petersburg, 2013).
12. Postovalov A. A., Sukhanova S. F. Role of mineral fertilizers in increasing the soil suppressivity and limiting the root rot development, *News of the Gorsky State Agrarian University*, **58**(3), 9 (2021).
13. Zinchenko M. K., Zinchenko S. I. The influence of tillage practices and fertilizer rates on the fermentative activity of gray forest soil, *Bulletin of the Kursk State Agrarian University*, **8**, 3 (2017).
14. Gordeeva K. A., Koltsova T. G., Kulagina V. I., Sungatullina L. M., Khairullina A. M. Impact of various farming systems on agrochemical and biochemical characters in gray forest soil, *Russian Journal of Applied Ecology*, **3**, 34 (2024)
15. Koltsova T. G., Kulagina V. I., Sungatullina L. M., Andreeva A. A., Rupova E. H. Evaluation of the enzymatic activity of gray forest soil in organic and traditional agricultural landscapes of the Pre-Kama region of the Republic of Tatarstan, *Russian Journal of Applied Ecology*, **3**, 34 (2022).
16. Dadenko E. V., Prudnikova M. A., Kazeev K. Sh., Kolesnikov S. I. Application of enzyme activity for soil monitoring, *Bulletin of the Samara Scientific Center of the Russian Academy of Sciences*, **3**, 1274 (2013).

17. Gaziev M. A., Turdaliev A. T., Nizometdinov M. Sh. The role of organic and mineral fertilizers in the development of physiological groups of microorganisms in the crop rotation system, *Modern fundamental and applied research*, **2**, 9 (2019).
18. Kulagina V. I., Sungatullina L. M., Ryazanov S. S., Shagidullin R. R., Andreeva A. A. Informative Value of Microbiological and Biochemical Parameters for Soil Monitoring in Organic Farming, *Regional geosystems*, **4**, 459 (2021).
19. Kazeev K. Sh., Kolesnikov S. I. *Soil biagnostics: methodology and research methods*, 260 p. (Publishing House of the Southern Federal University, Rostov-on-Don, 2012).
20. Kulagina V. I., Sungatullina L. M., Ryazanov S. S., Khayrullina A. M., Shagidullin R. R., Rupova E. H. Assessment of the set of parameters for an integral evaluation of an ecological and niological state of soils in organic agriculture, *Scientific Notes of V.I. Vernadsky Crimean Federal University. Biology. Chemistry*, **1**, 90 (2021).
21. Zinchenko M. K. Monitoring of Bacterial Microflora in Agroecosystems of Grey Forest Soil, *Achievements of science and technology of the agro-industrial complex*, **12**, 10 (2019).
22. Zavyalova N. E., Shirokih I. G., Yamaltdinova V. R. Microbiological status of the Pre-Urals sod-podzolic soil with long-term use of organic and mineral fertilizers, *Theoretical and Applied Ecology*, **1**, 151 (2020).
23. Blagoveshchenskaya G. G., Dukhanina T. M. Soil microbial communities and their functioning under chemical ization conditions, *Agrochemistry*, **2**, 80 (2004).
24. Devyatova T. A., Bezler N. B., Antonyuk A. N. The influence of agricultural landshaft and soil sub-type on the microbial association of zonal soils on the example of «Kamennaya Steppe» chernozems, *Proceedings of Voronezh State University. Series: Chemistry. Biology. Pharmacy*, **1**, 46 (2003).

УДК 612.82

DOI 10.29039/2413-1725-2025-11-2-145-161

ЗЕРКАЛЬНЫЕ НЕЙРОНЫ И МОЗГОВОЙ «ДЕТЕКТОР ОШИБОК» В РАСПОЗНАВАНИИ КОРРЕКТНЫХ И ОШИБОЧНЫХ ДЕЙСТВИЙ

Мошкина М. В., Вавилина В. Е., Бушов Ю. В.

*Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего
образования «Национальный исследовательский Томский государственный университет»,
Томск, Россия
E-mail: moshkinamv989@gmail.com*

В обзоре анализируются современные данные о роли системы зеркальных нейронов и мозгового «детектора ошибок» в распознавании корректных и ошибочных действий. Анализ литературы свидетельствует о том, что в настоящее время отсутствует ясность в вопросе о том, как именно система зеркальных нейронов модулирует активность «детектора ошибок» и какова роль разных типов зеркальных нейронов и индивидуальных особенностей человека в этих процессах. Какое влияние оказывают на характер взаимодействия этих систем психические расстройства и измененные состояния сознания. Решение этих вопросов имеет не только теоретическое, но и практическое значение в плане диагностики и лечения подобных расстройств.

Ключевые слова: зеркальные нейроны, мозговой «детектор ошибок», механизмы взаимодействия.

ВВЕДЕНИЕ

Изучение роли системы зеркальных нейронов и мозгового «детектора ошибок» в социальном поведении человека является актуальной научно-практической проблемой. Это связано с тем, что от взаимодействия указанных систем существенно зависит успешность трудовой и познавательной деятельности современного человека, его адаптация к социальному окружению. Несмотря на значительное количество обзорных публикаций, посвященных зеркальной системе мозга, проблема взаимосвязи с мозговым «детектором ошибок» ранее не являлась предметом комплексного анализа. В существующих работах вопросы социальной детекции ошибок рассматривались лишь фрагментарно, что подчеркивает оригинальность и актуальность данного исследования. Целью данного обзора явился анализ современных исследований, направленных на изучение роли системы зеркальных нейронов и мозгового «детектора ошибок» в распознавании субъектом правильности или ошибочности собственных действий или действий другого человека. В обзор включены статьи, найденные в базах данных Scopus, Web of Science и PubMed по ключевым словам «зеркальные нейроны», «мозговой «детектор ошибок»», «mirror neuron system», «error detection», «observed error-related negativity (oERN)», «cognitive control» и «performance monitoring» за период с 2000 по 2024 год.

Зеркальные нейроны: локализация и функции

В последние десятилетия пристальное внимание исследователей привлекают, так называемые, зеркальные нейроны. Эти нейроны обнаружены у животных и человека. В настоящее время описаны три типа зеркальных нейронов («двигательные», «коммуникативные» и «эмоциональные»), которые различаются характером выполняемых функций и локализацией [1].

У летучих мышей зеркальные нейроны обнаружены в гиппокампе; у птиц – в каудальном ядре вентрального гиперстриатума и премоторной области, где расположен высший голосовой центр у певчих птиц; у крыс – в префронтальной коре, передней поясной коре, премоторной коре; у макак и человека – в префронтальной коре, передней поясной коре, первичной моторной коре, премоторной коре, нижней теменной доле [2, 3]. Кроме того, у человека зеркальные нейроны обнаружены в нижней лобной коре [3].

Зеркальные нейроны различных областей мозга объединяют в сети зеркальных нейронов в зависимости от выполняемых функций. Так, ряд авторов выделяют сенсомоторную сеть зеркальных нейронов приматов (одинакова у человека и обезьян), отвечающую за выполнение действий и наблюдение за их реализацией [2, 3]. Эту сеть образуют зеркальные нейроны, расположенные в: вентральной премоторной коре, первичной моторной коре, нижней теменной доле, передней интратемной области, дорсальной премоторной коре, медиальной премоторной коре, префронтальной коре, первичной и вторичной соматосенсорной коре [2–5].

Эмоциональную сеть зеркальных нейронов приматов образуют зеркальные нейроны передней поясной коры, миндалевидного тела, островка [3–5]. Bonini L. et al отмечают, что у человека в указанные сети, возможно, могут входить базальные ганглии и мозжечок [3]. Полагают, что у человека первичная и вторичная соматосенсорная кора, премоторная кора, а также у человека и приматов, латеральный гипоталамус также содержат зеркальные нейроны, участвующие в формировании эмоций [3–5]. По мнению исследователей, зеркальные нейроны, участвующие в формировании эмоций, находятся и в нижней лобной извилине, нижней теменной доле, лимбических структурах [2, 5].

В обработке речи у человека участвует левая лобно-теменно-височная сеть зеркальных нейронов: лобные моторные области, левая нижняя лобная извилина, области Бродмана 44 и 45, левая нижняя теменная борозда [2, 3, 5–8]. Некоторые исследователи включают в данную сеть также заднюю часть средней височной извилины [5]. Кроме того, к структурам с зеркальными нейронами, участвующим в обработке речи, относят премоторную и моторную кору [2, 5, 7, 9, 10]. Имеются данные о том, что зеркальные нейроны, участвующие в обработке речи, могут также находиться в первичной соматосенсорной коре и дополнительной моторной области, но необходимы дополнительные исследования [2, 3, 5, 9–11].

Можно ожидать, что именно «двигательные» зеркальные нейроны играют особую роль в детекции корректных и ошибочных действий другого человека.

По мнению исследователей [12], эти нейроны могут служить нейрональной основой для интерпретации действий, подражательного обучения и имитации

поведения других людей. Основанием для этого послужили, в частности, результаты опытов Л. Фогасси с коллегами [13] с регистрацией активности сорока одного зеркального нейрона в нижней теменной доле двух макаков резусов.

В ходе этих опытов обезьяны наблюдали, как экспериментатор брал яблоко и прикладывал его ко рту, или брал яблоко и помещал его на тарелку. Было обнаружено, что зеркальные нейроны активировались по-разному в зависимости от конечной цели действия. По мнению авторов данного исследования, зеркальные нейроны могут создать нейрональную основу для прогнозирования будущих действий другого индивида и понимания его намерений [13].

Высказано предположение, что это достигается путем копирования мозгом наблюдателя действий другого человека посредством актуализации соответствующих двигательных программ [14].

Вместе с тем, не все исследователи разделяют эту точку зрения. В частности, Грег Хикок [15] на основе анализа имеющихся данных приходит к выводу: «Ранняя гипотеза о том, что эти клетки лежат в основе понимания действия, является интересной и, на первый взгляд, разумной идеей. Однако, несмотря на широкое признание, это предположение никогда не было адекватно проверено у обезьян, а у людей есть эмпирические данные против данной теории».

Владимир Косоногов [16] указывает на другое противоречие. По мнению автора, сторонники теории зеркальных нейронов в качестве нейрофизиологической основы понимания действий постулируют, что активность зеркальных нейронов отражает цели чужих действий, потому что они активируются, если наблюдаемое действие целенаправленно. Однако остается неясным: откуда зеркальные нейроны «знают», что определенное действие целенаправленно? На какой стадии их активации они обнаруживают цель движения или её отсутствие? Автор считает, что система зеркальных нейронов может быть активирована только после того, как цель наблюдаемого действия определяется некоторыми другими структурами мозга [16].

С возражениями против того, что зеркальные нейроны ответственны за понимание намерений других людей, выступили и некоторые нейрофилософы. В частности, Патриция Чёрчлэнд [17] считает, что понимание намерений другого человека осуществляется на уровне более сложной нейронной активности, чем уровень отдельных нейронов.

Как показали результаты наших исследований с использованием функциональной магнитно-резонансной томографии (фМРТ) [18], наблюдение за выполнением оператором транзитивных и речевых действий сопровождается активацией не только тех зон коры, где расположены «двигательные» или «коммуникативные» зеркальные нейроны, но и других сенсорных, двигательных, ассоциативных зон коры, а также базальных ганглиев и мозжечка.

Эти данные свидетельствуют о том, что сами по себе зеркальные нейроны не обеспечивают понимание действий и намерений, хотя и участвуют в этом процессе. Предполагается, что эти нейроны выполняют роль посредника и обеспечивают взаимодействие между префронтальной корой, сенсорными, двигательными и ассоциативными зонами коры, а также местами хранения в мозге двигательных

программ (базальные ганглии и мозжечок). Результатом взаимодействия этих структур и является понимание действий и намерений других людей.

Эта «посредническая» функция зеркальных нейронов позволяет понять их участие и активность при наблюдении, выполнении и мысленном воспроизведении действий.

Таким образом, в настоящее время у животных и человека обнаружены три типа зеркальных нейронов («двигательные», «эмоциональные», «коммуникативные»), которые выполняют разные функции и отличаются локализацией.

Вместе с тем, анализ литературы показал, что функции зеркальных нейронов изучены недостаточно и в настоящее время неясно, какую роль играют эти нейроны в распознавании корректных и ошибочных действий другого человека.

ЭЭГ корреляты активации зеркальных нейронов

Считается, что характерным ЭЭГ-коррелятом активации зеркальных нейронов является депрессия мю-ритма частотой 8–13 Гц, который регистрируется в центральных областях коры и не подавляется при зрительной и слуховой стимуляции [19]. Вместе с тем, проведенные в этом направлении исследования дали неоднозначные результаты. В частности, изучая электрическую активность мозга при наблюдении за движениями рук и калейдоскопически движущимися стимулами, авторы приходят к выводу о том, что подавление мю-ритма может быть использовано как индикатор активации зеркальных нейронов человека, но эффект слабый и ненадежный и легко смешивается с подавлением затылочного альфа-ритма [20]. Кроме того, некоторые исследователи [21] выделяют в мю-ритме два поддиапазона 8–10 и 10–12 Гц, которые, по их мнению, функционально различаются.

В ряде исследований обнаружены значительные индивидуальные различия реактивности мю-ритма при выполнении двигательных задач [22–25].

Некоторые исследователи отмечают, что при изучении процессов сенсомоторной координации речи целесообразно учитывать не только изменения мю-ритма в альфа-, но и в бета-диапазоне частот [26].

Наряду с этим, имеются данные о том, что нарушение функций зеркальных нейронов может быть причиной аутизма [27].

Обнаружены отличия функционирования системы зеркальных нейронов у здоровых лиц и пациентов, страдающих шизофренией [28], а также аффективными расстройствами [29].

Таким образом, анализ литературы свидетельствует о том, что зеркальные нейроны могут играть и играют важную роль в различных когнитивных процессах, а нарушение их функции может быть причиной или следствием некоторых нервно-психических заболеваний.

Мозговой «детектор ошибок» и его функции

Одним из важнейших аспектов саморегуляции является способность мозга обнаруживать ошибки и корректировать поведение с учетом этих ошибок.

Этот процесс осуществляется посредством мозгового «детектора ошибок» (ДО) – специализированного нейрофизиологического механизма, позволяющего обнаруживать несоответствия между ожидаемыми и фактическими результатами действий.

Одним из первых исследователей, выдвинувших гипотезу о существовании нейронных механизмов контроля ошибок, была Наталья Петровна Бехтерева. В своих работах она изучала нейрофизиологические основы контроля поведения и регуляции двигательных и когнитивных актов [30–34]. Наталья Петровна выдвинула гипотезу о существовании специальных нейронных механизмов, способных фиксировать расхождения между ожидаемыми и фактическими результатами действий, что позволило мозгу адаптироваться и корректировать поведение. Исследования Н. П. Бехтеревой и ее коллег основывались на электрофизиологических данных, полученных при регистрации электрической активности мозга у людей, выполняющих когнитивные задачи.

Эти исследования заложили основу для понимания нейрофизиологических механизмов мониторинга ошибок, позволили связать эти процессы с функцией лобных отделов мозга, в частности, с передней поясной корой (ППК), базальными ганглиями и дофаминергической системой.

В ходе последующих исследований были обнаружены компоненты вызванных потенциалов: негативность, связанная с ошибкой (НСО), и негативность, связанная с сигналом обратной связи об ошибке (НСОС), которые в настоящее время рассматриваются, как ключевые электрофизиологические маркеры детекции ошибок [35–37].

После фундаментальных работ Натальи Петровны Бехтеревой и ее коллег в 1970–1980-х годах интерес к нейрофизиологии когнитивного контроля и детекции ошибок значительно возрос.

В 1993 году W. J. Gehring и соавторы впервые описали негативность, связанную с рассогласованием, – отрицательный компонент вызванных потенциалов, возникающий в передней поясной коре в диапазоне 50–100 мс после совершения ошибки.

Эта негативная волна была впервые зарегистрирована у испытуемых, выполняющих задачи, связанные с принятием решений.

Это открытие стало важным шагом в понимании механизмов контроля ошибок и когнитивной регуляции [36].

В последующие годы появилось несколько теоретических моделей, объясняющих работу мозгового «детектора ошибок». На данный момент НСО и компонент НСОС являются одними из основных электрофизиологических индикаторов когнитивного контроля, широко используемых в исследованиях адаптации поведения, тревожных и аффективных расстройств, обучения и предсказания ошибок.

Исследования М.В. Киреева [38] показали, что алкоголь оказывает анксиолитический (снижающий тревожность) эффект, подавляя негативную эмоциональную реакцию на ошибки. Потребление алкоголя изменяет баланс между когнитивным контролем и эмоциональной регуляцией.

Нарушение детекции ошибок способствует ослаблению механизмов адаптации поведения, снижая вероятность корректировки ошибок в будущем. По мнению автора, это может быть связано с изменениями в работе ППК и снижением амплитуды НСО и НСОС, что приводит к ослаблению негативного подкрепления и нарушению адаптации поведения.

В ходе экспериментов было показано, что алкоголь снижает выраженность негативных эмоциональных реакций на ошибки, что, в свою очередь, способствует рискованному поведению и недостаточной саморегуляции.

В эксперименте использовалась парадигма Go/No-Go, направленная на оценку способности испытуемых контролировать моторные реакции и адаптироваться к ошибкам.

Участники были разделены на две группы: контрольную (трезвые) и экспериментальную (употребление алкоголя до уровня легкого и умеренного опьянения). У испытуемых, употреблявших алкоголь, амплитуда НСО и НСОС была значительно ниже по сравнению с контрольной группой. В контрольной группе испытуемые демонстрировали более выраженную корректировку поведения после совершенных ошибок, что выражалось в увеличении латентности ответов в последующих попытках (эффект постошибочного замедления). У участников, употреблявших алкоголь, данный эффект был значительно ослаблен или отсутствовал, что свидетельствует о нарушении процессов когнитивной регуляции [38].

Вместе с тем из этой работы неясно, какое влияние оказывает алкоголь на детекцию ошибочных действий других.

Негативность, связанная с ошибкой, и ее значение

К основным характеристикам НСО относятся такие, как возникновение данного потенциала независимо от осознания ошибки и связь с процессом мониторинга ошибок.

Показательной в этом отношении является работа S. Nieuwenhuis и соавторов [39]. В этом исследовании авторы изучали связь между осознанием ошибок и амплитудой НСО.

Участникам исследования предлагалось выполнять «антисаккадный» тест, в котором они должны были фиксировать взгляд на центральной точке и, при появлении периферического стимула, быстро перемещать взгляд (совершать саккаду) в противоположную сторону.

Такая задача требует подавления автоматического рефлекса: обращения взгляда в сторону стимула и выполнения контролируемого движения в противоположную сторону. Ошибки в данной задаче происходят, когда испытуемый не может подавить рефлекторный акт и совершает движение взора в сторону вспышки. Во время выполнения задачи регистрировалась ЭЭГ для анализа компонентов, связанных с ошибками, таких как НСО и позитивность, связанная с ошибкой (ПСО).

ПСО является более поздним компонентом, который регистрируется спустя 300–500 мс после ошибки и связан с осознанием ошибки.

После каждого испытания участники сообщали, осознали ли они свою ошибку. Анализ полученных данных показал, что компонент НСО присутствовал как при осознанных, так и неосознанных ошибках, хотя его амплитуда была несколько выше при осознанных ошибках. В то же время компонент ПСО возникал только в случае осознанных ошибок. Когда же испытуемый не осознавал ошибку, амплитуда ПСО была значительно ниже или отсутствовала.

Результаты данного исследования свидетельствуют о том, что НСО отражает автоматический процесс детекции ошибок, в то время как ПСО отражает когнитивную, осознаваемую обработку информации об ошибке.

Проведенные исследования показали, что максимальная амплитуда НСО наблюдается в передней поясной коре, что подтверждается данными фМРТ и многоканальной ЭЭГ [40, 41].

В 2005 году S. DeBener и его коллеги провели исследование, направленное на изучение связи между амплитудой компонента НСО и степенью тяжести ошибок, а также на подтверждение роли ППК в генерации НСО.

Участники выполняли модифицированную задачу Струпа, в которой предъявлялись слова, обозначающие цвета, написанные чернилами разных цветов. Задача заключалась в том, чтобы как можно быстрее и точнее назвать цвет чернил, игнорируя значение слова. Это создавало условия для возникновения конфликтов и ошибок. Ошибки классифицировались по степени тяжести на основе времени реакции.

Анализ ЭЭГ показал, что амплитуда НСО была значительно выше при более грубых ошибках. Это указывает на то, что мозг реагирует более интенсивно на ошибки, которые, вероятно, являются результатом импульсивных или недостаточно обдуманных действий.

Данные фМРТ продемонстрировали, что активация области ППК была значительно выше при совершении ошибок по сравнению с правильными ответами. Более того, степень активации ППК коррелировала с амплитудой НСО, что подтверждает роль ППК в генерации НСО.

Было обнаружено, что после совершения ошибок участники замедляли свои реакции в последующих испытаниях. Это замедление коррелировало с амплитудой НСО, что предполагает связь между осознанием ошибки и последующей корректировкой поведения.

Являясь автоматическим сигналом об ошибке, НСО играет важную роль в эмоциональной регуляции.

Показано, что высокая амплитуда этого компонента связана с высоким уровнем тревожности, а ослабленная НСО – с депрессивными состояниями.

В частности, J. S. Moser с коллегами, продемонстрировали в своей работе связь между амплитудой НСО и уровнем тревожности [42]. Авторы проанализировали результаты исследований, изучающих связь между различными формами тревожности (общей тревожностью, социальной тревожностью, обсессивно-компульсивным расстройством) и амплитудой НСО.

Результаты анализа показали, что повышенная амплитуда НСО наблюдается у лиц с высоким уровнем тревожности, включая тех, кто страдает обсессивно-компульсивным расстройством и генерализованным тревожным расстройством.

Авторы также отметили, что мотивационные факторы, такие как значимость ошибок для участника, могут усиливать связь между тревожностью и НСО. Например, когда ошибки приводят к негативным последствиям или наказаниям, амплитуда НСО может быть еще более выраженной у тревожных индивидов.

По мнению авторов данного исследования, усиленная НСО у тревожных лиц может отражать повышенную чувствительность к ошибкам и негативным исходам, что, в свою очередь, связано с повышенной активностью систем мониторинга ошибок в мозге.

Параллельно с НСО был описан другой важный компонент ЭЭГ – негативность, связанная с сигналом обратной связи об ошибке (НСОС), которая связана не с самой ошибкой, а с обработкой информации о ней.

Волна НСОС представляет собой отрицательный компонент вызванного потенциала, возникающий в интервале 200–300 мс после предъявления стимула обратной связи, свидетельствующего о нежелательном исходе [35].

НСОС характеризуется максимальной амплитудой в центрально-фронтальных областях скальпа и, как показывают данные многоканальной ЭЭГ, в основном генерируется передней поясной корой и медиальной фронтальной корой [43].

Функционально НСОС отражает процесс автоматической детекции отрицательной обратной связи и кодирует ошибки предсказания вознаграждения.

Высокая амплитуда компонента НСОС регистрируется в ответ на отрицательную обратную связь, такую как потеря вознаграждения или неудачный выбор, в то время как положительная обратная связь вызывает слабый или отсутствующий стимул.

Негативность, связанная с сигналом обратной связи об ошибке, активно изучается в экспериментальных парадигмах, включающих задачи выбора и прогнозирования исходов. Например, в игровых задачах, имитирующих процесс принятия решений.

НСОС имеет наибольшую амплитуду в ответ на отрицательные исходы, такие, как потеря денег [44].

Аналогичные результаты получены в задачах на прогнозирование вероятности выигрыша, где величина НСОС варьирует в зависимости от субъективной значимости ошибки [45].

Исследования также показывают, что амплитуда волны НСОС модулируется индивидуальными характеристиками участников. У лиц с высокой тревожностью чувствительность к стимулу обратной связи усиливается, что свидетельствует о гиперчувствительности к негативной обратной связи и повышенном уровне предсказательной неопределенности [46]. Напротив, у пациентов с депрессивными расстройствами, амплитуда компонента НСОС снижена, что отражает ослабленный мониторинг ошибок и пониженную мотивационную значимость негативных исходов [44].

Кроме того, НСОС может служить маркером когнитивно-эмоциональной интеграции. В ситуациях высокой значимости ошибки активность ППК усиливается, увеличивая амплитуду компонента НСОС и способствуя более эффективной коррекции поведения.

Это подтверждается исследованиями, демонстрирующими высокоамплитудную НСОС у лиц, характеризующихся высоким уровнем социальной тревожности, когда ошибки связаны с серьезными социальными последствиями [43].

К настоящему времени предложены четыре основные теории о механизмах генерации НСО.

1) Теория подкрепляемого обучения. Согласно этой теории, несоответствие между предсказанным и фактическим результатом действия приводит к снижению дофаминовой активности в вентральной тегментальной области, что вызывает активацию ППК и генерацию НСО [35].

2) Теория мониторинга конфликтов. Эта теория рассматривает ДО, как систему, реагирующую не только на ошибки, но и на когнитивные конфликты [46, 47].

3) Теория предсказательного кодирования. Эта теория рассматривает работу мозга, как иерархическую систему прогнозирования, в которой сенсорная информация непрерывно сравнивается с внутренними моделями окружающей среды [48].

4) Синтетическая теория. Эта теория объединяет механизмы предсказательного кодирования, мониторинга конфликтов и подкрепляемого обучения, что позволяет объяснить, как мозг принимает решения об использовании когнитивных ресурсов в зависимости от значимости задачи [49].

Однако, эти теории не учитывают роль системы зеркальных нейронов в детекции корректных и ошибочных действий.

Связь зеркальных нейронов и мозгового «детектора ошибок»: нейрофизиологические механизмы

Система зеркальных нейронов и мозговой «детектор ошибок» представляют собой два ключевых механизма, обеспечивающих адаптивное поведение, социальное познание и обучение.

СЗН участвует в имитации действий, эмпатии и предсказании намерений других, в то время как система детекции ошибок регулирует мониторинг собственных ошибок, обеспечивая корректировку поведения [50].

Исследования показали, что мозговой «детектор ошибок» не только проверяет собственные ошибки, но и анализирует ошибки других людей, что отражается в активации НСО, возникающего при наблюдении за чужими ошибками [51].

Эта связь может объяснить механизмы социального обучения, когда ошибки окружающих используются для коррекции собственного поведения.

Электрофизиологические и нейровизуализационные исследования последних лет позволяют уточнить механизмы интеграции СЗН и детектора ошибок, особенно в контексте предсказания и корректировки ошибок. Данные магнитоэнцефалографии подтверждают, что нейроны ППК активируются до генерации НСО, что указывает на предсказательную роль зеркальной системы в процессах детекции ошибок [52].

Кроме того, эксперименты с транскраниальной магнитной стимуляцией (ТМС) демонстрируют, что подавление активности СЗН снижает амплитуду НСО, что

подтверждает вовлеченность зеркальных нейронов в мониторинг ошибок и адаптацию поведения [53].

Особую значимость для понимания функционального взаимодействия этих систем имеет социальное обучение, в ходе которого индивид наблюдает за действиями других и корректирует собственное поведение.

Исследования демонстрируют, что высокая амплитуда НСО положительно коррелирует с успешностью обучения посредством наблюдения, тогда как ее снижение отмечается у лиц с дефицитом эмпатии и социального познания, включая пациентов с расстройствами аутистического спектра [54, 55].

Клинические данные также подтверждают, что дисфункция СЗН и ППК может приводить к нарушению предсказания ошибок и корректировки поведения.

Например, у пациентов с шизофренией, отмечается ослабление активности СЗН и снижение амплитуды НСО. Этим может объясняться дефицит социального взаимодействия [56]. Напротив, у пациентов с ОКР, наблюдается усиленная НСО и гиперактивность СЗН, что проявляется в навязчивом контроле за ошибками и неспособности к гибкому изменению поведения [57].

Несмотря на значительный прогресс в изучении механизмов взаимодействия системы зеркальных нейронов и мозгового детектора ошибок, ряд вопросов остаются нерешенными.

Поскольку «эмоциональные» зеркальные нейроны имеются в передней поясной коре, которая участвует также в детекции ошибок, неясно, какую роль играют эти нейроны в детекции ошибок.

Более того, пока неясно, возможно ли целенаправленное воздействие на СЗН и систему детекции ошибок с целью улучшения способности индивида к социальной адаптации. Это имеет важное значение для коррекции нарушений социального поведения.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, имеющиеся литературные данные свидетельствуют о том, что мозговой «детектор ошибок» и система зеркальных нейронов представляют собой взаимосвязанную нейрокогнитивную сеть, обеспечивающую мониторинг ошибок, обучение и социальную адаптацию.

Вместе с тем, остается неясным, как именно СЗН модулирует активность ППК при детекции чужих ошибок, а также какова роль разных типов зеркальных нейронов и индивидуальных особенностей человека в этих процессах. Какое влияние оказывают на характер взаимодействия этих систем психические расстройства и измененные состояния сознания.

Решение этих вопросов имеет не только теоретическое, но и практическое значение в плане диагностики и коррекции подобных расстройств.

Важным направлением будущих исследований является использование комбинированных методов (фМРТ, ЭЭГ, ТМС, фармакологические манипуляции), что позволит детализировать механизмы взаимодействия мозгового «детектора ошибок» и системы зеркальных нейронов.

Список литературы

1. Риццолатти Д. Зеркала в мозге: о механизмах совместного действия и сопереживания / Д. Риццолатти, К. Синигалья ; [пер. с англ. О. А. Кураковой, М. В. Фаликман]. – М. : Языки славянских культур, 2012. – 208 с.
2. Hari E. Ayna nöron sistemi ve fonksiyonlarına klinik yaklaşım / Hari E., Cengiz C., Kılıç F., Yurdakoş E. // Journal of Istanbul Faculty of Medicine. – 2021. – Vol. 84, No 3. – P. 430.
3. Bonini L. Mirror neurons 30 years later: implications and applications / Bonini L., Rotunno C., Arcuri E., Gallese V. // Trends in Cognitive Sciences. – 2022. – Vol. 26, No 9. – P. 767.
4. Rizzolatti G. The mirror mechanism: a basic principle of brain function / Rizzolatti G., Sinigaglia C. // Nature Reviews Neuroscience. – 2016. – Vol. 17, No 12. – P. 757.
5. Farina E. Mirror neurons and their relationship with neurodegenerative disorders / Farina E., Borgnig F., Pozzo T. // Journal of Neuroscience Research. – 2020. – Vol. 98, No 6. – P. 1070.
6. Buccino G. Action observation activates premotor and parietal areas in a somatotopic manner: an fMRI study / Buccino G., Binkofski F., Fink G. R. [et al.] // European Journal of Neuroscience. – 2001. – Vol. 13, No 2. – P. 400.
7. Buccino G. Neural circuits involved in the recognition of actions performed by nonconspicuous: An fMRI study / Buccino G., Lui F., Canessa N. [et al.] // Journal of Cognitive Neuroscience. – 2004. – Vol. 16, No 1. – P. 114.
8. Rizzolatti G. The mirror-neuron system / Rizzolatti G., Craighero L. // Annual Review of Neuroscience. – 2004. – Vol. 27. – P. 69.
9. Watkins K. E. Seeing and hearing speech excites the motor system involved in speech production / Watkins K. E., Strafella A. P., Paus T. // Neuropsychologia. – 2003. – Vol. 41, No 8. – P. 989.
10. Ferrari P. F. Mirror neurons responding to the observation of ingestive and communicative mouth actions in the monkey ventral premotor cortex / Ferrari P. F., Gallese V., Rizzolatti G., Fogassi L. // European Journal of Neuroscience. – 2003. – Vol. 17, No 8. – P. 1703.
11. Möttönen R. Viewing speech modulates activity in the left SI mouth cortex / Möttönen R., Järveläinen J., Sams M., Hari R. // Neuroimage. – 2005. – Vol. 24, No 3. – P. 731.
12. Skoyles J. R. Gesture Language Origins and Right Handedness / Skoyles J. R. // Psychology. – 2000. – Vol. 11. – P. 24.
13. Fogassi L. Parietal lobe: from action organization to intention understanding / Fogassi L., Ferrari P. F., Gesierich B. [et al.] // Science. – 2005. – Vol. 308, No 5722. – P. 662.
14. Schippers M. B. Mapping the information flow from one brain to another during gestural communication / Schippers M. B., Roebroeck A., Renken R. [et al.] // Proceedings of the National Academy of Sciences. – 2010. – Vol. 107, No 20. – P. 9388.
15. Hickok G. Eight problems for the mirror neuron theory of action understanding in monkeys and humans / Hickok G. // Journal of Cognitive Neuroscience. – 2009. – Vol. 21, No 7. – P. 1229.
16. Kosonogov V. Why the mirror neurons cannot support action understanding / Kosonogov V. // Neurophysiology. – 2012. – Vol. 44, No 6. – P. 499.
17. Churchland P. S. Braintrust: What neuroscience tells us about morality. / Churchland P. S. – Princeton : Princeton University Press, 2011. – 288 p.
18. Бушов Ю. В. Роль зеркальных нейронов в интерпретации действий и намерений / Бушов Ю. В., Ушаков В. Л., Светлик М. В. [и др.] // Вестник Томского государственного университета. Биология. – 2021. – No 56. – С. 86.
19. Аликина М. А. Амплитудно-частотные, топографические, возрастные особенности и функциональное значение сенсомоторного ритма ЭЭГ / Аликина М. А., Махин С. А., Павленко В. Б. // Ученые записки Крымского федерального университета имени В. И. Вернадского. Биология и химия. – 2016. – Т. 2, No 2. – С. 3.
20. Hobson H. M. Mu suppression a good measure of the human mirror neuron system? / Hobson H. M., Bishop D. V. M. // Cortex. – 2016. – Vol. 82. – P. 290.
21. Pfurtscheller G. Functional dissociation of lower and upper frequency mu rhythms in relation to voluntary limb movement / Pfurtscheller G., Neuper C., Krausz G. // Clinical Neurophysiology. – 2000. – Vol. 111. – P. 1873.

22. Yang C. Y. Gender differences in the mu rhythm during empathy for pain: An electroencephalographic study / Yang C. Y., Decety J., Lee S., Chen C., Cheng Y. // *Brain Research*. – 2009. – Vol. 1251. – P. 176.
23. Anwar M. N. A possible correlation between performance IQ, visuomotor adaptation ability and mu suppression / Anwar M. N., Navid M. S., Khan M., Kitajo K. // *Brain Research*. – 2015. – Vol. 1603. – P. 84.
24. Huller Y. Real movement vs. motor imagery in healthy subjects / Huller Y., Bergmann J., Kronbichler M. [et al.] // *International Journal of Psychophysiology*. – 2013. – Vol. 87. – P. 35.
25. Makhin S. A. Interrelation between individual level of emotional intelligence and EEG sensorimotor rhythm reactivity at the time of synchronized imitation of another person's movement / Makhin S. A., Makaricheva A. A., Lutsyuk N. V. [et al.] // *Scientific Notes of V. I. Vernadsky Crimean Federal University*. – 2013. – Vol. 26, No 65. – P. 121.
26. Saltuklaroglu T. EEG mu rhythms: Rich sources of sensorimotor information in speech processing / Saltuklaroglu T., Bowers A., Harkrider A. W. [et al.] // *Brain and Language (in press)*. – 2018. – Vol. 187. – P. 41.
27. Dapretto M. Understanding emotions in others: Mirror neuron dysfunction in children with autism spectrum disorders / Dapretto M., Davies M. S., Pfeifer J. H. [et al.] // *Nature Neuroscience*. – 2006. – Vol. 9, No 1. – P. 28.
28. Зайцева Ю. С. Зеркальные клетки и социальная когнития в норме и при шизофрении / Зайцева Ю. С. // *Социальная и клиническая психиатрия*. – 2013. – Т. 23, № 2. – С. 96.
29. Лебедева Н. Н. Особенности функционирования системы зеркальных нейронов у больных с аффективными расстройствами / Лебедева Н. Н., Каримова Е. Д., Буркитбаев С. Е. [и др.] // *Журнал неврологии и психиатрии*. – 2018. – Т. 9. – С. 48.
30. Bechtereva N. P. Physiological foundations of mental activity / Bechtereva N. P., Gretchin V. B. // *International Review of Neurobiology*. – 1968. – Vol. 11. – P. 329.
31. Abdullaev Y. G. Neuronal correlate of the higher-order semantic code in human prefrontal cortex in language tasks / Abdullaev Y. G., Bechtereva N. P. // *International Journal of Psychophysiology*. – 1993. – Vol. 14, No 3. – P. 167.
32. Бехтерева Н. П. Нейрофизиологические аспекты психической деятельности человека. / Бехтерева Н. П. – Л. : Медицина, 1971. – 120 с.
33. Бехтерева Н. П. Нейрофизиологические аспекты психической деятельности человека. 2-е изд., перераб. и доп. / Бехтерева Н. П. – Л. : Медицина, 1974. – 151 с.
34. Бехтерева Н. П. Устойчивое патологическое состояние при болезнях мозга. / Бехтерева Н. П., Камбарова Д. К., Поздеев В. К. – Л. : Медицина, 1978. – 240 с.
35. Holroyd C. B. The neural basis of human error processing: reinforcement learning, dopamine, and the error-related negativity / Holroyd C. B., Coles M. G. // *Psychological Review*. – 2002. – Vol. 109. – P. 679.
36. Gehring W. J. A neural system for error detection and compensation / Gehring W. J., Goss B., Coles M. G. [et al.] // *Psychological Science*. – 1993. – Vol. 4. – P. 385.
37. Gehring W. J. A brain potential manifestation of error-related processing / Gehring W. J., Coles M. G., Meyer D. E., Donchin E. // *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*. – 1995. – Vol. 44. – P. 261.
38. Киреев М. В. "Детекция ошибок" в условиях выполнения ложных действий в норме и под воздействием алкоголя : дис. ... канд. биол. наук : 03.00.13 / Киреев Максим Владимирович. – Санкт-Петербург, 2008. – 128 с.
39. Nieuwenhuis S. Reinforcement-related brain potentials from medial frontal cortex: origins and functional significance / Nieuwenhuis S., Holroyd C. B., Mol N., Coles M. G. // *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*. – 2004. – Vol. 28. – P. 441.
40. Coles M. G. Why is there an HCO/Ne on correct trials? Response representations, stimulus-related components, and the theory of error-processing / Coles M. G., Scheffers M. K., Holroyd C. B. // *Biological Psychology*. – 2001. – Vol. 56, No 3. – P. 173.
41. Debener S. [et al.] Trial-by-trial coupling of concurrent electroencephalogram and functional magnetic resonance imaging identifies the dynamics of performance monitoring / Debener S. [et al.] // *Journal of Neuroscience*. – 2005. – Vol. 25. – P. 11730.
42. Moser J. S. On the relationship between anxiety and error monitoring: a meta-analysis and conceptual framework / Moser J. S., Moran T. P., Schroder H. S. [et al.] // *Frontiers in Human Neuroscience*. – 2013. – Vol. 50, No 12. – P. 1324–1335.

43. Cavanagh J. F. Frontal theta as a mechanism for cognitive control / Cavanagh J. F., Frank M. J. // Trends in Cognitive Sciences. – 2014. – Vol. 18, No 8. – P. 414.
44. Hajcak G. Event-related potentials, emotion, and emotion regulation: an integrative review / Hajcak G., MacNamara A., Olvet D. M. // Developmental Neuropsychology. – 2010. – Vol. 35, No 2. – P. 129.
45. Горин А. А. Транскраниальная электростимуляция постоянным током модулирует компонент негативности результата действия в монетарной игре / Горин А. А., Ключников В. А., Дутов И. И. // Журнал высшей нервной деятельности им. И. П. Павлова. – 2022. – Т. 72, № 5. – С. 678–689.
46. Botvinick M. M. Conflict monitoring and cognitive control / Botvinick M. M., Braver T. S., Barch D. M. [et al.] // Psychological Review. – 2001. – Vol. 108. – P. 624.
47. Botvinick M. M. Conflict monitoring and anterior cingulate cortex: an update / Botvinick M. M., Cohen J. D., Carter C. S. // Trends in Cognitive Sciences. – 2004. – Vol. 8, No 12. – P. 539.
48. Friston K. The free-energy principle: a unified brain theory? / Friston K. // Nature Reviews Neuroscience. – 2010. – Vol. 11. – P. 127–138.
49. Shenhav A. Decomposing the motivation to exert mental effort / Shenhav A., Fahey M. P., Grahek I. // Current Directions in Psychological Science. – 2021. – Vol. 30, No 4. – P. 307–314.
50. Rizzolatti G. The role of mirror mechanism in the recovery, maintenance, and acquisition of motor abilities / Rizzolatti G., Fabbri-Destro M., Nuara A., Gatti R., Avanzini P. // Neuroscience & Biobehavioral Reviews. – 2021. – Vol. 127. – P. 404–423.
51. Zaki J. The neuroscience of empathy: progress, pitfalls and promise / Zaki J., Ochsner K. N. // Nature Neuroscience. – 2012. – Vol. 15, No 5. – P. 675.
52. Kilner J. M. Predictive coding: an account of the mirror neuron system / Kilner J. M., Friston K. J., Frith C. D. // Cognitive Processing. – 2007. – Vol. 8, No 3. – P. 159.
53. Turella L. Mirror neurons in humans: consisting or confounding evidence? / Turella L., Pierno A. C., Tubaldi F., Castiello U. // Brain and Language. – 2009. – Vol. 108, No 1. – P. 10–21.
54. Козунова Г. Л. Нейробиологические факторы нарушения исполнительных функций при аутизме / Козунова Г. Л., Закиров Ф. Х., Рытикова А. М. [и др.] // Журнал высшей нервной деятельности им. И. П. Павлова. – 2023. – Т. 73, № 2. – С. 147–172.
55. Picerni E. Macro- and micro-structural cerebellar and cortical characteristics of cognitive empathy towards fictional characters in healthy individuals / Picerni E., Laricchiuta D., Piras F. [et al.] // Scientific Reports. – 2021. – Vol. 11, No 1. – P. 8804.
56. Kirschner H. Beyond a blunted ERN – Biobehavioral correlates of performance monitoring in schizophrenia / Kirschner H., Klein T. A. // Neuroscience & Biobehavioral Reviews. – 2022. – Vol. 133.
57. Gloe L. M. The Error-Related Negativity (ERN) in Anxiety and Obsessive-Compulsive Disorder (OCD): A Call for Further Investigation of Task Parameters in the Flanker Task / Gloe L. M., Courtney L. C. // Frontiers in Human Neuroscience. – 2021. – Vol. 15.

MIRROR NEURONS AND THE BRAIN «ERROR DETECTOR» IN RECOGNITION OF CORRECT AND ERRORS

Moshkina M. V., Vavilina V. E., Bushov Yu. V.

*Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education «National Research Tomsk State University», Tomsk, Russia
E-mail: moshkinamv989@gmail.com*

Introduction. The study of the role of the mirror neuron system and the brain «error detector» in human social behavior is an urgent scientific and practical problem. This is due to the fact that the success of the labor and cognitive activity of a modern person, his adaptation to the social environment significantly depends on the functioning of these

systems. The objective of this review was to analyze current research aimed at studying the role of the mirror neuron system and the brain's «error detector» in recognizing the correctness or incorrectness of one's own actions or the actions of another person.

Literature review. Literature analysis confirms the key role of the brain's «error detector» in regulating cognitive control, behavioral adaptation, and learning processes. The neurophysiological basis of this system is formed by the anterior cingulate cortex, basal ganglia, and dopaminergic system. The interaction of these structures allows the body to promptly detect errors, adjust behavioral strategies, and optimize decision-making processes. Electrophysiological markers of these processes are error-related negativity (ERN) and error-feedback signal (EFS)-related negativity, recorded using electroencephalography, as well as their variations detected when observing other people's errors. In recent years, special attention has been paid to the interaction of the mirror neuron system and the error detector, which emphasizes the importance of these systems in social adaptation and learning. These studies show that observing others' errors activates the anterior cingulate cortex (ACC), ventral premotor cortex, and inferior parietal lobule, providing a neurophysiological basis for mechanisms of social cognition. The MRNS that occurs when evaluating others' errors indicates the involvement of the mirror neuron system (MNS) in the analysis and prediction of other people's behavior. Studies have also revealed the clinical significance of MRNS in psychiatry. Patients with anxiety disorders have increased MRNS amplitude, indicating hypersensitivity to errors and excessive behavioral control. At the same time, decreased MRNS amplitude is characteristic of patients with depression, which may reflect weakened cognitive control and difficulties in adapting to errors. Impaired error monitoring is also observed in schizophrenia and obsessive-compulsive disorder, where changes in the ACC and mirror neuron system activity may explain the deficit in social interaction and excessive fixation on errors. In addition, modern studies indicate the possibility of modulating the brain's "error detector" using transcranial magnetic stimulation, pharmacological interventions, and cognitive training. Stimulation of the ACC and MNS allows changing sensitivity to errors and behavioral adaptability, which may be a promising direction in the treatment of cognitive and emotional disorders.

Conclusion. Thus, the available literature data indicate that the brain's «error detector» and the mirror neuron system are an interconnected neurocognitive network that ensures error monitoring, learning, and social adaptation. At the same time, it remains unclear how exactly the MNS modulates the activity of the ACC in detecting other people's errors, as well as the role of different types of mirror neurons and individual human characteristics in these processes. What effect do mental disorders and altered states of consciousness have on the nature of the interaction of these systems? The solution to these issues is not only theoretical, but also practical in terms of diagnosis and correction of such disorders.

Keywords: mirror neurons, brain «error detector», interaction mechanisms.

References

1. Rizzolatti D., Sinigal'ya K. *Zerkala v mozge: o mekhanizmaxh sovmestnogo deistviya i soperezhivaniya*, per. s angl. O. A. Kurakovoi, M. V. Falikman (Yazyki slavyanskikh kul'tur, Moskva, 2012), p. 208.

2. Hari E., Cengiz C., Kılıç F., Yurdakoş E., Ayna nöron sistemi ve fonksiyonlarına klinik yaklaşım, *Journal of Istanbul Faculty of Medicine*, **84(3)**, 430 (2021).
3. Bonini L., Rotunno C., Arcuri E., Gallese V., Mirror neurons 30 years later: implications and applications, *Trends in Cognitive Sciences*, **26(9)**, 767 (2022).
4. Rizzolatti G., Sinigaglia C., The mirror mechanism: a basic principle of brain function, *Nature Reviews Neuroscience*, **17(12)**, 757 (2016).
5. Farina E., Borgnis F., Pozzo T., Mirror neurons and their relationship with neurodegenerative disorders, *Journal of Neuroscience Research*, **98(6)**, 1070 (2020).
6. Buccino G., Binkofski F., Fink G. R., Fadiga L., Fogassi L., Gallese V., Seitz R. J., Zilles K., Rizzolatti G., Freund H.-J., Action observation activates premotor and parietal areas in a somatotopic manner: an fMRI study, *European Journal of Neuroscience*, **13(2)**, 400 (2001).
7. Buccino G., Lui F., Canessa N., Patteri I., Lagravinese G., Benuzzi F., Porro C. A., Rizzolatti G., Neural circuits involved in the recognition of actions performed by nonconspecifics: an fMRI study, *Journal of Cognitive Neuroscience*, **16(1)**, 114 (2004).
8. Rizzolatti G., Craighero L., The mirror-neuron system, *Annual Review of Neuroscience*, **27**, 69 (2004).
9. Watkins K. E., Strafella A. P., Paus T., Seeing and hearing speech excites the motor system involved in speech production, *Neuropsychologia*, **41(8)**, 989 (2003).
10. Ferrari P. F., Gallese V., Rizzolatti G., Fogassi L., Mirror neurons responding to the observation of ingestive and communicative mouth actions in the monkey ventral premotor cortex, *European Journal of Neuroscience*, **17(8)**, 1703 (2003).
11. Möttönen R., Järveläinen J., Sams M., Hari R., Viewing speech modulates activity in the left SI mouth cortex, *Neuroimage*, **24(3)**, 731 (2005).
12. Skoyles J. R., Gesture Language Origins and Right Handedness, *Psychology*, **11**, 24 (2000).
13. Fogassi L., Ferrari P.F., Gesierich B., Rozzi S., Chersi F., Rizzolatti G., Parietal lobe: from action organization to intention understanding, *Science*, **308(5722)**, 662 (2005).
14. Schippers M. B., Roebroek A., Renken R., Nanetti L., Keysers C., Mapping the information flow from one brain to another during gestural communication, *Proceedings of the National Academy of Sciences*, **107(20)**, 9388 (2010).
15. Hickok G., Eight problems for the mirror neuron theory of action understanding in monkeys and humans, *Journal of Cognitive Neuroscience*, **21(7)**, 1229 (2009).
16. Kosonogov V., Why the mirror neurons cannot support action understanding, *Neurophysiology*, **44(6)**, 499 (2012).
17. Churchland P. S., *Braintrust: What neuroscience tells us about morality* (Princeton University Press, Princeton, 2011), p. 288.
18. Bushov YU. V., Ushakov V. L., Svetlik M. V., Kartashov S. I., Orlov V. A., Rol' zerkal'nykh neuronov v interpretatsii deistvii i namerenii, *Vestnik Tomskogo Gosudarstvennogo Universiteta. Biologiya*, **56**, 86 (2021).
19. Alikina M. A., Makhin S. A., Pavlenko V. B., Amplitudno-chastotnye, topograficheskie, vozrastnye osobennosti i funktsional'noe znachenie sensomotornogo ritma EEG, *Uchenye Zapiski Krymskogo Federal'nogo Universiteta imeni V.I. Vernadskogo. Biologiya i Khimiya*, **2(2)**, 3 (2016).
20. Hobson H. M., Bishop D. V. M., Mu suppression a good measure of the human mirror neuron system?, *Cortex*, **82**, 290 (2016).
21. Pfurtscheller G., Neuper C., Krausz G., Functional dissociation of lower and upper frequency mu rhythms in relation to voluntary limb movement, *Clinical Neurophysiology*, **111**, 1873 (2000).
22. Yang C. Y., Decety J., Lee S., Chen C., Cheng Y., Gender differences in the mu rhythm during empathy for pain: An electroencephalographic study, *Brain Research*, **1251**, 176 (2009).
23. Anwar M. N., Navid M. S., Khan M., Kitajo K., A possible correlation between performance IQ, visuomotor adaptation ability and mu suppression, *Brain Research*, **1603**, 84 (2015).
24. Huller Y., Bergmann J., Kronbichler M., et al., Real movement vs. motor imagery in healthy subjects, *International Journal of Psychophysiology*, **87**, 35 (2013).
25. Makhin S. A., Makaricheva A. A., Lutsyuk N. V., Crone J. S., Schmid E. V., Thomschewski A., Butz K., Schütze V., Höller P., Trinka E., Interrelation between individual level of emotional intelligence and EEG sensomotor rhythm reactivity at the time of synchronized imitation of another person's movement, *Scientific Notes of V. I. Vernadsky Crimean Federal University*, **26(65)**, 121 (2013).

26. Saltuklaroglu T., Bowersb A., Harkrider A. W., Casenhiser D., Reilly K. J., Jenson D. E., Thornton D., EEG mu rhythms: Rich sources of sensorimotor information in speech processing, *Brain and Language (in press)*, **187**, 41 (2018).
27. Dapretto M., Davies M. S., Pfeifer J. H., Skott A. A., Sigman M., Bookheimer S. Y., Iacoboni M., Understanding emotions in others: mirror neuron dysfunction in children with autism spectrum disorders, *Nature Neuroscience*, **9(1)**, 28 (2006).
28. Zaitseva YU. S., Zerkal'nye kletki i sotsial'naya kognitsiya v norme i pri shizofrenii, *Sotsial'naya i klinicheskaya psikiatriya*, **23(2)**, 96 (2013).
29. Lebedeva N. N., Karimova E. D., Burkitbaev S. E., Mal'tsev V. YU., Gekht A. B., Osobennosti funktsionirovaniya sistemy zerkal'nykh neuronov u bol'nykh s affektivnymi rasstroistvami, *Zhurnal neurologii i psikiatrii*, **9**, 48 (2018).
30. Bechtereva N. P., Gretchin V. B., Physiological foundations of mental activity, *International Review of Neurobiology*, **11**, 329 (1968).
31. Abdullaev Y. G., Bechtereva N. P., Neuronal correlate of the higher-order semantic code in human prefrontal cortex in language tasks, *International Journal of Psychophysiology*, **14(3)**, 167 (1993).
32. Bekhtereva N. P., *Neirofiziologicheskie aspekty psikhicheskoi deyatel'nosti cheloveka* (Meditsina, Leningrad, 1971), p. 120.
33. Bekhtereva N. P., *Neirofiziologicheskie aspekty psikhicheskoi deyatel'nosti cheloveka*, 2-e izd., pererab. i dop. (Meditsina, Leningrad, 1974), p. 151.
34. Bekhtereva N. P., Kambarova D. K., Pozdeev V. K., *Ustoichivoe patologicheskoe sostoyanie pri boleznyakh mozga* (Meditsina, Leningrad, 1978), p. 240.
35. Holroyd C. B., Coles M. G., The neural basis of human error processing: reinforcement learning, dopamine, and the error-related negativity, *Psychological Review*, **109**, 679 (2002).
36. Gehring W. J., Goss B., Coles M. G., Meyer D. E., Donchin E., A neural system for error detection and compensation, *Psychological Science*, **4**, 385 (1993).
37. Gehring W. J., Coles M. G., Meyer D. E., Donchin E., A brain potential manifestation of error-related processing, *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, **Suppl. 44**, 261 (1995).
38. Kireev M. V., *"Detektsiya oshibok" v usloviyakh vypolneniya lozhnykh deistvii v norme i pod vozdeystviem alkogolya*, dissertatsiya kandidata biologicheskikh nauk: 03.00.13, S.-Peterb. gos. un-t (Sankt-Peterburg, 2008), p. 128.
39. Nieuwenhuis S., Holroyd S. V., Mol N., Coles M. G., Reinforcement-related brain potentials from medial frontal cortex: origins and functional significance, *Neuroscience and Biobehavioral Reviews*, **28**, 441 (2004).
40. Coles M. G., Scheffers M. K., Holroyd C. B., Why is there an NSO/Ne on correct trials? Response representations, stimulus-related components, and the theory of error-processing, *Biological Psychology*, **56(3)**, 173 (2001).
41. Debener S., et al., Trial-by-trial coupling of concurrent electroencephalogram and functional magnetic resonance imaging identifies the dynamics of performance monitoring, *Journal of Neuroscience*, **25**, 11730 (2005).
42. Moser J. S., Moran T. P., Schroder H. S., Donnellan M. B., Yeung N., On the relationship between anxiety and error monitoring: a meta-analysis and conceptual framework, *Frontiers in Human Neuroscience*, **50(12)**, 1324 (2013).
43. Cavanagh J. F., Frank M. J., Frontal theta as a mechanism for cognitive control, *Trends in Cognitive Sciences*, **18(8)**, 414 (2014).
44. Hajcak G., MacNamara A., Olvet D. M., Event-related potentials, emotion, and emotion regulation: an integrative review, *Developmental Neuropsychology*, **35(2)**, 129 (2010).
45. Gorin A. A., Klyuchnikov V. A., Dutov I. I., Transkranial'naya ehlektrostimulyatsiya postoyannym tokom moduliruet komponent negativnosti rezul'tata deistviya v monetarnoi igre, *Zhurnal vysshei nervnoi deyatel'nosti im. I.P. Pavlova*, **72(5)**, 678 (2022).
46. Botvinick M. M., Braver T. S., Barch D. M., Carter C. S., Cohen J. D., Conflict monitoring and cognitive control, *Psychological Review*, **108**, 624 (2001).
47. Botvinick M. M., Cohen J. D., Carter C. S., Conflict monitoring and anterior cingulate cortex: an update, *Trends in Cognitive Sciences*, **8(12)**, 539 (2004).

48. Friston K., The free-energy principle: a unified brain theory?, *Nature Reviews Neuroscience*, **11**, 127 (2010).
49. Shenhav A., Fahey M. P., Grahek I., Decomposing the motivation to exert mental effort, *Current Directions in Psychological Science*, **30(4)**, 307 (2021).
50. Rizzolatti G., Fabbri-Destro M., Nuara A., Gatti R., Avanzini P., The role of mirror mechanism in the recovery, maintenance, and acquisition of motor abilities, *Neuroscience and Biobehavioral Reviews*, **127**, 404 (2021).
51. Zaki J., Ochsner K. N., The neuroscience of empathy: progress, pitfalls and promise, *Nature Neuroscience*, **15(5)**, 675 (2012).
52. Kilner J. M., Friston K. J., Frith C. D., Predictive coding: an account of the mirror neuron system, *Cognitive Processing*, **8(3)**, 159 (2007).
53. Turella L., Pierno A. C., Tubaldi F., Castiello U., Mirror neurons in humans: consisting or confounding evidence?, *Brain and Language*, **108(1)**, 10 (2009).
54. Kozunova G. L., Zakirov F. KH., Rytikova A. M., Stroganova T. A., Chernyshev B. V., Neurobiologicheskie faktory narusheniya ispolnitel'nykh funktsii pri autizme, *Zhurnal vysshei nervnoi deyatel'nosti im. I. P. Pavlova*, **73(2)**, 147 (2023).
55. Picerni E., Laricchiuta D., Piras F., Vecchio D., Petrosini L., Cutuli D., Spalletta G., Macro- and micro-structural cerebellar and cortical characteristics of cognitive empathy towards fictional characters in healthy individuals, *Scientific Reports*, **11(1)**, 8804 (2021).
56. Kirschner H., Klein T. A., Beyond a blunted ERN - Biobehavioral correlates of performance monitoring in schizophrenia, *Neuroscience and Biobehavioral Reviews*, 133 (2022).
57. Gloe L. M., Courtney L. C., The Error-Related Negativity (ERN) in Anxiety and Obsessive-Compulsive Disorder (OCD): A Call for Further Investigation of Task Parameters in the Flanker Task, *Frontiers in Human Neuroscience*, 15 (2021).

УДК 582. 33/34

DOI 10.29039/2413-1725-2025-11-2-162-185

**БРИОФЛОРА ДЕЙСТВУЮЩИХ И ПЕРСПЕКТИВНЫХ
ОХРАНЯЕМЫХ ТЕРРИТОРИЙ КАЛАЧСКОГО ОВРАЖНО-БАЛОЧНОГО
ЮЖНОЛЕСОСТЕПНОГО ЛАНДШАФТНОГО РАЙОНА, ВОРОНЕЖСКАЯ
ОБЛАСТЬ (ЧАСТЬ 2)**

Попова Н. Н.

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

В статье представлены материалы по бриофлоре охраняемых территорий Калачского овражно-балочного южнолесостепного района, расположенного в центральной части Воронежской области к востоку от долины р. Дон. Изучены все действующие ООПТ, а также проектируемые и перспективные объекты (более 80). В Части 1 статьи охарактеризован видовой состав бриофлоры изучаемого района и типичных ландшафтов, представленных на его территории. В составе бриофлоры выявлено 146 видов, из них 19 видов занесены Красную книгу Воронежской области. Лишь 70 % видового состава мохообразных охвачены территориальной охраной. В Части 2 дана бриологическая характеристика действующих и перспективных объектов. В целях повышения уровня репрезентативности сети ООПТ Воронежской области даны рекомендации по ее оптимизации.

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

ВВЕДЕНИЕ

В Части 1 данной статьи обоснована перспективность ландшафтно-экологического подхода в оценке репрезентативности региональной сети охраняемых территорий и дана краткая характеристика природных условий Калачского овражно-балочного южнолесостепного ландшафтного района [1]. Сеть действующих ООПТ на территории изучаемого района, расположенного в центральной части Воронежской области к востоку от долины р. Дон, включает 1 государственный федеральный заказник «Каменная степь», 2 государственных региональных природных заказника («Великоархангельский», «Рассыпной яр»), 1 природный ландшафтный парк («Ломы») и 24 памятника природы областного значения [2]; количество проектируемых ООПТ – более 40 [3]. В связи с обилием неравнозначных по площадям и значению объектов, числящихся как среди действующих, так и среди проектируемых ООПТ, необходимость комплексной ревизии является актуальной.

Цель данного исследования заключается в оценке репрезентативности сети ООПТ Калачского овражно-балочного южнолесостепного ландшафтного района

лесостепной провинции Среднерусской провинции в аспекте сохранения биоразнообразия такого компонента биоты как мохообразные.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Сборы мохообразных проводились в 1982–84 и 2014–24 годы маршрутным методом. Количество изученных объектов – более 80. Гербарные сборы хранятся в фондовом гербарии заповедника «Галичья гора» (VU).

Номенклатура видов дана по сводкам мхов и печеночников России [4, 5]. Материалы, характеризующие бриофлору ООПТ, сгруппированы по административным районам. Сначала анализируются параметры видового богатства существующих ООПТ, затем проектируемых, далее приводятся перспективные объекты, предлагаемые к охране автором статьи; номера объектов в тексте соответствуют таковым на Рис. 1 и в Таблице 1 (Часть 1 данной статьи). Некоторые характерные ландшафты Калачского ЛР иллюстрированы photographиями автора (Рис. 2–11). Принятые сокращения: нп. – населенный пункт, окр. – окрестности, пос. – поселок, пгт. – поселок городского типа, р-н – район, хут. – хутор; ГПЗ – государственный природный заказник, ЛР – ландшафтный район, ПП – памятник природы, ДПП – действующий ПП, ППП – проектируемый ПП.



Рис. 1. Действующие (одинарный контур), проектируемые (двойной контур) и перспективные (точечный контур) ООПТ на территории Калачского ландшафтного района.



Рис. 2. Меловая дубрава на правом берегу р. Битюг.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Бриологическая характеристика действующих, проектируемых и перспективных и ООПТ Калачского овражно-балочного южнолесостепного ландшафтного района

Для изученных ООПТ указаны: установочные данные, количество выявленных видов; перечислены редкие и индикаторные таксоны; виды, занесенные в Красную книгу Воронежской области [6] отмечены *. Если не указан специально статус ООПТ (например, ГПЗ или Природный парк), то речь идет о памятниках природы. Действующие и перспективные гидрологические ООПТ, в которых объектами охраны являются исключительно водные экосистемы в данной статье не рассматриваются.

БОБРОВСКИЙ РАЙОН

Действующие ООПТ

1. «Целинные склоны у с. Липовка». Площадь 25 га. Объект был предложен к охране в 1984 г. автором статьи. Расположен на правом берегу р. Битюг к востоку от с. Липовка. Объект охраны: кальцефитно-петрофитные степи. Видовое разнообразие мохообразных – 17 видов, преимущественно степных кальцефитов, среди которых **Homalothecium lutescens* (Hedw.) H. Rob., **Seligeria calcarea* (Hedw.) Bruch et al.

2. «Степные склоны у с. Шестаково». Площадь 40 га. Объект расположен в 2 км к востоку от с. Шестаково, представляет собой балочную систему, выходящую в пойму р. Битюг, с типичными по составу и структуре степными сообществами на меловых обнажениях. Состояние объекта неудовлетворительное в связи с выпасом, густой тропиной сетью, замусориванием. Количество выявленных мхов – 16, среди них типичные кальцефиты **Seligeria calcarea*, *Pterygoneurum subsessile* (Brid.) Jur., *Encalypta vulgaris* Hedw., изученные популяции малочисленны.

Проектируемые ООПТ

3. «Байрачные и кальцефитные степи от с. Пчелиновка (Бобровский р-н) до хут. Антиповка (Павловский р-н)» (Рис. 2). По площади, природоохранной значимости и эстетической привлекательности объект, на наш взгляд, вполне соответствует статусу ГПЗ или природного парка с наименованием **«Дубравы и степи правобережья р. Битюг»**. В качестве ключевых территорий можно рассматривать ДПП **«Целинные степи у с. Липовка»**, а также меловую пещеру (рис. 3) – одну из самых интересных в области (входит в ППП **«Мечетка»**), ППП **«Дальняя яруга»** близ с. Пчелиновка, крупные нагорные дубравы ниже автомобильного моста через р. Битюг (входят в состав ППП **«Меловые лбы»**). Целесообразно придание статуса ДПП и лесным массивам **«Большой лес»** и **«Боярский лес»** близ с. Липовка. В целом, видовое разнообразие правобережья р. Битюг от с. Пчелиновка до устья оценивается нами примерно в 60 видов. Численность популяций кальцефильных петрофитов **Seligeria pusilla* (Hedw.) Bruch et al., **S. calcarean*, **Homalothecium lutescens*, **H. sericeum* (Hedw.) Bruch et al. *Fissidens gracilifolius* Brugg.-Nann. & Nyholm весьма значительна; в нагорных дубравах высокого обилия достигают и неморальные базифильные эпифиты *Anomodontella longifolia* Brugg.-Nann. & Nyholm, *Anomodon viticulosus* (Hedw.) Hook. et Taylor, **Leucodon sciuroides* (Hedw.) Schwaegr., *Pseudoanomodon attenuatus* (Hedw.) Ignatov & Fedosov. Учитывая недостаточную представленность нагорных дубрав в заповедном фонде Воронежской области, а также высокое ландшафтно-экологическое и биологическое разнообразие правобережья р. Битюг, данную территорию можно рассматривать как эталонную среди ООПТ всего Донского Белогорья.

Примечание. ППП **«Чибисовские курганы»**, **«Шестаковский каньон»** (редких мохообразных в них не выявлено) целесообразно объединить в один ООПТ ландшафтного профиля совместно с ДПП **«Степные склоны у с. Шестаково»**.



Рис. 3. Меловая пещера на правобережье р. Битюг.

БУТУРЛИНОВСКИЙ РАЙОН

Действующие ООПТ

4. ГПЗ «Великоархангельский». Площадь 3580,21 га. Практически вся территория ГПЗ занята луговыми сообществами, приуроченными к заболоченной пойме р. Осередь. На крутом правобережье с выходами мела имеют место обедненные степные сообщества, а в верховьях балок – небольшие байрачные дубравы. Геологический и бриологический интерес имеет заброшенный карьер по добыче мергеля на северной окраине г. Бутурлиновки (ППП «Осередские обрывы»), здесь выявлены кальцефильные аридные виды *Bryum funckii* Schwaegr., *Pterygoneurum subsessile*. Определенную ботаническую ценность имеют фрагменты каменистых степных сообществ на слабозасоленных почвах по склонам балок с выходами мелких песчаников, где отмечена довольно крупная и активно спороносящая популяция индикаторного вида ненарушенных степных сообществ *Encalypta vulgaris*. Видовое богатство мохообразных ГПЗ – 32 вида, в основном частых и устойчивых. Состояние объекта неудовлетворительное, природоохранная ценность в существующих границах незначительная. Целесообразно включение в состав ООПТ склонов обширной балки к востоку от с. Великоархангельское, а также истоки р. Осередь у с. Тюниково.

5. Родник «Нижний Кисляй» (рис. 4). Площадь 0,1 га. Расположен на восточной окраине с. Нижний Кисляй в верховьях балки, впадающей в долину р. Битюг. Ранее это был мощный бурлящий родник, выносящий на дневную поверхность карбонатные воды меловой системы, в последние годы дебет существенно снизился. Прилегающая территория сильно нарушена вследствие обустройства родника. Из водных мхов присутствуют *Drepanocladus aduncus* (Hedw.) Warnst., *Leptodictyum riparium* (Hedw.) Warnst.; всего выявлено 5 видов.

Проектируемые ООПТ



Рис. 4. Родник «Нижний Кисляй».

6. «Сумская свита хут. Данило». Крупная балка Данило с непересыхающим ручьем представляет как геологический, так и ботанический интерес, поскольку изобилует меловыми обнажениями с кальцефитно-петрофитными группировками на правобережье долины. В составе бриофлоры выявлено – 12 видов, среди них аридные кальцефиты *Trichostomum crispulum* Bruch, *Weissia longifolia* Mitt.

Примечание. Безотлагательного изучения и охраны заслуживают старовозрастные кварталы Шипова леса в Морозовском лесничестве, особенно участки с крупными оврагами, солонцовые поляны, выходы родников. Более подробно Шипов лес рассматривается в рамках Павловского р-на.

ВЕРХНЕМАМОНСКИЙ РАЙОН

Действующие ООПТ

Ольховатская сосна. Объект, расположенный на левобережных песчаных террасах донской долины, в результате неоднократных пожаров потерял свое значение ввиду неудовлетворительного состояния.

Проектируемые ООПТ

7. «Журавкинское золото», «Минеральные образования в оврагах в районе с. Русская Журавка» (рис. 5) – ландшафтно-экологическая характеристика этих двух объектов сходна, все они расположены близ с. Русская Журавка, поэтому рассматриваются совместно; ППП представляют собой крупную систему балок с разрезами обнажений целого комплекса стратиграфических подразделений – от меловых до четвертичных; золотоносные кайнозойские отложений промышленной ценности не имеют. Склоны балок заняты степной растительностью, по днищам протекают временные водотоки, иногда запруженные; развиты оползневые явления. Бриофлора насчитывает 10 видов, из относительно интересных присутствует вид спорадического распространения *Bryum dichotomum* Hedw. (отмечен в каменистой степи).



Рис. 5. Балочные ландшафты у с. Русская Журавка.

8. «Урочище Платово» – небольшая сухая байрачная дубрава; бриофлора включает лишь 15, типичных для данных сообществ, видов.

9. «Невестин ключ в с. Приречное» – мощный «кипящий» родник, выносящий воды меловой системы; обустроен. Из мхов выявлены: на влажной почве *Funaria hygrometrica* Hedw., *Barbula unguiculata* Hedw., *Bryum argenteum* Hedw.; на деревянных поверхностях мостика и купели *Amblystegium serpens* (Hedw.) Bruch et al., *Leptodictyum riparium*. Охраны заслуживает и мощный родник «Белый ключ» в с. Лозовом с массовым развитием в русле ручья *Leptodictyum riparium*.

Перспективные ООПТ

10. «Низовья Ковыльного лога» близ хут. Лукьянчиков. Объект представляет собой низовья крупной балки, прорезающей близ выхода в донскую пойму мощный массив зандровых песков; характерные сообщества: песчаные степи, сосновые посадки, притеррасный ольшаник, заболоченная пойма ручья. Видовой состав мохообразных включает 37 видов, среди них интересны бореальные виды хвойно-широколиственных лесов *Dicranum polysetum* Sw., *D. scoparium* Hedw., **D. tauricum* Sapjegin (облигатный эпиксил), *Pleurozium schreberi* (Brid.) Mitt., *Climacium dendroides* (Hedw.) F. Weber et D. Mohr., а также аридные *Weissia brachycarpa* (Nees et Hornsch.) Jur., *Pterygoneurum ovatum* (Hedw.) Dixon, *P. subsessile*, отмеченные вдоль бровки террасы. Обоснованием к охране данного участка является наличие здесь богатого комплекса ландшафтов, слабо представленных в системе ООПТ Воронежской области.

ВОРОБЬЕВСКИЙ РАЙОН

Действующие ООПТ

11. «Ломовский природный ландшафтный парк». Площадь 1505,16 га. Расположен в восточной части Воронежской области на границе с Волгоградской. Природные ландшафты включают байрачную дубраву с пересыхающим водотоком по днищу и немногочисленными мелкими глыбами песчаника; разнотравно-злаковые степи по склонам большой балки, открывающейся за пределами ООПТ в долину р. Подгорной, галофитные группировки по опушке дубравы и в верхних частях склонов, немногочисленные родники. Немалую площадь парка занимает рекреационная зона. Видовое богатство мохообразных достаточно велико – более 40 видов, из них редкие: *Anomodontella longifolia* (неморальный эпифит), *Grimmia pulvinata* (Hedw.) Sm. (петрофит, отмеченный на песчаниковых глыбах, привезенный для декора), *Hygroamblystegium humile* (P. Beauv.) Vanderp., Goffinet et Hedenaes (гигрофит, собранный на влажном валеже вблизи родника), *Mnium stellare* Hedw. (неморальный вид почвенных обнажений), *Riccia sorocarpa* Bisch. (степной галофит), *Weissia brachycarpa* (степной кальцефит); однократно на засоленных почвах встречен арктоальпийский вид **Buckia vaucheri* (Lesq.) D. Rios, M.T. Gallego & J. Guerra.

Проектируемые ООПТ

12. ГПЗ «Лес Третьяк». Крупная водораздельная и, частично, нагорная дубрава, расположена в междуречье рек Подгорной и Толучеевки в пределах двух районов – Воробьевского и Калачеевского. По составу и структуре вполне типична для дубрав южной лесостепи; возраст и бонитет лесных насаждений существенно ниже, чем в Шиповом лесу. Целесообразно включить в территорию ГПЗ **Урочище**

«Роскошное» (ДПП), представляющее собой остатки старинного усадебного парка. Старовозрастные экземпляры дуба черешчатого сохранились лишь близ пруда, большая часть территории урочища занята насаждениями робинии и груши. В настоящее время в бриофлоре ГПЗ насчитывается 25 видов, более тщательное обследование, вероятно, позволит увеличить эту цифру до 30–40 видов. Из числа редких можно назвать неморальный эпифит **Leucodon sciuroides*, отмеченный на стволах дуба черешчатого и робинии.

13. «Усадьба Лисаневичей в с. Березово». В настоящее время от усадебного парка, расположенного в излучине р. Толучеевки, остались лишь аллеи посадки тополя бальзамического. Видовое разнообразие мхов весьма скудное (5 частых и устойчивых видов); вследствие обильно разросшегося девичьего винограда, напочвенные мхи полностью отсутствуют.

14. «Сумская свита с. Нижний Бык» (геологический профиль), «Балочно-луговые степи у с. Верхний Бык» (ботанический профиль), «Долина р. Подгорной у с. Нижний Бык», «Верховья р. Подгорной у с. Верхний Бык» (рис. 6), «Долина р. Подгорной у хут. Луговской» (ландшафтный профиль) – перечисленные объекты целесообразно рассматривать как реперные точки одного большого ООПТ, имеющего ранг ГПЗ, поскольку территориально они расположены на правом берегу верхнего течения р. Подгорной и прилегают друг к другу. Это долинно-балочный комплекс с богатым набором типичных ландшафтов среднерусской лесостепи – ковыльных склоновых степей, каменистых кустарничковых степей, галофитных группировок, лугово-болотных сообществ, байрачных дубрав. Особенно эффектны так называемые «быки» (мощные холмы, формирующиеся между близко расположенными оврагами) на восточной окраине с. Нижний Бык. Биоразнообразие мохообразных предполагаемого участка – около 30 видов, довольно обычных в степных сообществах на лессовидных почвах, а также в лесополосах и маловозрастных байрачных дубравах южной лесостепи.



Рис. 6. Верховья р. Подгорной в урочище Быки.

15. Урочище «Лес Долгий» Объект расположен между с. Воробьевка и пос. Первомайский; может служить примером лесостепных асимметричных балочных комплексов: склоны южной экспозиции заняты степной растительностью, северные склоны – дубравой, прорезанной глубоким донным оврагом. Видовое разнообразие мохообразных составляет 30 видов, из числа интересных лесных видов можно назвать неморальный эпифит *Anomodontella longifolia*; ряд степных кальцефитов обнаружен на стенках канав в заброшенных глиняных карьерах (южная часть урочища) – *Bryum dichotomum*, *Pterygoneurum subsessile*, *Weissia brachycarpa*.

16. Урочище «Зайчиха» Крупная байрачная дубрава в окр. с. Лещаное (местные названия урочища различаются, поэтому требуется уточнение границ и местоположения ППП) находится в балке сложной морфологической структуры, включающей останцы с выходами мелко-мергельных пород, террасы, оползни, глубокие донные овраги с непересыхающими водотоками и крупными глыбами песчаников по их днищам («Каменный овраг», «Отрог»). Видовое богатство мохообразных – 50 видов, одно из самых высоких для лесостепных дубрав; здесь присутствуют базифильные эпифиты *Anomodontella longifolia*, **Leucodon sciuroides*, *Anomodon viticulosus*, *Pseudoanomodon attenuatus*; ацидофильные петрофиты, произрастающие на песчаниках, – *Fissidens gracilifolius*, **Taxiphyllum wisgrillii* (Garov.) Wijk et Margad., *Sciuro-hypnum populeum* (Hedw.) Ignatov et Huttunen, **Rhynchostegium murale* (Hedw.) Bruch et al.; о хорошей сохранности лесных экосистем свидетельствует обильное развитие напочвенных мхов на крутых склонах оврагов – *Mnium marginatum* (Dicks.) P. Beauv., *M. stellare*, *Climacium dendroides*, *Marchantia polymorpha* L. **Урочище «Ясиновский яр»** (разнотравно-злаковая степная балка западнее с. Лещаное) бриологического интереса не представляет, выявлено 7 широко распространенных видов.

17. Урочище «Винница» – небольшая балка, занятая байрачной дубравой, открывается в долину р. Подгорной на западной окраине с. Никольское. Видовой состав дубравы довольно беден и включает около 15 типичных для лесостепных дубрав мхов; бриологический, (возможно, и геологический), интерес представляет кустарный карьер по добыче песка и щебня. На камнях встречаются петрофиты *Grimmia pulvinata* *Schistidium crassipilum* Blom, *S. apocarpum* (Hedw.) Bruch et al., *Tortula muralis* var. *aestiva* Hedw.; в каменистой степи – *Aloina rigida* (Hedw.) Limpr., *Brachythecium glareosum* (Bruch ex Spruce) Bruch et al., *Bryum funckii*, *Leptobryum pyriforme* (Hedw.) Wilson, *Cephaloziella divaricata* (Bruch ex Spruce) Bruch et al., *Pterygoneurum ovatum*; в прилегающих к карьере насаждениях робинии – **Leucodon sciuroides*. В целом выявлено около 40 видов, весьма разнородных по экологической приуроченности, что обуславливает существенную природоохранную ценность урочища. **«Обнажение с. Никольское»** (стратотипический разрез палеоцена и эоцена), видимо, располагается в старом карьере на левобережье р. Подгорной в северо-восточной части того же села, массовыми видами на песчаных осыпях между слоистыми глыбами слабо спрессованного песчаника являются *Syntrichia ruralis* (Hedw.) F. Weber et D. Mohr., *Bryum caespitium* Hedw., *Brachythecium campestre* Hedw., *Barbula unguiculata*, *Ceratodon purpureus* (Hedw.) Brid.; редких мхов нет.

18. «Байрачные дубравы у с. Елизаветовка». Наиболее крупной дубравой является лес «Высокий», вытянутый узкой полосой с севера на юг примерно на 2 км; видовой состав мохообразных довольно скудный – 20–25 видов, редких мхов не выявлено. Требуется уточнение местоположения ППП.

19. Правобережье р. Толучеевки у с. Рудня. Объект может служить классическим примером лесостепных ландшафтов Калачской возвышенности – выходы мела с кальцефитными группировками, разнотравно-ковыльные степи, галофитные сообщества, фрагменты нагорных дубрав. Наибольшую ландшафтно-экологическую ценность имеет участок правобережья долины от с. Воробьевка (Воробьевский р-н) до с. Пришиб (Калачеевский р-н). Видовое разнообразие мохообразных оценивается в 40–45 видов.

20. Долина р. Толучеевки у с. Березово. Предполагаемыми объектами охраны являются: меловое правобережье, пойменные луга, байрачный лес (в балке Вязовой). Видовое разнообразие этого, а также близкого по набору растительных сообществ ППП «Левобережье р. Толучеевки у с. Мужичье», составляет около 15–20 видов, среди относительно редких – аридные эфемерные мхи *Pterygoneurum ovatum*, *Tortula modica* R.H.Zander, для которых отмечено обильное спороношение.

21. Урочище «Три леска» близ с. Краснополье. Видовой состав мохообразных сходен с таковым для ППП «Байрачные дубравы у с. Елизаветовка».

Примечание. «Обнажение с. Воробьевка» – стратотипический разрез палеоцена; местоположение ППП не указано.

КАЛАЧЕЕВСКИЙ РАЙОН

Действующие ООПТ

22. ГПЗ «Рассыпной яр». Организован в 2021 г. площадь не указана. Расположен севернее хут. Блошицын и западнее с. Манино. Состоит из трех кластеров и занимает бассейн р. Подгорной в ее верхнем течении. Объекты охраны: байрачные дубравы, кальцефитно-петрофитные степи, обнажения палеоцена и эоцена, долинно-луговые комплексы. Всего выявлено 50 видов мохообразных, из них 2 вида (**Homalia trichomanoides* (Hedw.) Bruch et al., **Leucodon sciuroides*) занесены в основной список Красной книги Воронежской области [6]) и 5 видов (*Encalypta vulgaris*, *Pterygoneurum ovatum*, *P. subsessile*, *Syntricha caninervis* Mitt., *Trichostomum crispulum*) – в мониторинговый. Состояние экосистем заказника можно оценить как удовлетворительное, а роль в сохранении типичных бриокомплексов южной лесостепи как достаточно значимую. Целесообразно включить в территорию заказника ППП геологического профиля «Обнажения с. Манино» (разрез палеоцена и миоцена)

23. «Фосфорит в овраге Криничном». Площадь 0,27 га. Расположен в 3 км к северу от хут. Гринев. Объект охраны: выходы нежелваковых фосфоритов. Тонкий слой фосфоритов выходят на дневную поверхность из-под корней деревьев по кромке оврага. Видовое разнообразие мхов, с учетом узкой полосы прилегающей байрачной дубравы, невелико – 18 довольно частых лесных видов.

24. «Пеньковая гора». Площадь 35 га. Расположена в центре г. Калач, представляет собой крупный меловой останец с характерной кальцефитно-петрофитной

растительностью, в восточной части имеется меловая пещера. Выявлено 15 видов; из числа кальцефитов, характерных для относительно ненарушенных степных сообществ можно назвать лишь *Abietinella abietina* (Hedw.) M. Fleisch., *Campylidium calcareum* (Crundw. et Nyholm) Ochyra, *Didymodon fallax* (Hedw.) R. H. Zander. Редких кальцефильных петрофитов, обычно произрастающих на влажных меловых стенках пещер, в калачеевской пещере не выявлено, видимо, в связи с ее «коренным обустройством» (зачистка стен и побелка входа, установка дверей и др.).

Проектируемые ООПТ

25. «Дубрава Закалач» – большой массив нагорной дубравы на правом берегу р. Толучеевки; рельеф осложнен оврагами, открывающимися в долину реки; имеются крупные меловые останцы (урочище Нестерячья гора, рис. 7). В связи с разнообразным спектром местообитаний, бриофлора урочища достаточно богата (45 видов) и несет в своем составе ряд редких неморальных эпифитов (*Anomodontella longifolia*, **Leucodon sciuroides*, *Anomodon viticulosus*, **Homalia trichomanoides*, **Porella platyphylla* (L.) Pfeiff., *Syntrichia virescens* (De Not) Ochyra) и степных кальцефитов (*Weissia levieri* (Limpr.) Kindb., *Bryum funckii*, *Trichostomum crispulum*).



Рис. 7. Урочище Нестерячья гора.

26. «Обнажения с. Ильинка» (рис. 8). Объект охраны: разрез нижнего горизонта неоплейстоцена. Целесообразно изменить профиль ППП, сделав его комплексным, и включить в число охраняемых объектов кальцефитно-петрофитные степи и байрачную дубраву. Бриофлора всей рекомендуемой к охране территории насчитывает 30 видов, среди них редкий акртоальпийский кальцефит **Buckia vaucheri*.

27. ГПЗ Меловое правобережье р. Толучеевки (между селами Старомеловое и Ширяево). Несмотря на относительно небольшую площадь и расположение близ населенных пунктов, правобережье р. Толучеевки отличается высоким уровнем биоразнообразия мохообразных – 22 вида, это виды каменистых степных группировок на слабо засоленных почвах, выходах палеогеновых глин и меловых обнажениях: *Pterygoneurum ovatum*, *P. subsessile*, *Weissia levieri*, *Bryum funckii*,

Trichostomum crispulum, *Syntricha caninervis*, *Schistidium apocarpum*, *Grimmia pulvinata*, **G. plagiopodia* Hedw.

Перспективные ООПТ



Рис. 8. Мело-мергельные обнажения у с. Ильинка.

28. «Меловое правобережье р. Козынки у с. Новомеловатка» (рис. 9). Предлагаемый ППП характеризуется высоким уровнем ландшафтного разнообразия: глубокие овраги с выходами слоистых известняков, мело-мергельные обнажения, выходы палеогеновых глин; заняты данные местообитания каменистыми степями, галофильными и кальцефильными группировками, а также искусственными сосняками. Видовое богатство мохообразных весьма велико – 45 видов, доля редких видов также одна из самых высоких среди бриофлор (около 20 %) изучаемого ЛР. Здесь присутствуют кальцефильные степные виды (*Campylidium calcareum*, *Campyliadelphus chrysophyllus* (Brid.) R.S. Chopra, *Encalypta vulgaris*, *Brachythecium glareosum*, **Homalothecium lutescens*, *Tortula modica*), галофиты (**Physcomitrium arenicola* Laz.), бореальные лесные виды (*Pleurozium schreberi*, *Dicranella heteromalla* (Brid.) Schimp., *Dicranum scoparium*, *Climacium dendroides*, **Hylocomiadelphus triquetrus* (Hedw.) Ochyra et Stebel), петрофиты (*Grimmia pulvinata*, *Bryoerythrophyllum recurvirostrum* (Hedw.) P.C. Chen, *Tortula muralis* var. *aestiva*).

29. «Выходы известняков в окр. хут. Крутой». Глубокий лесной овраг с выходами слоистых известняков расположен в 3 км к югу от хут. Крутой близ карьера, который в последние годы вновь стал активно разрабатываться. Урочище характеризуется высоким видовым богатством мохообразных (около 40 видов), что обусловлено наличием известняков и песков мелового возраста, нечастых на территории области. В связи с этим становится понятным обилие редких мхов, как лесных, так и петрофильных: *Atrichum flavisetum* Mitt., *Bryoerythrophyllum recurvirostrum*, *Fissidens gracilifolius*, *Grimmia pulvinata*, *G. muehlenbeckii* Schimp., *Mnium marginatum*, *Ortotrichum anomalum* Hedw., *Plagiomnium rostratum* Hedw., *Pohlia cruda* (Hedw.) Lindb., *Rhizomnium punctatum* (Hedw.) T.J. Kop., *Sciuro-hypnum populeum*,



Рис. 9. Выходы известняков у с. Новомеловатка.

30. «Байрачная дубрава у с. Медвежье». Довольно крупная дубрава прилегает с юго-востока к с. Медвежье; расположена в междуречье р. Козынки и ее верхних притоков. По днищам оврагов среди известнякового рухляка протекают непересыхающие ручьи. Бриофлора (35 видов) является типично лесной, причем, напочвенные мхи, обычно слабо развивающиеся в сухих лесостепных дубравах, весьма обильны; интерес представляют эпигейные *Fissidens bryoides* Hedw., *F. taxifolius* Hedw., а также эпиксильные *Lophocolea heterophylla* (Schrad.) Dum., **Dicranum tauricum*.

31. «Степная балка между нп. Журавлино и Лесково» – типичная для Калачской возвышенности степная балка, в верховьях занята байрачной дубравой; на склонах южной экспозиции господствуют кальцефитно-петрофитные сообщества, на склонах северной – злаково-разнотравные. Видовой состав мохообразных (28 видов) вполне репрезентативно отражает спектр перечисленных местообитаний, из числа редких кальцефитов здесь отмечен эфемерный мох *Aloina rigida*.

Примечание. ГПЗ «Калачеевский», планируемый для охраны популяций дрофы, расположен в пределах двух ландшафтных районов – Калачского овражно-балочного южно-лесостепного и Богучарского левобережного степного. Интересных в ботаническом отношении объектов не имеет. **Урочище «Долгое»** (западнее с. Переволочное) представляет собой один из крупных отвершков долины р. Мамоновки; имеет смысл изучение всего долинно-балочного комплекса этой малой реки с обоснованием необходимости охраны наиболее интересных участков. **Урочище Россоховатое** (севернее хут. Россоховатый), вследствие довольно сильной нарушенности, бриологической ценности не имеет; предлагаемый нами объект № 31 более репрезентативен.

НОВОХОПЕРСКИЙ РАЙОН

Действующие ООПТ

32. «Краснянская степь» (рис. 10) – один из старейших памятников природы Воронежской области, охраняется с 1969 [7]; площадь 100 га; степь занимает

пологие склоны балки Карайчевой близ пос. Долиновский. Объекты охраны: ковыльные степи и галофильные сообщества. Бриофлора степных участков насчитывает 15 видов, среди них массовыми являются *Bryum caespiticium*, *Ceratodon purpureus*; меньшего обилия достигают *Brachythecium albicans* (Hedw.) Bruch et al., *B. campestre*, *Syntrichia ruralis*; спорадически встречаются *Tortula truncata* (Hedw.) Mitt., *Pterygoneurum ovatum*, *P. subsessile*, *Weissia brachycarpa*.



Рис. 10. Краснянская степь.

33. «Долина р. Пыховка» – большая по площади (1412 га) охраняемая территория, организована недавно. Проектируемые объекты **«Овражно-балочная система долины р. Пыховка»** близ пос. Централь, а также **«Галофитный комплекс р. Савала у с. Пыховка»** (Среднехоперский придолинный южнолесостепной ЛР) целесообразно объединить, создав единый ГПЗ, и включить в него также и левый приток – балку Ольховатскую. Ландшафты долины р. Пыховки, ранее крупной речной системы, весьма разнообразны: обширные пологие степные склоны разных экспозиций, глубокие овраги, байрачные дубравы, галофильные сообщества, заболоченные днища балок. Бриофлора всей указанной территории оценивается в 40–45 видов. Из числа интересных лесных видов можно отметить неморальный эпифит *Anomodontella longifolia*; особый интерес вызывает нахождение аридного галофильного печеночника *Riccia ciliifera* Link ex Lindenb., собранного на засоленных почвах вдоль опушки байрачной дубравы в 5 км от хут. Камышановский; помимо указанной риччии в этих же сообществах отмечены и *R. ciliata* Hoffm., *R. sorocarpa*; такого таксономического разнообразия риччиевых печеночников больше нигде в Воронежской области не зафиксировано.

Проектируемые ООПТ

«Краснянская степь» близ пос. Центральный. Вероятно, планируется расширение существующего ПП (до 500 га), однако это целесообразно сделать, за счет территорий, прилегающих к нп. Березово, Желтые Пруды, Соколовский,

Долиновский. Видовой состав мхов существенно не увеличится, возможно лишь на 7–10 видов, приуроченных к древесным субстратам в лесополосах и небольших байрачных дубравах. Несмотря на незначительное разнообразие мхов (бриофлора охарактеризована в объекте № 32), ботаническая ценность Краснянских степей значительна.

34. «Солонцовые озера». Расположены близ хут. Солонцов в южной части Новохоперского р-на, объект представляет собой многочисленные мелкие западины с галофильной растительностью, даже в сухое время года они не пересыхают. Между озерцами встречаются более сухие псаммофильные степные группировки. Несмотря на небольшое количество выявленных мхов (8 видов), среди них присутствуют весьма редкие индикаторные виды влажных солонцов **Physcomitrium arenicola*, *P. pyriforme* (Hedw.) Hampe .

Перспективные ООПТ

35. «Степные склоны на правом берегу р. Добринки» (включая заброшенный известняковый карьер) близ пос. Солонцовский. Площадь хорошо сохранившихся ковыльных степей на пологих западных склонах долины весьма значительна, с ландшафтной точки зрения целесообразно включить в перечень охраняемых объектов обширную заболоченную пойму, а также щебеночный карьер, отличающийся специфическим набором экотопов, благоприятных для поселения редких мхов. Видовое богатство мхов – около 25 видов, среди них *Grimmia pulvinata*, *G. muehlenbeckii*, *Schistidium apocarpum*, *Bryoerythrophyllum recurvirostrum*, *Pohlia cruda*, *Barbula convoluta* Hedw., *Tortula muralis* var. *aestiva*.

36. «Степные склоны на правом берегу р. Савалы к северу от с. Пыховка» (включая заброшенный известняковый карьер). Правобережье р. Савалы характеризуется наличием хорошо сохранившихся ландшафтов, типичных для северной оконечности Калачской возвышенности: глубокие овраги с выходами мело-мергельных пород, небольшие байрачные дубравы, ковыльные степи. Видовой состав мхов не богат (около 15 видов) и сходен с таковым для степных балок долины р. Пыховки; однако в щебеночном карьере сделана единственная находка в области петрофита *Nihpotrichum canescens* (Hedw.) Bednarek-Jchura & Ochura.

37. «Выходы известняков на правом берегу р. Савалы близ с. Русаново». Около десятка небольших по протяженности, но глубоких оврагов открываются в пойму р. Савалы; почти в каждом из них имеются уникальные для Воронежской области довольно мощные естественные выходы слоистых рыхлых известняков. К сожалению, в литературе описания подобного геологического феномена не обнаружено. Всего выявлено 25 видов мхов, среди них петрофиты *Schistidium apocarpum*, *S. dupretii* (Ther.) W.A. Weber, *Tortula muralis* Hedw., *Grimmia pulvinata*. Стоит отметить не только бриофлористическое разнообразие ППП, но и весьма обильное развитие мхов на известняковом рухляке по склонам оврагов (*Leptobryum pyriforme*, *Eurhynchiastrum pulchellum* (Hedw.) Ignatov et Huttunen, *Bryum creberrimum* Taylor, *Brachythecium campestre*).

38. «Байрачные дубравы у пос. Михайловский». Расположены как к югу, так и северо-востоку от поселка, в оврагах, открывающихся в долину р. Татарки. Особенно интересно урочище близ кустарного карьера. Дубрава занимает крутые

склоны оврага, прорезанного непересыхающим ручьем, по днищу которого обильны довольно крупные глыбы песчаников. Экоотопическое разнообразие и особенности микроклимата обусловили обилие редких видов, как эпифитов – *Anomodontella longifolia*, *Brachythecium rotaceum* De Not, **Homalia trichomanoides*, так и петрофитов – *Fissidens gracilifolius*, *Sciuro-hypnum populeum*, *Tortula muralis* var. *aestiva*, **Taxiphyllum wisgrillii*; нечастым явлением в лесостепных дубравах является развитие мхов на почвенных обнажениях, в описываемом урочище отмечены редкие эпигейные мхи *Plagiothecium cavifolium* (Brid.) Z. Iwats., *Tortula mucronifolia* Schwaegr. Всего выявлено 40 видов.

ПАВЛОВСКИЙ РАЙОН

Действующие ООПТ

39. «Парк в с. Воронцовка». Площадь 14 га. Парк разбит более двух веков назад графом Воронцовым на левобережье р. Осередь. Ранее только дубовый регулярный парк имел площадь 23 га; пейзажный парк (около 15 га) располагался в северной части усадьбы и включал каскад небольших прудов и живописные групповые посадки. Большая часть территории парка в настоящее время утрачена, однако единичные 300-летние экземпляры дуба сохранились. Видовое разнообразие мохообразных 19 видов, из редких видов особого упоминания заслуживают неморальные эпифиты **Porella platyphylla*, **Leucodon sciuroides*.

40. «Парк в с. Большая Казинка». Площадь 10 га. Расположен в северо-западной части села на территории бывшего имения Трубецких и Сухановых-Подколзиных, ранее парк имел площадь около 40 га; фрагменты усадебного комплекса закладки конца XVIII – начала XIX веков включают каскад ныне пересохших прудов, сосновые аллеи, отдельные старовозрастные экземпляры липы, ясеня, ели, группы из тополя серебристого, а также дубовую рощу, переходящую в естественный лес, единичные исторические постройки. Бриофлора насчитывает 22 вида, редких видов нет.

41. «Дендропарк на хут. Тумановка». Площадь 2 га. Парк усадьбы Тумановского – Васильчикова расположен на западной окраине Шипова леса, в настоящее время сохранились фрагменты лиственных аллей и фруктового сада; к сожалению, пруды и прилегающие к ним делянки 150–200-летних дубов не входят в охраняемую территорию. Реальная площадь ценного дендрологического объекта существенно больше охраняемой; видовое разнообразие мохообразных весьма велико для такой небольшой территории – 32 вида, причем, среди них с высоким обилием присутствуют индикаторные неморальные эпифиты *Anomodontella longifolia*, *Anomodon viticulosus*, **Leucodon sciuroides*.

42. Шипов лес. Шипов лес – уникальная лесостепная водораздельная дубрава, площадью около 35 тысяч гектаров, расположенная на водоразделе рек Осередь и Битюг. За высокое качество древесины она была объявлена Петром Первым «государевым корабельным лесом». Лесной массив разделен безлесными балками на три крупные части: северная – Казенная дача (Морозовское лесничество), средняя – Первая Корабельная дача (Красное и Новенькое лесничества, южная – Вторая Корабельная дача (Александровское лесничество). Древостой представлен в

основном дубом черешчатым возрастом 100–150 лет, с отдельными экземплярами до 300 лет. Рельеф сложен многочисленными, но неглубокими оврагами с пересыхающими водотоками, в районе хут. Тумановка имеются пруды. На склонах безлесных балок встречаются маломощные меловые обнажения; родник с карбонатными водами образует небольшую речку Чернавку.

В бριοфлоре Шипова леса выявлено 85 видов мохообразных, разных в экологическом (от ксерофитов до гигрофитов, от эпифитов до эпигейных мхов и эпиксиллов) и ботанико-географическом (от неморальных до бореальных и мультizonальных) отношениях. Из числа выявленных видов 9 известно для Калачского ЛР только из Шипова леса (*Tetraphis pellucida* Hedw., *Plagiothecium nemorale* (Mitt.) A. Laegr., *Physcomitrella paten* (Hedw.) Bruch et al.s, **Eurhynchium angustirete* (Broth.) T. Кор., *Dicranella schreberiana* (Hedw.) Hilf. ex H.A. Crum & L.E. Anderson и др.). Особого внимания заслуживает тот факт, что состояние популяций неморальных эпифитов в большинстве случаев удовлетворительное, а число локаций – от 2 до 10 (**Homalia trichomanoides*, **Leucodon sciuroides*, **Neckera pennata* Hedw., **Porella platyphylla*).

Все существующие и проектируемые ООПТ Шипова леса рассматриваются нами под одним номером (№ 42), поскольку во многих случаях границы отдельных объектов установить трудно. Такие ДПП как «Культуры Генко» (10,6 га), «Культуры Вересина» (11,6), «Лесные культуры дуба Г.Г. Юнаша и К.В. Крыжановского» (21,4 га), «Лесокультурное наследие Г.Г. Юнаша» (10,8 га), «Лесные культуры дуба П.Н. Алентьева» (2,3 га), «Географические культуры дуба А.М. Шутяева» (12,1 га), «Питомник» (1,2 га) представляют собой выделы в составе естественных экосистем Шипова леса; являясь ценными дендрологическими объектами, с точки зрения прочих природоохранных позиций они малоинтересны.

Естественные старовозрастные насаждения Шипова леса охраняются лишь в трех ДПП: «Солонцовая поляна» (25 га), «Воронцовское чудо» (89 га), «Золотой куст» (87 га). Примерно 70 % редких мохообразных Шипова леса произрастает на указанных ООПТ. В числе ППП значатся лишь кварталы 55, 58. Красного лесничества и квартал 14 Новенького лесничества. Необходимы комплексные исследования биоты Шипова леса, и безотлагательная организация охраны наиболее ценных участков знаменитого «золотого куста России».

Проектируемые ООПТ

43. «Родник Головище у с. Ливенка». Несколько родников выбиваются в нижней части склона цирковидной балки, один из них обустроен. Выявлено 4 вида мхов, среди них редкий гигрофильный кальцефит *Cratoneuron filicinum* (Hedw.) Spruce (единственное местонахождение в изучаемом районе).

44. «Студеный колодец у с. Александровка Донская». Расположен у подножия крутого правобережного склона долины р. Осередь на границе дубравы и ольшаника. Родников несколько, один из них обустроен. Непосредственно близ родника выявлено 6 гигрофитов, образующих мощные дерновинки (*Brachythecium rutabulum* (Hedw.) Bruch et al., *B. mildeanum* (Schimp.) Schimp., *Plagiomnium cuspidatum* (Hedw.) T.J. Кор. и др.). С учетом прилегающих лесных сообществ, бριοфлора насчитывает около 30 видов, среди них обильны неморальные эпифиты

Anomodontella longifolia, *Anomodon viticulosus*, *Pseudoanomodon attenuatus*. Целесообразно включить в территорию ППП все урочище «Студеный лес».

45. «Белая криница в с. Лосево». Мощные родники, образуя небольшое озеро, далее стекают в р. Таганку. Обустроенный родник находится близ подворий и загрязняется отходами частной фермы. Ранее состояние объекта было вполне удовлетворительным. Бриофлора насчитывает 8 видов, среди них ряд интересных мезогигрофитов *Hygroamblystegium humile*, *Physcomitrium pyriforme*, *Pohlia wahlenbergii* (F. Weber & D. Mohr) A.L. Andrews., *Leptodictyum riparium*, *Drepanocladus aduncus* var. *kneifii* (два последних вида развиваются массово по берегам озера).

46. «Пучинские кучи у с. Едизаветовка». Объект представляет собой выходы мела на крутом правом берегу р. Осередь напротив с. Михайловка, занятые степными кальцефильными группировками; в небольших овражках представлены байрачные дубравы. Степная бриофлора вполне типична, из редких видов здесь отмечены **Homalothecium lutescens*, *Encalypta vulgaris*. Для повышения репрезентативности необходимо расширить границы ППП и включить в него лесные и опушечные сообщества, прилегающие с востока, а также пойменные луга. В целом, видовое разнообразие оценивается в 20–25 видов.

47. «Обнажение Шкурлат-3». Точное местоположение ППП не указано. Нами изучались заброшенные части Павловского гранитного карьера (рис. 11) в его юго-западной части. Техногенные ландшафты представлены здесь небольшими вытянутыми озерами с крупными глыбами гранитов по урезу воды, осыпями гранитной крошки, глинистыми склонами; берега озер постепенно зарастают древесной растительностью (береза бородавчатая, осина, клен ясенелистный). Освоение мхами гранитных глыб как субстрата для поселения только начинается. Процессы водно-ветровой эрозии на таких плотных субстратах занимают значительно дольше времени, чем, например, известняков или песчаников. Облигатные петрофиты уже присутствуют (*Schistidium crassipilum*, *S. apocarpum*, *S. elongatulum* Blom, *Grimmia pulvinata*, *Ortotrichum anomalum*), но в очень малых количествах. Всего выявлено 25 видов.

Примечание. ППП «Гранит у с. Русская Буйловка» – одиночный гранитный валун расположен на левобережье р. Дон, непосредственно по урезу воды, объект часто заливается полыми водами, заиливается, не всегда доступен для наблюдений.

ДПП «Луг Голое колено». Площадь 58 га, один из старейших ООПТ области [7], представляет собой заливной луг в пойме р. Битюг; видовое разнообразие мхов пойменных лугов лесостепных рек в целом невелико – не более десятка видов, причем обычных, широко распространенных; это же замечание, касается ППП «Пойменный луг у с. Заосередские сады». Необходимо уточнение границ луговых ООПТ и их более детальное обследование, поскольку в охраняемом фонде области они представлены совершенно недостаточно.

ППП «Обнажение Антиповка» целесообразно включить в предлагаемые нами ГПЗ «Дубравы и степи правобережья р. Битюг» (№ 3).

ППП «Урочище Быки» в 6 км к востоку от с. Данило, Урочище «Лысый яр» у хут. Данило» а также ППП «Сумская свита хут. Данило» (№ 6, Бутурлиновский р-н) имеет смысл рассматривать как ключевые территории единого рекомендуемого

нами перспективного ГПЗ «Долина р. Данило», включая левый крупный отвершек – балку Сухое Данило. Бриологическая значимость предлагаемого ГПЗ не столь велика (около 15 видов), однако ландшафтная, геологическая, флористическая ценность существенна.



Рис. 11. Павловский ГОК.

ППП «Газин яр у с. Русская Буйловка» и «Царева балка у с. Александровка Донская». Местоположение объектов не уточнено, в связи с чем они пока не обследованы.

ППП «Урочище Раздайбина у с. Каменск», «Каменский». В связи с отсутствием точных указаний местоположений ППП обследовать их также не удалось. Предполагается, что видовой состав мхов сходен с таковым для долин рек Мамоновки и Данило (Павловский, Верхнемамонский р-ны).

ПЕТРОПАВЛОВСКИЙ РАЙОН

Действующие ООПТ

48. «Красноселовка». Площадь 3,7 га. Расположен в 5 км к западу от с. Индычий. Объект охраны: остатки морской флоры и фауны палеогенового возраста. Представляет собой заброшенный карьер в балке, выходящей в долину р. Толучеевки. Карьер окружают галофильные сообщества, имеются тростниковые и торфяные болота. Видовое разнообразие мхов – 10 видов, в основном частых, экологически пластичных, из относительно редких можно назвать лишь *Bryum kunzei*.

49. «Степные склоны по р. Толучеевка». Площадь. 50 га. Ранее ДПП, предложенный к охране автором статьи в 1984 г., назывался «Степи у с. Старая Меловая» и подразумевал меловой останец, образованный при впадении р. Козынка в р. Толучеевку с кустарным карьером на его вершине, где произрастает эндемичный вид копеечник меловой. Новое название затрудняет определение местоположения и выявление ландшафтных особенностей объекта, кроме того,

среди ППП значится объект «Ковыльная балка у с. Старомеловое» с неверным написанием нп. и неясной локализацией. В составе бриофлоры степных сообществ ДПП выявлено 13 видов, среди них редкие кальцефиты, произрастающие на плотных меловых стенках карьера – **Seligeria calcarea*, *Leiocolea badensis* (Gott ex Rabenh.) Joerg. и на меловом рухляке – *Syntricha caninervis*.

Проектируемые ООПТ

50. ГПЗ «Индычий». Включает меловое правобережье р. Толучеевка на всем протяжении Петропавловского р-на, видимо, ассимилируя такие ППП как «Меловая пещера у с. Индычий», «Панов лес», «Обнажение у с. Петропавловка». Видовое богатство мохообразных – около 45 видов. На меловых стенках пещеры массово развиваются кальцефильные петрофиты *Leiocolea badensis*, **Seligeria calcarea*, на влажном мелу близ родника отмечены *Pohlia melanodon* (Brid.) A.J. Shaw, *Dicranella varia* (Hedw.) Schimp., *Hygroamblystegium varium* (Hedw.) Moenk., *Leptobryum pyriforme*; в степных сообществах – *Brachythecium glareosum*, *Pterygoneurum subsessile*, *P. ovatum*, *Trichostomum crispulum*, *Weissia longifolia*. Бриофлора байрачных дубрав малоспецифична и насчитывает около 20 широко распространенных видов.

Примечание. ППП «Долина р. Козынка» расположен на правобережье р. Козынка от трассы Павловск – Калач до впадения в р. Толучеевку, так указано в Перечне проектируемых ООПТ [6], в связи чем, ДПП № 49 территориально в него попадает. Река Козынка пересекает не только Петропавловский р-н, ее исток находится близ с. Медвежье Калачеевского р-на. Имеет смысл, на наш взгляд, всю долину реки сделать охраняемой территорией со статусом ГПЗ, рассмотрев объекты № 28, 30, 49 в качестве ключевых. Общее видовое богатство мохообразных предлагаемого ГПЗ – около 70 видов, редкие виды указаны при характеристике перечисленных объектов.

Природный парк «Река Толучеевка». Предполагается, как это видно из перечня проектируемых ООПТ [2], что охраняемой будет вся долина реки – от истоков в Новохоперском р-не до устья в Петропавловском. В проектируемый ООПТ полностью или частично входят рассмотренные выше объекты № 12, 19, 20, 25, 27, 49, 50. Необходимость организации данного ООПТ как самостоятельного (в ранге природного парка, выполняющего не только природоохранную, но и туристическую функцию) требует более обстоятельного обоснования.

ТАЛОВСКИЙ РАЙОН

Действующие ООПТ

51. ГПЗ «Каменная степь». Площадь 5232 га, расположен к югу от пгт. Таловая. Территория заказника занимает переходную полосу на стыке Южного Битюго-Хоперского района типичной лесостепи и прилегающего к нему с юга Калачского овражно-балочного южно-лесостепного района Среднерусской возвышенности [1]. Помимо практических целей защиты степного земледелия с момента организации В.В. Докучаевым Каменно-Степной Опытной станции (1892–98 гг.) природоохранные задачи также были первостепенными: на степных участках были введены выпасаемый, косимый и заповедный режимы (1912), создан

арборетум (1927). Учрежденный в 2009 г. федеральный ГПЗ «Каменная степь», имеет агроэкологический профиль и создан в целях сохранения и восстановления средозащитных и лесоаграрных ландшафтов, а также редких объектов биоты и среды и их обитания. Самостоятельный статус ООПТ в ранге ПП имеют степные кластеры (62,3 га) и дендропарк (2,5 га). Мероприятия по охране ландшафтов «Каменной степи» осуществляет Воронежский государственный биосферный заповедник. Биоразнообразие всей территории ГПЗ составляет 46 видов. В главном объекте охраны – лесополосах – произрастает 28 видов мхов. В настоящее время сохранились «докучаевские» лесополосы возрастом более 120 лет и шириной около 100 м. По видовому богатству мхов типы полос значительно различаются: в полезащитных лесополосах отмечено лишь 14 широко распространенных и устойчивых видов; в противозрозионных лесополосах, расположенных на склонах балок и прудов, – 28 видов, среди которых немало типично лесных представителей. На залежных степных плакорных черноземных участках отмечено 10 видов, причем среди типично степных мхов присутствуют и гигрофиты *Brachythecium mildeanum* (степные «блюдца»), *Leptodictyum riparium*, *Drepanocladus aduncus* (обводная канава). Поскольку степи представлены злаково-разнотравными сообществами с высокой сомкнутостью травостоя, мхи имеют в целом невысокое проективное покрытие. В дендропарке отмечено 20 видов; набор эпифитных мхов вполне типичен для сухих байрачных дубрав лесостепи; небольшой ручей является местом произрастания некоторых гигрофильных мхов (*Hygroamblystegium humile*, *Leptodictyum riparium*, *Brachythecium mildeanum*, *B. rutabulum*), из числа редких видов на коре клена остролистного выявлены неморальные эпифиты **Leucodon sciuroides*, **Pterigynandrum filiforme* Hedw. (по 2 локации).

52. «Каменная яруга». Площадь 12 га. Расположен в 2 км к юго-востоку от с. Нижняя Каменка, представляет собой старовозрастную дубраву, протянувшуюся узкой полосой вдоль непересыхающего водотока, ботанический интерес имеют склоны юго-западной экспозиции, занятые разнотравно-ковыльными и галофильными сообществами. Спектр местообитаний, пригодных для поселения мохообразных, расширяется за счет обилия мелких известняков по днищу ручья, которые обильно обрастает *Leptodictyum riparium*; на влажной почве между камней отмечен *Fissidens exilis* Hedw., имеющий рассеянное распространение в пределах ареала. Всего выявлено 23 вида мохообразных.

Проектируемые ООПТ

53. Балка «Пограничная». Расположена между нп. Порохово и Сериково. Это типичная степная балка Калачской возвышенности, запруженная в низовьях. Видовой состав мхов небогат – 8 типичных ксерофильных видов открытых местообитаний, из относительно редких – *Weissia brachycarpa*, *Brachythecium glareosum*, *Pterigoneurum ovatum*.

Перспективные ООПТ

54. «Солонцы у хут. Утиновка». На юго-западной окраине поселка расположен типичный солонцовый комплекс из небольших блюдцеобразных западин, в весеннее время заполненных водой. Бриофлора насчитывает 15 видов и является одной из самых богатых для подобных местообитаний. Обильны по кромке

западин и бровкам мелких овражков гигрофиты *Brachythecium mildeanum*, *Bryum pseudotriquetrum* (Hedw.) P. Gaerth., *Leptodictyum riparium*, *Drepanocladus aduncus*, присутствуют и редкие галофиты **Physcomitrium arenicola*, *P. pyriforme*, *Tortula modica*.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Бриофлора Калачского овражно-балочного южнолесостепного ЛР характеризуется высоким уровнем видового разнообразия (146 видов). Лишь 16 % видового состава мохообразных являются частыми, обильными, эвритопными видами; 17 % – имеют спорадическое распространение и низкое или умеренное обилие; более 60 % видов имеет низкую встречаемость и низкое обилие.
2. В составе бриофлоры выявлен ряд редких видов, 19 из которых занесены в региональную Красную книгу и 3 рекомендованы для занесения в следующее издание. Полный охват территориальной охраной всех местонахождения не зафиксирован ни для одного из «краснокнижных» видов; у 12 видов ни одно из известных местонахождений не имеет охранного статуса; у прочих видов – лишь 30-50% местонахождений находятся на ООПТ.
3. На действующих ООПТ Калачского овражно-балочного южнолесостепного ЛР сосредоточено лишь около 70 % от числа выявленных мохообразных. Наибольшую природоохранную ценность в аспекте охраны мохообразных из числа действующих ООПТ имеют ПП «Целинные склоны у с. Липовка», «Степные склоны по р. Толучеевка», «Парк в с. Воронцовка», «Солонцовая поляна», «Воронцовское чудо», «Золотой куст», природный парк «Ломы», ГПЗ «Рассыпной яр» и «Каменная степь».
4. Высоким видовым богатством мохообразных и значительной долей редких видов характеризуются проектируемые ООПТ: ГПЗ «Дубравы и степи на правобережье р. Битюг», «Краснянские степи», «Индычий», «Долина р. Козынка», «Долина р. Пыховка» «Долина р. Данило», «Верховья р. Подгорной», ПП «Байрачные дубравы у пос. Михайловский», «Байрачная дубрава у с. Медвежье», «Зачиха», «Выходы известняков на правобережье р. Савалы близ с. Русаново», «Степные склоны на правобережье р. Добринки» и др.
5. Степень дублированности характерных степных и лесостепных ландшафтов Калачского ЛР в действующей системе ООПТ недостаточна для их надежной охраны. Такие типы урочищ как дубравы с выходами коренных пород, галофитные группировки, ковыльные степи на лессовидных почвах, пойменные сообщества, песчаные степи и старовозрастные искусственные сосняки на надпойменных террасах рек требуют безотлагательной охраны. Корректировка границ существующих ООПТ, организация ряда новых ООПТ на принципах максимального охвата всего спектра ландшафтов обеспечит 100 % территориальной охраны редких видов и значительно повысит уровень репрезентативности системы ООПТ Воронежской области в целом.

Список литературы

1. Физико-географическое районирование Центральных Черноземных областей / Под ред. Ф. Н. Милькова. – Воронеж: Издательство Воронежского университета, 1961. – 262 с.
2. Приказ департамента природных ресурсов и экологии Воронежской области от 18 января 2021 г., №13 «Об утверждении перечня особо охраняемых природных территорий областного и местного значения на территории Воронежской области по состоянию на 01.01.2021».
3. Приказ департамента природных ресурсов и экологии Воронежской области от 4 февраля 2013 г., № 19 (с изменениями на 02.07.2015) «Об утверждении схемы развития и размещения особо охраняемых территорий областного значения Воронежской области».
4. Потемкин А. Д. Печеночники и антоцеротовые России. Т. 1. / А. Д. Потемкин, Е. В. Софронова. – СПб.-Якутск, 2009. – 368 с.
5. Флора мхов России / М.С. Игнатов (отв. ред.). Т. 2. – М., 2017. – 560 с.; Т. 4. – М., 2018. – 543 с.; Т. 5. – М., 2020. – 600 с.; Т. 6. – М., 2022 – 472 с.
6. Красная книга Воронежской области. Растения. Лишайники. Грибы. Т. 1. – Воронеж: Центр духовного возрождения Черноземного края, 2018. – 412 с.
7. Памятники природы Воронежской области. – Воронеж: Центрально-Черноземное книжное издательство, 1970. – 229 с.

**BRYOFLORA OF EXISTING AND PROSPECTIVE PROTECTED AREAS OF
THE KALACH RAVINE-GIRDER SOUTHERN FOREST-STEPPE LANDSCAPE
AREA, VORONEZH REGION (PART 2)**

Popova N. N.

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

The purpose of this study is to assess the representativeness of the network of protected areas of the Kalach ravine-girder southern forest-steppe landscape area (Voronezh region). The studied area is located in the central part of the Voronezh region to the east of the Don River. The landscape and ecological contrast of the area has led to a variety of vegetation cover; there are large arrays of oak forests, calciferous-petrophytic and halophytic steppes, floodplain communities, sandy steppes and pine plantations are represented on sandy terraces and zanders.

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

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

The bryoflora of the Kalach ravine-girder southern forest-steppe LR is characterized by a high level of species diversity (146 species). Only 16 % of the species composition of

mosses are frequent and abundant, eurytopic species; 17 % have sporadic distribution and low or moderate abundance; more than 60 % of species have low occurrence and low abundance. A number of rare species have been identified in the bryoflora, 19 of which are listed in the regional Red Book and 3 are recommended for inclusion in the next edition. Full coverage of territorial protection of all locations has not been recorded for "red book" species; in 12 species none of the known locations has a protected status; in other species, only 30–50 % of the locations are located in protected areas. The nature monuments "Virgin slopes near the village of Lipovka", "Steppe slopes along the Tolucheyevka river", "Park in the village of Vorontsovka", "Solontsovaya Polyana", "Vorontsov miracle", "Golden Kust", natural park "Lomy", nature reserves have the greatest environmental value in terms of protecting mossy from among the existing protected areas "Rassypny Yar", and the "Stone Steppe". The projected protected areas are characterized by a high species richness of mossy and a significant proportion of rare species: GPP "Oak forests and steppes on the right bank of the Bityug river", "Krasniansk steppes", "Indychiy", "Valley of the Kozinka River", "Valley of the Pykhovka River" "Valley of the Danilo River", "Upper reaches of the Podgornaya River", PP "Bayrachny oak forests near the village. Mikhailovsky", "Bayrachnaya oak grove near the village of Medvezhye", "Zachikha", "Limestone outcrops on the right bank of the Savala River near the village of Rusanovo", "Steppe slopes on the right bank of the Dobrinka River", etc. The degree of duplication of the characteristic steppe and forest-steppe landscapes of the Kalachsky LR in the current system of protected areas is insufficient for their reliable protection. Such types of tracts as oak forests with outcrops of bedrock, halophyte groupings, grass steppes on loess-like soils, floodplain communities, sandy steppes and old-age artificial pine forests on floodplain terraces of rivers require urgent protection.

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

References

1. Milkov F. N. (ed.) *Physico-geographical zoning of the Central Chernozem regions*, 262 p. (Voronezh: Voronezh University Press, 1961).
2. Order of the Department of Natural Resources and Ecology of the Voronezh Region dated January 18, 2021, No. 13 "On approval of the list of specially protected natural territories of regional and local significance on the territory of the Voronezh Region as of 01.01.2021".
3. Order of the Department of Natural Resources and Ecology of the Voronezh region Dated February 4, 2013, No. 19 (as amended on 02.07.2015) "On approval of the scheme for the development and placement of specially protected areas of regional significance of the Voronezh Region".
4. Potemkin A.D., Sofronova E.V. *Liverworts and anthocerotates of Russia*, 368 p. (St. Petersburg.-Yakutsk, 2009).
5. *Flora of mosses of Russia* / M. S. Ignatov (ed.). **2.**, 560 p., (Moscow, 2017); **4.**, 543 p., (Moscow, 2018); **5.**, 600 p., (Moscow, 2020); **6.**, 472 p., (Moscow, 2022).
6. *The Red Book of the Voronezh region. Plants. Lichens. Mushrooms*, **1**, 412 p. (Voronezh: Center of spiritual Revival of the Chernozem region, 2018).
7. *Natural monuments of the Voronezh region*, 229 p. (Voronezh: Central Chernozem Book Publishing House, 1970).

УДК 591.175

DOI 10.29039/2413-1725-2025-11-2-186-198

ФУНКЦИОНАЛЬНАЯ ОЦЕНКА МЫШЦ ГОЛЕНИ КРЫСЫ ПРИ НАРУШЕНИИ ДВИГАТЕЛЬНОЙ АКТИВНОСТИ

Сабирова Д. Э.^{1,2}, Еремеев А. А.¹, Балтина Т. В.¹

¹*Казанский (Приволжский) федеральный университет, Казань, Россия*

²*Научно-технологический университет «Сириус», Федеральная территория Сириус, Россия*
E-mail: sabirova.dianka@list.ru

Изучение механизмов влияния двигательной активности на состояние скелетных мышц является актуальным на сегодняшний день. Целью данной работы являлась оценка состояния скелетных мышц у крысы при нарушении двигательной активности. Животные были разделены на группы с денервацией, тенотомией, антиортостатическим вывешиванием и их комбинациями. Оценивались изменения максимальной амплитуды М-ответа в икроножной, камбаловидной и большеберцовой мышцах на 7 и 50 сутки. Денервация вызвала значительное снижение амплитуды М-ответа на 7 сутки, которое не восстановилось к 50 суткам. Тенотомия привела к снижению амплитуды в икроножной и камбаловидной мышцах, но повышению в большеберцовой. Антиортостатическое вывешивание с денервацией усугубило снижение амплитуды, а с тенотомией показало различные изменения в зависимости от мышцы. Результаты указывают на важность нейронального контроля и афферентной иннервации в поддержании функциональных свойств мышц.

Ключевые слова: антиортостатическое вывешивание, денервация, тенотомия, М-ответ, атрофия мышц.

ВВЕДЕНИЕ

Скелетные мышцы – высокодинамичная ткань, реагирующая на различные раздражители, особенно на изменения механической нагрузки [1–3]. При потенциальных внешних раздражителях скелетные мышцы могут подвергаться обширной реконструкции для удовлетворения потребностей в сокращении и энергетическом обмене за счет высокой степени пластичности [4]. Следовательно, более активное использование или неиспользование напрямую влияет на фенотип скелетных мышц, влияя на метаболизм, экспрессию белка и морфологические характеристики [1–3]. У человека, мышечная атрофия часто связана со снижением качества жизни, подвижности в целом и снижением индивидуальной независимости [5, 6].

Одной из моделей, обычно используемых для изучения гиподинамии, является разгрузка задних конечностей, при которой задние конечности отрываются от земли, чтобы снять нормальную гравитационную нагрузку на мышцы [7]. Существует несколько альтернатив этому методу, таких как тенотомия, нейрэктомия, паралич, вызванный ботулином, и одностороннее наложение повязки на конечность [8]. Разгрузка скелетных мышц вызывает атрофию мышц, как это

наблюдается из-за иммобилизации гипсом, длительного постельного режима или воздействия микрогравитации. Это называется «простой атрофией», поскольку это внутренние процессы (например, атрофия, ограниченная пораженной конечностью), а не под действием внешних или системных факторов [9]. При этом существует взаимодействие между атрофией от бездействия и атрофией, связанной с болезнью. Например, многие заболевания, связанные с атрофией, связаны с малоподвижным образом жизни, который, вероятно, усугубляет атрофию, вызванную бездействием [10, 11]. Атрофия от дисфункции снижает функциональность мышц, приводит к инвалидности, нарушению обмена веществ и даже к преждевременной смерти. Поэтому понимание метаболических и механических факторов, способствующих атрофии мышц при дисфункции и стратегий ее смягчения остается интересом многих исследований. Тем не менее, механизмы развития атрофии мышц при дисфункции остаются плохо определенными. Изучение механизмов влияния различных факторов, в том числе влияние нервного контроля, опорной и проприоцептивной афферентации, имеет важное значение для понимания изменений функционального состояния мышц при бездействии. Выяснение ведущего фактора позволит углубить понимание механизмов управления движениями и будет иметь как фундаментальное, так и практическое значение для разработки новых методов и оптимизации существующих подходов к восстановлению морфо-функционального состояния мышечного аппарата после нарушений двигательной активности.

Целью данной работы являлась оценка изменения функционального состояния мышц голени у крысы при различных нарушениях двигательной активности, сочетанной с антиортостатическим вывешиванием.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Объект исследования

Двадцать пять взрослых нелинейных лабораторных половозрелых крыс самцов (массой 180–220 г) были использованы в настоящем исследовании. Все применимые международные, национальные и/или институциональные принципы ухода и использования животных были соблюдены. Все процедуры, выполненные с участием животных, соответствовали этическим стандартам, утвержденным правовыми актами РФ, принципам Базельской декларации и одобрены Локальным этическим комитетом Казанского федерального университета протокол № 30 от 28. 06. 2021 г.

Все процедуры проводили под комбинированным внутримышечным наркозом с использованием золетила («Zoletil 50» «Virbac», Франция), 0,5 мг/кг и ксилавета инъекционного (XylaVET, «Pharmamagist Ltd», Венгрия) 0,05 мл/кг – 0,5 мл/кг. Эвтаназия животных осуществлялась путем декапитации на гильотине.

В качестве модели гравитационной разгрузки задних конечностей использовали метод антиортостатического вывешивания (АОВ) по Е. R. Morey-Holton в модификации Е. А. Ильина и В. Е. Новикова [12, 13]. Перед АОВ животное усыплялось. Хвост обрабатывали антисептическим средством, обматывали

гипоаллергенным дышащим пластырем примерно на две трети, чтобы защитить кожу и избежать повреждений хвоста. На пластырь крепили клейкую упругую полосу и устанавливали дополнительные бандажи лейкопластыря, чтобы сформировать ручку, за которую животное подвешивается таким образом, чтобы задние конечности не касались поверхности (рис. 1). Угол наклона к поверхности пола 30° . Животное помещали в специальную клетку размером 25х25х30 см с открытой верхней частью. Хвост фиксировали на специальном штыре с кольцом для свободного перемещения животного в клетке. Передняя стенка клетки была сделана из оргстекла и позволяла осуществлять постоянное наблюдение за животным.



Рис. 1. Антиортостатическое вывешивание задних конечностей у крысы, схематическое изображение.

Тенотомию мышц задней левой конечности у крыс проводили путем иссечения Ахиллова сухожилия. Ахиллово сухожилие было аккуратно отрезано от дистальной части, прикрепленной к пяточной кости, к проксимальной части на 3 мм длиной без повреждения нерва и кровоснабжения [14].

Денервацию проводили путем пережатия седалищного нерва по методике С. De Angelis (1994). Для этого у животных в асептических условиях на отпрепарированный седалищный нерв накладывали зажим типа «москит» на 40 секунд (в результате, часть нервных волокон может сохранить свои свойства и обеспечить проведение возбуждения); протяженность раздавленного участка – 2 мм; место пережатия – на 1.5–2 см выше коленного сустава; затем рана послойно зашивалась [15].

Экспериментальные группы

Животные были случайным образом разделены на группы: группа денервации («Д», n=5) – животные с денервацией седалищного нерва; группа тенотомии («Т», n=7) – животные перенесли операцию тенотомии; группа антиортостатического вывешивания с денервацией («АОВ+Д», n=5) – животные, у которых провели денервацию в сочетании с антиортостатическим вывешиванием задних конечностей; группа антиортостатического вывешивания с тенотомией («АОВ+Т», n=8) – животные, у которых провели тенотомию в сочетании с антиортостатическим вывешиванием задних конечностей. Контролем служили значение параметров до оперативного вмешательства.

Регистрация М-ответа при стимуляции седалищного нерва

Для раздражения и регистрации мышечных ответов использовали исследовательскую установку DataWave technologies на базе 8 канального стимулятора и 16 канального усилителя «А-М systems» (США).

С использованием игольчатых электродов регистрировали ответы мышц голени крысы (икроножной, камбаловидной, большеберцовой), вызванные стимуляцией седалищного нерва одиночными прямоугольными импульсами длительностью 0.5 мс с частотой 0.5 имп/мин. Интенсивность стимула варьировала от 0.1 до 10 В.

Для исследования состояния периферической части нервно-мышечного аппарата оценивали моторный (М) ответ, являющийся электрическим потенциалом мышцы, возникающим при раздражении эфферентов. Регистрировали М-ответ исследуемых мышц голени крыс до хирургического вмешательства, на 7 и 50 сутки. Определяли максимальную амплитуду М-ответа. Контролем служили результаты до оперативного вмешательства и были приняты за 100 %.

Изменение максимальной амплитуды М-ответа (Amax) рассчитывалось следующим образом:

$$A_{max} = (x_2 * 100\%) / x_1,$$

где x_1 – максимальная амплитуда М-ответа до эксперимента, x_2 – максимальная амплитуда М-ответа после эксперимента.

Статистическую обработку проводили при помощи непараметрического статистического критерия Уилкоксона с использованием пакета прикладных программ Origin Pro software (OriginLab Corp, США). Для сравнения независимых групп между собой использовался непараметрический критерий Манна-Уитни. Данные представлены в виде среднего и стандартного отклонения ($M \pm SD$), медианы и квартилей (Q1, Me, Q3). Уровень статистической значимости принимали при $p < 0.05$.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Максимальная амплитуда М-ответа в группе с денервацией после 7 суток снижалась до $7 \pm 3\%$ ($p < 0.05$) от контроля во всех мышцах. К 50 суткам относительно 7 суток, не наблюдалось значительных изменений (рис. 2).

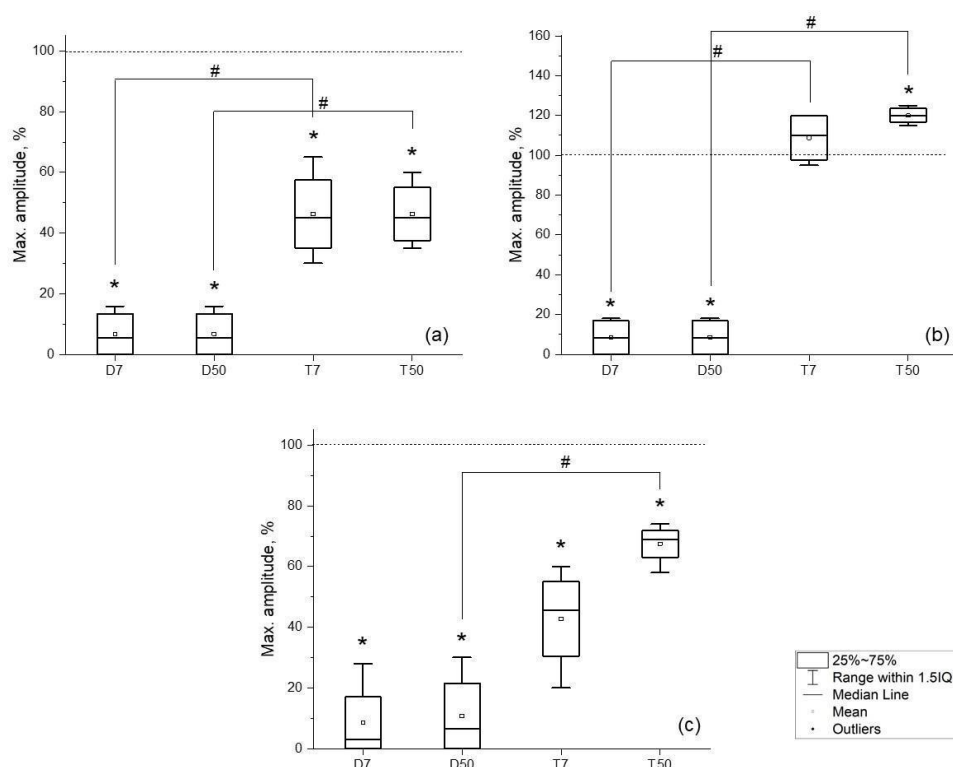


Рис. 2. Изменение максимальной амплитуды М-ответа икроножной мышцы (а), камбаловидной мышцы (б), большеберцовой мышцы (с) крыс в группах D7 (денервация 7 суток), D50 (денервация 50 суток), T7 (тенотомия 7 суток), T50 (тенотомия 50 суток). Серая линия – максимальная амплитуда до оперативного вмешательства; # достоверность между группами – $p < 0.05$. * достоверность относительно контроля – $p < 0.05$.

При тенотомии максимальная амплитуда М-ответа икроножной и камбаловидной мышц к 7 суткам падала до $46 \pm 20\%$ ($p < 0.05$) и $43 \pm 15\%$ ($p < 0.05$) соответственно. В большеберцовой мышце амплитуда М-ответа возрастала и составила $108 \pm 10\%$ ($p < 0.05$) от контроля.

На 50 день эксперимента в икроножной мышце изменений относительно 7 суток не наблюдалось, однако в камбаловидной мышце максимальная амплитуда М-ответа восстановилась до $68 \pm 10\%$ ($p < 0.05$) от контроля, в ББМ увеличилась до $120 \pm 4\%$ ($p < 0.05$) от контрольных значений. Таким образом при денервации наблюдали снижение амплитуды М-ответа во всех исследуемых мышцах. При тенотомии максимальная амплитуда М-ответа икроножной и камбаловидной мышц к 7 суткам падала. На 50 сутки в камбаловидной мышце максимальная амплитуда М-ответ увеличилась относительно 7 суток. В большеберцовой мышце при

тенотомии наблюдали увеличение амплитуды М-ответа на 7 и 50 суток по сравнению с контрольными значениями.

В группе АОВ сочетанного с денервацией к 7 суткам в икроножной мышце максимальная амплитуда М-ответа падала до $15 \pm 3 \%$ ($p < 0.05$) от контроля, в камбаловидной мышце до $18 \pm 7 \%$ ($p < 0.05$), в большеберцовой мышце до $24 \pm 8 \%$ ($p < 0.05$) от контрольных значений (рис. 3).

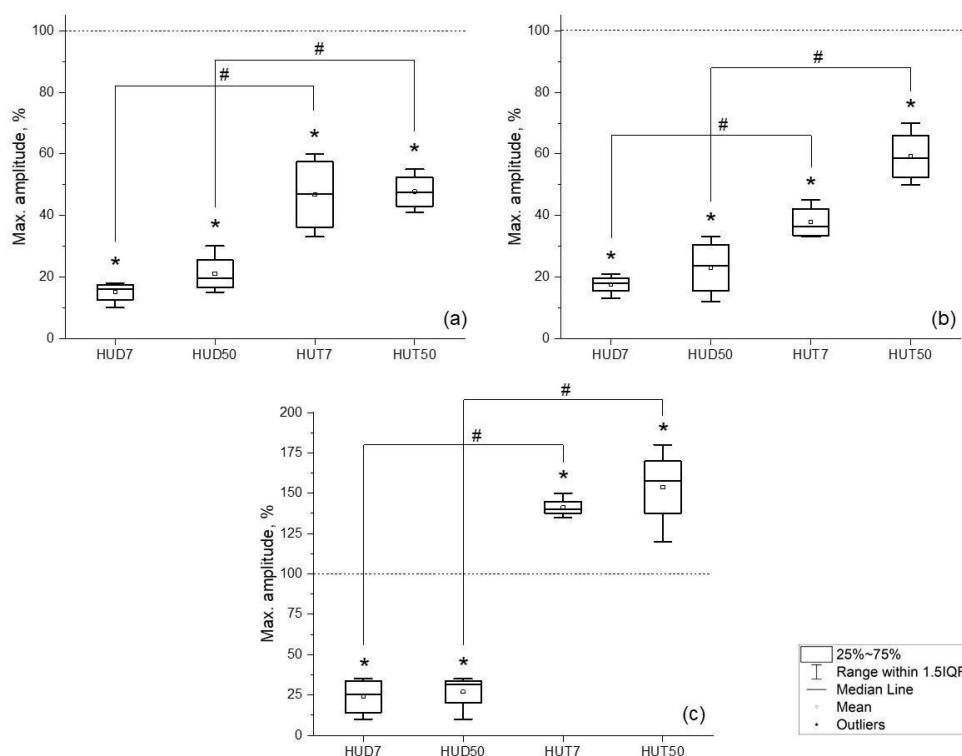


Рис. 3. Изменение максимальной амплитуды М-ответа икроножной мышцы (а), камбаловидной мышцы (б), большеберцовой мышцы (с) крыс в группах HUD7 (антиортостатическое вывешивание с денервацией 7 суток), HUD50 (антиортостатическое вывешивание с денервацией 50 суток), HUT7 (антиортостатическое вывешивание с тенотомией 7 суток), HUT50 (антиортостатическое вывешивание с тенотомией 50 суток). Серая линия – максимальная амплитуда до оперативного вмешательства; # достоверность между группами – $p < 0.05$. * достоверность относительно контроля – $p < 0.05$.

К 50 суткам амплитуда М-ответа восстанавливалась, так в икроножной мышце она составила $21 \pm 7 \%$ ($p < 0.05$) от контроля, в камбаловидной мышце – $23 \pm 10 \%$ ($p < 0.05$), в большеберцовой мышце $27 \pm 6 \%$ ($p < 0.05$) от контрольных значений.

При АОВ с тенотомией на 7 суток максимальная амплитуда М-ответа падала в икроножной мышце до $47 \pm 6 \%$ ($p < 0.05$) от контроля, в камбаловидной мышце до

38±5 % ($p<0.05$). В большеберцовой мышце к 7 суткам амплитуда возрастала до 141±8 % ($p<0.05$) от контрольных значений.

На 50 сутки в икроножной мышце максимальная амплитуда М-ответа не изменялась относительно 7 суток, однако наблюдалось восстановление амплитуды М-ответа в камбаловидной мышце до 59±10 % ($p<0.05$) от контроля. В большеберцовой мышце к 50 суткам амплитуда М-ответа увеличилась до 153±20 % ($p<0.05$) от контрольных значений.

Таким образом в группе АОВ, сочетанной с денервацией наблюдали падение максимальной амплитуды М-ответа к 7 суткам во всех мышцах, на 50 сутки амплитуда М-ответа возрастала на 5–8 %. При АОВ, сочетанной с тенотомией в икроножной и камбаловидной мышце амплитуда снижалась к 7 суткам, однако на 50 сутки в камбаловидной мышце наблюдали увеличение амплитуды относительно 7 суток. В большеберцовой мышце применение АОВ с тенотомией привела к увеличению максимальной амплитуды М-ответа на 7 и 50 сутки относительно контрольных значений.

Также было проведено сравнение всех групп с наличием и отсутствием АОВ между собой на 50-й день эксперимента (рис. 4).

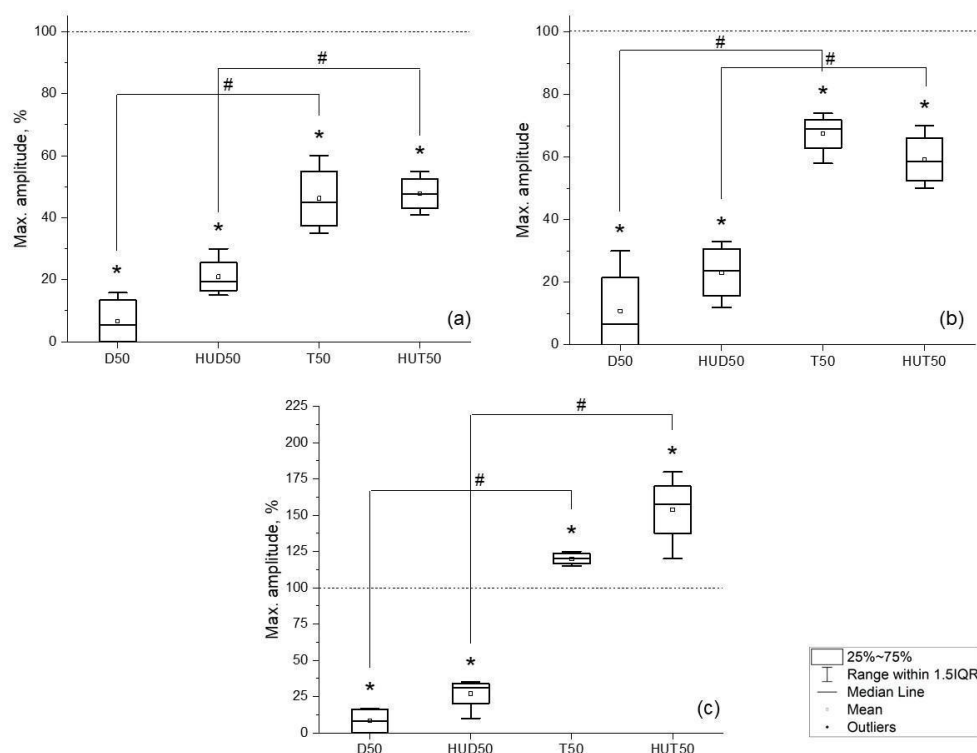


Рис. 4. Изменение максимальной амплитуды М-ответа икроножной мышцы (а), камбаловидной мышцы (б), большеберцовой мышцы (с) у крыс в группах D50 (денервация 50 суток); HUD50 (антиортостатическое вывешивание с денервацией 50

суток); T50 (тенотомия 50 суток); HUT50 (антиортостатическое вывешивание с тенотомией 50 суток). Серая линия – максимальная амплитуда до оперативного вмешательства; # достоверность между группами – $p < 0.05$.* достоверность относительно контроля - $p < 0.05$.

На рисунке видно, в мышцах голени задних конечностей крысы на 50 сутки при денервации происходило уменьшение максимальной амплитуды. Однако при применении АОВ сочетанной с денервацией во всех мышцах наблюдали увеличение амплитуды на 13–18 % относительно группы без влияния АОВ.

В икроножной и камбаловидной мышце при тенотомии на 50 сутки наблюдали падение максимальной амплитуды относительно контрольных значений, влияние АОВ в данном случае не привел к значительному изменению амплитуды М-ответа. В большеберцовой мышце, напротив, при АОВ сочетанном с тенотомией максимальная амплитуда увеличилась на 33 % по сравнению с группой без влияния АОВ.

Таким образом при денервации, при полном обездвиживании, во всех мышцах максимальная амплитуда М-ответа падала, и не восстанавливалась к 50 суткам. Однако устранение опорной афферентации оказывает в этих условиях положительное влияние.

При тенотомии и тенотомии сочетанной с АОВ, мы наблюдали падение амплитуды ответа задних групп мышц голени и увеличение амплитуды М-ответа передней большеберцовой мышцы, более выраженное при сочетанном влиянии, то есть именно при тенотомии мы отмечали негативное влияние АОВ.

Тенотомия, перерезка ахиллова сухожилия, а также применение денервации, пережатие седалищного нерва, одни из распространенных методов изучения роли нервно-мышечной активности в регуляции функциональных свойств поперечно-полосатых мышечных волокон различного функционального профиля. При тенотомии мышечное бездействие наблюдается на фоне потери афферентной (проприоцептивной), но сохраненной эфферентной иннервации [16], в то время, как при денервации наблюдается полная деафферентация, что также выражается в бездействии мышечной ткани.

При денервации наблюдается резкое снижение амплитуды М-ответа во всех мышцах, что подтверждает влияние нервной иннервации на функциональную активность мышц. Полное отсутствие функционального контроля со стороны нервной системы приводит к значительной атрофии и снижению мышечной активности [17]. Постепенное восстановление (или его отсутствие) амплитуды М-ответа на 50 сутки указывает на невозможность компенсации утраченного нейронного контроля и неэффективность адаптивных механизмов.

Тенотомия приводит к устранению обратной связи между мышцами и нервной системой, что негативно сказывается на эффективности М-ответа в икроножной и камбаловидной мышцах [18]. Снижение (в камбаловидной до 38 ± 5 % на 50 сутках) демонстрирует, что отсутствие обратной связи может препятствовать адекватной регуляции мышечной активности. Однако в большеберцовой мышце наблюдается преимущественное увеличение амплитуды М-ответа с течением времени. Это может быть следствием того, что эта мышца испытывает меньший негативный

эффект от недостатка обратной связи, возможно, из-за своей функциональной роли и возможности адаптации к измененным условиям. Большеберцовая мышца, вероятно, использует внутренние механизмы для компенсации утраты контроля со стороны нервной системы и отсутствия гравитации [19]. Это может включать увеличение активации за счет изменения двигательных паттернов или нейропластичности, позволяя ей активно участвовать в поддержании стабильности и баланса при отсутствии задних мышц на фоне нарушенной обратной связи.

Ряд наблюдений свидетельствует о том, что устранение опорной афферентации является основным механизмом, приводящим к «отключению» электрической активности двигательных единиц постуральной мышцы в условиях гравитационной разгрузки [20]. Наше исследование показало, что устранение гравитации в сочетании с денервацией резко снижает амплитуду М-ответа, что позволяет предположить, что гравитационные стимулы необходимы для поддержания мышечного тонуса. Это особенно заметно в икроножной и камбаловидной мышцах, что указывает на зависимость их активности от внешней нагрузки. Противоречивые результаты по большеберцовой мышце, где наблюдается увеличение амплитуды М-ответа, подчеркивают уникальную адаптацию этой мышцы к измененным условиям, что может свидетельствовать о её особенностях в работе с другими типами нагрузок или активации в условиях отсутствия гравитации. Анализ показывает важность взаимодействия между антагонистами, где ослабление одной группы мышц может привести к компенсаторным изменениям в другой [21]. В то же время, при АОВ с тенотомией, большеберцовая мышца демонстрирует обратное поведение, что может свидетельствовать о более сильной роли гравитационных нагрузок в обеспечении её активности. Это уменьшение напряжения на задние группы мышц указывает на то, что отсутствие гравитационного воздействия в сочетании с тенотомией может ослаблять активность контрольной обратной связи.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Результаты подчеркивают важность как нервного контроля, так и обратной связи в поддержании мышечной активности. Устранение гравитационных факторов и нервного контроля (через денервацию и тенотомию) приводит к значительному снижению функций мышц. Продемонстрировано, что потеря обратной связи может иметь разные последствия в зависимости от функциональной специфики мышцы. В условиях, когда отсутствует как гравитация, так и нервная иннервация, нормальное функционирование мышечной ткани становится невозможным. Наши результаты позволяют предположить, что изменение свойств мышцы при мышечном бездействии обусловлено не только нарушением опорной афферентации, но и изменениями, в том числе, нейронального контроля.

Исследование взаимодействий между различными группами мышц, их функциональной зависимостью и адаптацией в условиях утраты гравитации и нервного контроля углубляет понимание мышечной физиологии и паттернов нервной иннервации. Это имеет значение для дальнейшей разработки теорий о работе мышечной системы.

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

Список литературы

1. Kalyani R. R. Age-related and disease-related muscle loss: the effect of diabetes, obesity, and other diseases / R. R. Kalyani, M. Corriere, L. Ferrucci // *Lancet Diabetes Endocrinol.* – 2014. – V. 2. – P. 819–829. doi:10.1016/S2213-8587(14)70034-8.
2. Atherton P. J. Control of skeletal muscle atrophy in response to disuse: clinical/preclinical contentions and fallacies of evidence / P. J. Atherton, P. L. Greenhaff, S. M. Phillips, S. C. Bodine, C. M. Adams, C. H. Lang // *Am J Physiol Endocrinol Metab.* – 2016. – V. 311. – P. 594–604. doi:10.1152/ajpendo.00257.2016.
3. Oikawa S. Y. The impact of step reduction on muscle health in aging: protein and exercise as countermeasures / S. Y. Oikawa, T. M. Holloway, S. M. Phillips // *Front Nutr.* – 2019. – 6. – 75. doi:10.3389/fnut.2019.00075.
4. Pette D. Myosin isoforms, muscle fiber types, and transitions / D. Pette, R. S. Staron // *Microsc. Res. Tech.* – 2015. – V. 50. – P. 500–509.
5. Nunes E. A. Disuse-induced skeletal muscle atrophy in disease and nondisease states in humans: mechanisms, prevention, and recovery strategies / Nunes E. A., Stokes T., McKendry J., Currier B. S., Phillips S. M. // *American journal of physiology. Cell physiology.* – 2022. – V. 322, №6. – P. 1068–1084. <https://doi.org/10.1152/ajpcell.00425.2021>
6. Deane C. S. Skeletal muscle immobilisation-induced atrophy: mechanistic insights from human studies / C. S. Deane, M. Piasecki, P. J. Atherton // *Clinical science (London, England : 1979).* – 2024. – V. 138, № 12. – P. 741–756. <https://doi.org/10.1042/CS20231198>
7. Criswell D. S. Overexpression of IGF-I in skeletal muscle of transgenic mice does not prevent unloading-induced atrophy / D. S. Criswell, F. W. Booth, F. DeMayo, R. J. Schwartz, S. E. Gordon, M. L. Fiorotto // *Am J Physiol Endocrinol Metab.* – 1998. – V. 275. – P. 373–379.
8. Komori T. Animal models for osteoporosis / T. Komori // *Eur. J. Pharmacol.* – 2015. – V. 759. – P. 287–294. doi:10.1016/j.ejphar.2015.03.028
9. Atherton P. J. Control of skeletal muscle atrophy in response to disuse: clinical/preclinical contentions and fallacies of evidence / P. J. Atherton, P. L. Greenhaff, S. M. Phillips, S. C. Bodine, C. M. Adams, C. H. Lang // *American journal of physiology. Endocrinology and metabolism* – 2016. – V. 311, № 3. – P. 594–604. <https://doi.org/10.1152/ajpendo.00257.2016>
10. Bass J. J. Atrophy Resistant vs. Atrophy Susceptible Skeletal Muscles: "aRaS" as a Novel Experimental Paradigm to Study the Mechanisms of Human Disuse Atrophy / J. J. Bass, E. J. O. Hardy, T. B. Inns, D. J. Wilkinson, M. Piasecki, R. H. Morris, A. Spicer, C. Sale, K. Smith, P. J. Atherton, B. E. Phillips // *Frontiers in physiology.* – 2021. – V. 12. – P. 653060. <https://doi.org/10.3389/fphys.2021.653060>;
11. Powers S. K. Oxidative stress and disuse muscle atrophy: cause or consequence? / S. K. Powers, A. J. Smuder, A. R. Judge // *Current opinion in clinical nutrition and metabolic care.* – 2012. – V. 15, № 3. – P. 240–245. <https://doi.org/10.1097/MCO.0b013e328352b4c2>
12. Morey-Holton E. R. Spaceflight and bone turnover: correlation with a new rat model of weightlessness / E. R. Morey // *BioScience.* – 1979. – V. 29. – P. 168–172. doi:10.2307/1307797
13. Ильин Е. А. Стенд для моделирования физиологических эффектов невесомости в лабораторных экспериментах с крысами / Ильин Е. А., Новиков В. Е. // *Косм. биол. и авиакосм. мед.* – 1980. – Т. 14, № 3. – С. 79–80.
14. Baltina T. V. The state of the contralateral neuromotor apparatus of the rat in conditions of unilateral tenotomy / T. V. Baltina, A. A. Ereemeev, I. N. Pleshchinskii // *Neuroscience and Behavioral Physiology.* – 2006. – Vol. 36, No. 4. – P. 385–389. – DOI 10.1007/s11055-006-0029-5
15. De Angelis C. Acetyl-L-carnitine prevents agedependent structural alterations in rat peripheral nerves and promotes regeneration following sciatic nerve injury in young and senescent rats / C. De Angelis, C. Scarfo, M. Falcinelli, E. Perna, E. Reda, M. T. Ramacci, L. Angelucci // *Exp. Neurol.* – 1994. – Vol. 128. – P. 103–114.

16. Арутюнян Р. С. Влияние хронической тенотомии на посттетанические ответы быстрых и медленных мышц крысы / Р. С. Арутюнян, Е. П. Жабко // Рос. физиол. журн. – 2011. – Т. 97, № 8. – С. 781–794.
17. Chu X. L. Basic mechanisms of peripheral nerve injury and treatment via electrical stimulation / X. L. Chu, X. Z. Song, Q. Li, Y. R. Li, F. He, X. S. Gu, D. Ming // Neural Regen Res. – 2022. – V. 17, № 10. – P. 2185–2193. doi: 10.4103/1673-5374.335823. PMID: 35259827; PMCID: PMC9083151.
18. Jamall A. A. Skeletal muscle response to tenotomy / A. A. Jamall, P. Afshar, R. A. Abrams, R. L. Lieber // Muscle & Nerve. – 2000. – Vol. 23(6). – P. 851–862.
19. Juneja P. Anatomy, Bony Pelvis and Lower Limb: Tibialis Anterior Muscles / Juneja P., Hubbard J. B. – In StatPearls. StatPearls Publishing, 2023.
20. Григорьев А. И. Роль опорной афферентации в организации тонической мышечной системы / А. И. Григорьев, И. Б. Козловская, Б. С. Шенкман // Российский физиологический журнал им. И. М. Сеченова. – 2004. – Т. 90, № 5. – С. 507–521.
21. Gorkovenko A. V. Muscle agonist-antagonist interactions in an experimental joint model / A. V. Gorkovenko, S. Sawczyn, N. V. Bulgakova, J. Jaszur-Nowicki, V. S. Mishchenko, A. I. Kostyukov // Exp Brain Res. – 2012. – V. 222, № 4. – P. 399–414. doi: 10.1007/s00221-012-3227-0. Epub 2012 Aug 29. PMID: 22926155; PMCID: PMC3460176.

FUNCTIONAL ASSESSMENT OF CALF MUSCLES IN RATS WITH IMPAIRED MOTOR ACTIVITY

Sabirova D. E.^{1,2}, Ereemeev A. A.¹, Baltina T. V.¹

¹*Kazan (Volga Region) Federal University, Kazan, Russia*

²*Sirius University of Science and Technology, Sirius Federal Territory, Russia*

E-mail: sabirova.dianka@list.ru

Skeletal muscles are highly dynamic tissues that respond to various stimuli, especially changes in mechanical load. Therefore, active use or disuse directly affects the skeletal muscle phenotype, influencing metabolism, protein expression, and morphological characteristics. In this regard, it is relevant to study the mechanism of the influence of motor activity on the state of skeletal muscles. The aim of this work was to assess the state of skeletal muscles in rats with impaired motor activity.

The study was conducted on twenty-five adult nonlinear laboratory mature rats (weight 180–220 g) in compliance with bioethical standards. Animals were divided into groups with denervation ("D", n = 5), tenotomy ("T", n = 7) and their combinations with hindlimb unloading (HUD, n=5; HUT, n=8). The values of the parameters before surgery served as a control. To study the state of the peripheral part of the neuromuscular apparatus, the maximum amplitude of the motor (M) response of the gastrocnemius, soleus, and tibialis muscles of the hind limbs of a rat was assessed before surgery, on days 7 and 50.

Denervation caused a significant decrease in the maximum amplitude of the M-response in all muscles on day 7 (to 7 ± 3 % of the control), which was not restored by day 50. Tenotomy decreased the amplitude in the gastrocnemius and soleus muscles to 46 ± 20 % and 43 ± 15 %, respectively, but increased it in the tibialis muscle (108 ± 10 % of the control). By day 50, the amplitude in the soleus muscle recovered to 68 ± 10 %, and in

the tibialis muscle to 120 ± 4 %. In the HU with denervation group, a decrease in the M-response level was observed in the gastrocnemius, soleus, and tibialis muscles by day 7 (to 15 ± 3 %, 18 ± 7 %, and 24 ± 8 %, respectively), with insignificant recovery by day 50. With HU with tenotomy, the amplitude in the gastrocnemius and soleus muscles decreased to 47 ± 6 % and 38 ± 5 %, while in the tibialis muscle it increased to 141 ± 8 %. By day 50, the amplitude in the soleus muscle was restored to 59 ± 10 %. In the tibialis muscle, there is a significant increase in amplitude by day 50 (153 ± 20 %).

The results showed that on the 7th day of HU combined with denervation, there was also a deterioration in the condition of the peripheral part of the neuromuscular apparatus in the rat. Tenotomy, transection of the Achilles tendon, as well as the use of denervation, transection of the sciatic nerve, are some of the common methods for studying the role of neuromuscular activity in regulating the functional properties of striated muscle fibers of various functional profiles. During tenotomy, muscle inactivity is observed against the background of loss of afferent (proprioceptive), but preserved efferent innervation, while during denervation, complete deafferentation is observed, which is also expressed in muscle tissue inactivity. A number of observations indicate that the elimination of support afferentation is the main mechanism leading to the "switching off" of the electrical activity of the motor units of the postural muscle under conditions of hindlimb unloading. In our study, changes in the parameters of the M-response of the soleus muscle demonstrated that with a combination of the elimination of support afferentation and proprioceptive afferentation, as well as complete deafferentation, the negative impact of hindlimb unloading is aggravated. Based on the above observations, it can be assumed that the change in muscle properties during hindlimb unloading is caused, among other things, by changes in the neuronal control of the activity of motor units.

Keywords: hindlimb unloading, denervation, tenotomy, M-response, muscle atrophy.

References

1. Kalyani R. R., Corriere M., Ferrucci L. Age-related and disease-related muscle loss: the effect of diabetes, obesity, and other diseases. *The lancet. Diabetes & endocrinology*, **2(10)**, 819 (2014). doi:10.1016/S2213-8587(14)70034-8
2. Atherton P. J., Greenhaff P. L., Phillips S. M., Bodine S. C., Adams C. M., Lang C. H. Control of skeletal muscle atrophy in response to disuse: clinical/preclinical contentions and fallacies of evidence. *American journal of physiology. Endocrinology and metabolism*, **311(3)**, E594 (2016). <https://doi.org/10.1152/ajpendo.00257.2016>
3. Oikawa S. Y., Holloway T. M., Phillips S. M. The Impact of Step Reduction on Muscle Health in Aging: Protein and Exercise as Countermeasures. *Frontiers in nutrition*, **6**, 75 (2019). <https://doi.org/10.3389/fnut.2019.00075>.
4. Pette D., Staron R. S. Myosin isoforms, muscle fiber types, and transitions. *Microscopy research and technique*, **50(6)**, 500 (2000). [https://doi.org/10.1002/1097-0029\(20000915\)50:6<500::AID-JEMT7>3.0.CO;2-7](https://doi.org/10.1002/1097-0029(20000915)50:6<500::AID-JEMT7>3.0.CO;2-7)
5. Nunes E. A., Stokes T., McKendry J., Currier B. S., Phillips S. M. Disuse-induced skeletal muscle atrophy in disease and nondisease states in humans: mechanisms, prevention, and recovery strategies. *American journal of physiology. Cell physiology*, **322(6)**, 1068 (2022). <https://doi.org/10.1152/ajpcell.00425.2021>
6. Deane C. S., Piasecki M., Atherton P. J. Skeletal muscle immobilisation-induced atrophy: mechanistic insights from human studies. *Clinical science (London, England : 1979)*, **138(12)**, 741 (2024). <https://doi.org/10.1042/CS20231198>

7. Criswell D. S., Booth F. W., DeMayo F., Schwartz R. J., Gordon S. E., Fiorotto M. L. Overexpression of IGF-I in skeletal muscle of transgenic mice does not prevent unloading-induced atrophy. *The American journal of physiology*, **275**, E373 (1998). <https://doi.org/10.1152/ajpendo.1998.275.3.e373>
8. Komori T. Animal models for osteoporosis. *European journal of pharmacology*, **759**, 287 (2015). <https://doi.org/10.1016/j.ejphar.2015.03.028>
9. Atherton P. J., Greenhaff P. L., Phillips S. M., Bodine S. C., Adams C. M., Lang C. H. Control of skeletal muscle atrophy in response to disuse: clinical/preclinical contentions and fallacies of evidence. *American journal of physiology. Endocrinology and metabolism*, **311**(3), E594 (2016). <https://doi.org/10.1152/ajpendo.00257.2016>
10. Bass J. J., Hardy E. J. O., Inns T. B., Wilkinson D. J., Piasecki M., Morris R. H., Spicer A., Sale C., Smith K., Atherton P. J., Phillips B. E. Atrophy Resistant vs. Atrophy Susceptible Skeletal Muscles: "aRaS" as a Novel Experimental Paradigm to Study the Mechanisms of Human Disuse Atrophy. *Frontiers in physiology*, **12**, 653060 (2021). <https://doi.org/10.3389/fphys.2021.653060>;
11. Powers S. K., Smuder A. J., Judge A. R. Oxidative stress and disuse muscle atrophy: cause or consequence?. *Current opinion in clinical nutrition and metabolic care*, **15**(3), 240 (2012). <https://doi.org/10.1097/MCO.0b013e328352b4c2>
12. Morey, E. R. Spaceflight and Bone Turnover: Correlation with a New Rat Model of Weightlessness. *BioScience*, **29**(3), 168 (1979). doi:10.2307/1307797
13. Ilin E. A., Novikov V. E. Stand dlia modelirovaniia fiziologicheskikh éffektov nevesomosti v laboratornykh éksperimentakh s krysmi [Stand for modelling the physiological effects of weightlessness in laboratory experiments with rats]. *Kosmicheskaja biologii i aviakosmicheskaja meditsina*, **14**(3), 79 (1980).
14. Baltina T. V., Eremeev A. A., Pleshchinskii I. N. The state of the contralateral neuromotor apparatus of the rat in conditions of unilateral tenotomy. *Neuroscience and behavioral physiology*, **36**(4), 385 (2006). <https://doi.org/10.1007/s11055-006-0029-5>
15. De Angelis C., Scarfò C., Falcinelli M., Perna E., Reda E., Ramacci M. T., Angelucci L. Acetyl-L-carnitine prevents age-dependent structural alterations in rat peripheral nerves and promotes regeneration following sciatic nerve injury in young and senescent rats. *Experimental neurology*, **128**(1), 103 (1994). <https://doi.org/10.1006/exnr.1994.1117>
16. Arutiunian R. S., Zhabko E. P. *Rossiiskii fiziologicheskii zhurnal imeni I.M. Sechenova*, **97**(8), 781 (2011).(in Russ.)
17. Chu X. L., Song X. Z., Li Q., Li Y. R., He F., Gu X. S., Ming D. Basic mechanisms of peripheral nerve injury and treatment via electrical stimulation. *Neural regeneration research*, **17**(10), 2185 (2022). <https://doi.org/10.4103/1673-5374.335823>
18. Jamali A. A., Afshar P., Abrams R. A., Lieber R. L. Skeletal muscle response to tenotomy. *Muscle & nerve*, **23**(6), 851 (2000). [https://doi.org/10.1002/\(sici\)1097-4598\(200006\)23:6<851::aid-mus3>3.0.co;2-a](https://doi.org/10.1002/(sici)1097-4598(200006)23:6<851::aid-mus3>3.0.co;2-a)
19. Juneja P., Hubbard J. B. Anatomy, Bony Pelvis and Lower Limb: Tibialis Anterior Muscles. [Updated 2023 Aug 28]. In: *StatPearls* [Internet]. Treasure Island (FL): StatPearls Publishing; 2024 Jan-. Available.
20. Grigor'ev A. I., Kozlovskaja I. B., Shenkman B. S. Rol' opornoj afferentatsii v organizatsii tonicheskoj myshechnoj sistemy [The role of support afferents in organisation of the tonic muscle system]. *Rossiiskii fiziologicheskii zhurnal imeni I.M. Sechenova*, **90**(5), 508 (2004).(in Russ.)
21. Gorkovenko A. V., Sawczyn S., Bulgakova N. V., Jaszur-Nowicki J., Mishchenko V. S., Kostyukov A. I. Muscle agonist-antagonist interactions in an experimental joint model. *Experimental brain research*, **222**(4), 399 (2012). <https://doi.org/10.1007/s00221-012-3227-0>

УДК 159.95

DOI 10.29039/2413-1725-2025-11-2-199-203

ОСОБЕННОСТИ КОГНИТИВНОГО СТАТУСА У КУРЯЩИХ И НЕКУРЯЩИХ СТУДЕНТОВ-МЕДИКОВ

*Симонова Н. В., Смирнова Г. О., Алёшина Т. Е., Алиева В. П., Керимова Ю. Д.,
Максименко Е. Е., Миркаримов В.*

*ФГБОУ ВО «Калужский государственный университет им. К. Э. Циолковского», Калуга, Россия
E-mail: simonova.agma@yandex.ru*

С использованием методик «10 слов» и «таблицы Шульце» проанализированы некоторые параметры когнитивного статуса у курящих (n=32) и некурящих (n=40) студентов медицинского института КГУ им. К. Э. Циолковского. Установлены статистически значимые изменения параметров когнитивного статуса у курящих студентов: на фоне сопоставимой по значениям с некурящими добровольцами достаточно быстрой вработываемости в задание, регистрируется истощаемость внимания и снижение мнестических функций у курящих. Это подтверждается снижением объема долговременной памяти, концентрации внимания, эффективности работы и психической устойчивости. Негативное влияние курения на когнитивный статус обучающихся медицинского института необходимо рассматривать с позиции формирования приоритетов здорового образа жизни, поскольку будущие врачи отчасти несут личную ответственность за позитивное решение проблемы курения в обществе.

Ключевые слова: когнитивный статус, курящие и некурящие студенты, память, внимание.

ВВЕДЕНИЕ

Актуальной проблемой современного молодого сообщества является использование электронных систем доставки никотина и никотинсодержащей продукции, компоненты которой (никотин, добавки в вейпы и т.д.) оказывают непосредственное и отсроченное негативное влияние, потенцирующее формирование системных осложнений. Состав жидкости для вейпов включает несколько десятков канцерогенных веществ, обладающих способностью увеличивать свои концентрации при нагревании устройства [1]. Термическое разложение пропиленгликоля и глицерина приводит к образованию токсичных акролеина и формальдегида; ароматизаторы, являясь аллергенными соединениями, способны формировать реакции гиперчувствительности, включая бронхообструктивный синдром; никотин в свою очередь является индуктором патофизиологических механизмов, направленных на развитие оксидативного стресса, вызывая при этом зависимость и способствуя развитию онкологических заболеваний [2]. Отчасти подтверждением вышесказанному стали результаты доклинических исследований на лабораторных животных, проведенные в 2020 году, которые продемонстрировали развитие дыхательной недостаточности и появление хрипов у крыс в 75 % случаев при

ингаляции пара с никотином и без него, при этом в 15 % случаев наблюдалась гибель животных. Клиническими исследованиями с участием более двух тысяч молодых мужчин и женщин показано, что длительное употребление электронных сигарет приводит к появлению респираторного симптомокомплекса (одышка, кашель, лихорадка, усталость и т.д.) с рентгенографически зарегистрированными легочными инфильтратами, пневмонитом, бронхиолитом и альвеолярными повреждениями. Кроме того, повышение артериального давления и риск развития инфаркта миокарда и инсульта в условиях вейпинга на сегодняшний день имеют достаточную доказательную базу [3]. В свою очередь, исследования, посвященные влиянию курения на интеллектуальные и мнестические функции (память, внимание и т.д.) у обучающихся фрагментарны, в связи с чем особый интерес представила оценка отдельных параметров когнитивного статуса у курящих и некурящих студентов-медиков.

Цель исследования – изучение параметров когнитивного статуса у курящих и некурящих студентов медицинского института.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

С разрешения Локального Этического Комитета проведено исследование с участием 72 студентов-медиков, обучающихся в Калужском государственном университете и подписавших добровольное информированное согласие на участие в эксперименте. Из включенных в исследование добровольцев было сформировано две равнозначные группы, при этом первую группу ($n=40$) составили некурящие, вторую ($n=32$) – курящие студенты. Оценку когнитивного статуса проводили по методикам «10 слов» и «таблицы Шульте», которые описаны в ранее опубликованных нами работах [4–6]. Статистическую обработку результатов проводили в программе Statistica 16.0, результаты отражены медианой (Me), нижним и верхним квартилями [$Q_1; Q_3$]; межгрупповое сравнение проведено с использованием критерия Манна-Уитни.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Статистически сопоставимый объем кратковременной памяти у курящих и некурящих испытуемых констатирован на основании отсутствия различий между группами при первом воспроизведении десяти односложных слов в тесте «10 слов». При этом дальнейшее воспроизведение (второе – пятое) указывает на достоверное снижение уровня запоминания у добровольцев второй группы в сравнении с первой, составившее 10–20 % ($p<0,05$). Оценка объема долговременной памяти (шестое воспроизведение) показала статистически значимое уменьшение параметра (на 34 %, $p<0,05$) у студентов, использующих никотинсодержащую продукцию (рис. 1).

По методике Шульте зарегистрирован референсный диапазон устойчивости произвольного внимания и темпа психической деятельности, соответствующий норме, в обеих группах студентов, однако время выполнения задания по пятой таблице у курящих на 43 % было больше, чем у некурящих ($p<0,05$) (рис. 2). Это повлияло на снижение параметров "Эффективность работы" (на 24 %, $p<0,05$) и

"Психическая устойчивость" (на 18 %, $p < 0,05$) во второй группе в сравнении с первой. При этом более высокое значение показателя "Степень вработываемости" зафиксировано у курящих (0,96) относительно некурящих студентов-медиков (1,04).

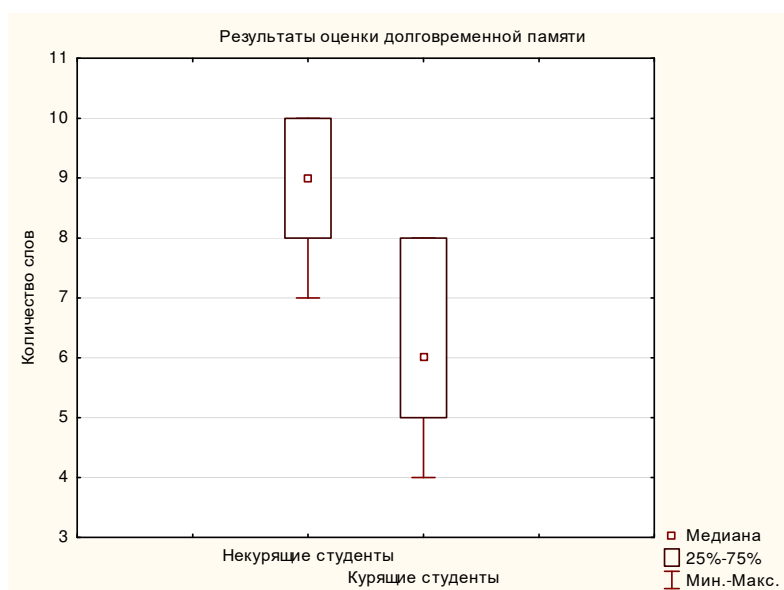


Рис. 1. Объем долговременной памяти у курящих и некурящих студентов-медиков.

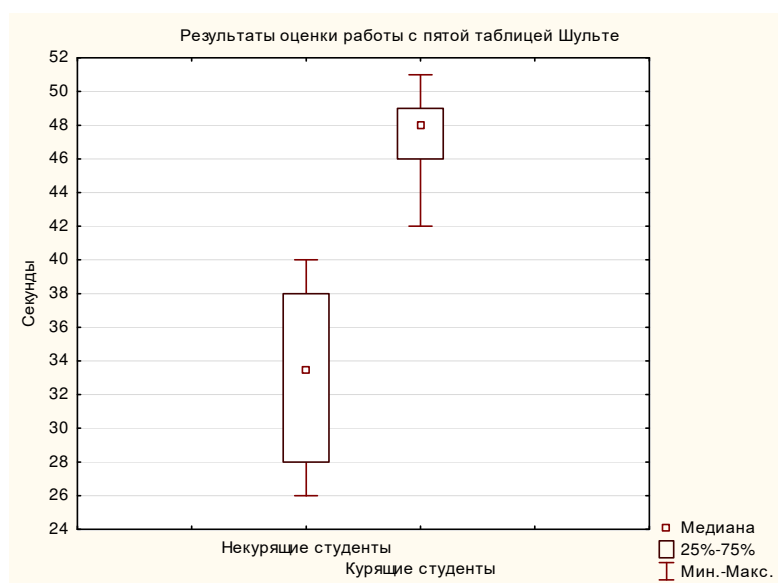


Рис. 2. Время работы (в секундах) с пятой таблицей Шульте курящими и некурящими студентами-медиками.

Таким образом, при отсутствии различий по показателю "Степень вработываемости" между курящими и некурящими респондентами, употребление никотинсодержащей продукции является предиктором в снижении объёма долговременной памяти, концентрации внимания, эффективности работы и психической устойчивости.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Установленные статистически значимые изменения некоторых показателей, отражающих концентрацию внимания и память у курящих студентов, позволяют констатировать негативное влияние курения на когнитивный статус обучающихся, что приобретает особую значимость в условиях Медицинского института, поскольку студенты – будущие врачи отчасти несут личную ответственность за позитивное решение проблемы курения в обществе.

Список литературы

1. Гнучих Е. В. Исследования инновационной продукции – электронных систем доставки никотина / Е. В. Гнучих, М. В. Шкидюк, А. Г. Миргородская // Вестник ВГУИТ. – 2018. – Т. 80, №3. – С. 265–271.
2. Алёшина Т. Е. К вопросу о территориальном распределении онкологических заболеваний в Калужской области / Т. Е. Алёшина, А. Б. Жукова // Экология урбанизированных территорий. – 2020. – №4. – С. 6–13.
3. Чернова Г. В. Возрастная динамика показателей сердечно-сосудистой системы у детей школьного возраста (7-17 лет) в покое и при физической нагрузке / Г. В. Чернова, Т. Е. Алёшина, Р. Б. Тарамакин [и др.] // Теория и практика физической культуры. – 2013. – №11. – С. 36–39.
4. Симонова Н. В. Влияние суточных биоритмов на когнитивный статус студентов второго курса, обучающихся по специальности Лечебное дело / Н. В. Симонова, Т. Е. Алёшина // Ученые записки Крымского федерального университета имени В. И. Вернадского. Социология. Педагогика. Психология. – 2024. – № 10 (Т. 76). – С. 163–169.
5. Гуляева А. С. Оценка мнестических функций у студентов-медиков в течение учебного дня / А. С. Гуляева, Н. В. Симонова, А. Н. Романова [и др.] // Кардиоваскулярная терапия и профилактика. – 2024. – Т. 23, № S6. – С. 177.
6. Терещенко Т. А. Особенности концентрации внимания у студентов второго курса в течение учебного дня / Т. А. Терещенко, Н. В. Симонова, Т. Е. Алёшина [и др.] // Кардиоваскулярная терапия и профилактика. – 2024. – Т. 23, № S6. – С. 176.

FEATURES OF COGNITIVE STATUS IN SMOKING AND NONSMOKING MEDICAL STUDENTS

***Simonova N. V., Smirnova G. O., Aleshina T. E., Alieva V. P., Kerimova Yu. D.,
Maksimenko E. E., Mirkarimov V.***

*Tsiolkovsky Kaluga State University, Kaluga, Russia
E-mail: simonova.agma@yandex.ru*

A controlled, open, randomized study was conducted to assess the characteristics of the cognitive status of smoking and nonsmoking students of the Medical Institute of Tsiolkovsky Kaluga State University (Kaluga, Russia). Students were randomized into 2

groups: the first group of volunteers (n = 40) consisted of nonsmokers, the second group (n = 32) – smokers. To assess the cognitive status, the «10 words» and «Schulte tables» methods were used.

The results of the study showed that the first reproduction of ten monosyllabic words when tested using the «10 words» method does not have statistically significant differences between the groups and allows us to state that the volume of short-term memory in smoking and non-smoking volunteers is practically identical. At the same time, further reproduction (second to fifth) indicates a reliable decrease in the level of memorization in volunteers of the second group compared to the first, amounting to 10–20 % ($p < 0.05$). Evaluation of the volume of long-term memory (sixth reproduction) showed a statistically significant decrease in the parameter (by 34 %, $p < 0.05$) in smoking students relative to non-smoking students.

The assessment of the attention volume, its stability, and mental tempo using Schulte tables showed that in both the first and second groups of students, the task completion time was within the normal range: both non-smokers and smokers had sufficient stability of voluntary attention and mental activity tempo. However, the time spent working with the fifth table by smokers was 43 % higher than the same indicator by non-smokers ($p < 0.05$), which affected the calculated indicators: the work efficiency in the second group was 24 % lower than the same parameter in the first, and mental stability was 18 % lower ($p < 0.05$).

The study allowed us to establish statistically significant changes in the parameters of the cognitive status of smoking students: with a fairly quick adaptation to the task, comparable in values with non-smoking volunteers, there is sufficient exhaustion of attention against the background of a decrease in mnemonic functions in smokers, which is confirmed by a decrease in the volume of long-term memory, concentration, work efficiency and mental stability.

Keywords: cognitive status, smoking and non-smoking students, memory, attention.

References

1. Gnuchikh E. V., Shkidyuk M. V., Mirgorodskaya A. G. Research of innovative products – electronic nicotine delivery systems. *VSUET Bulletin*, **80**, 3 (2018).
2. Aleshina T. E., Zhukova A. B. On the issue of territorial distribution of oncological diseases in the Kaluga region. *Ecology of urbanized territories*, **4** (2020).
3. Chernova G. V., Aleshina T. E., Taramakin R. B. [et al.] Age dynamics of cardiovascular system indicators in school-age children (7-17 years old) at rest and during physical activity. *Theory and practice of physical education*, 11 (2013).
4. Simonova N. V., Aleshina T. E. The influence of circadian biorhythms on the cognitive status of second-year students studying in the specialty General Medicine. *Scientific notes of the Crimean Federal University named after V.I. Vernadsky. Sociology. Pedagogy. Psychology*, **76**, 10 (2024).
5. Gulyaeva A. S., Simonova N. V., Romanova A. N. [et al.] Evaluation of mnemonic functions in medical students during the school day. *Cardiovascular therapy and prevention*, **23**, S6 (2024).
6. Tereshchenko T. A., Simonova N. V., Aleshina T. E. [et al.] Features of concentration of attention in second-year students during the school day. *Cardiovascular therapy and prevention*, **23**, S6 (2024).

УДК 579.8

DOI 10.29039/2413-1725-2025-11-2-204-223

БИФИДОБАКТЕРИИ: МЕХАНИЗМ ДЕЙСТВИЯ, КЛАССИФИКАЦИЯ, МЕДИКО-БИОЛОГИЧЕСКОЕ ЗНАЧЕНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Сорокин О. В.¹, Запорожченко А. А.², Суботьялов М. А.^{2,3}

¹ООО «Ведагенетика», Новосибирск, Россия

²ФГБОУ ВО «Новосибирский государственный педагогический университет», Новосибирск, Россия

³ФГАОУ ВО «Новосибирский национальный исследовательский государственный университет», Новосибирск, Россия

E-mail: subotyalov@yandex.ru

В статье представлен обзор современных данных о бифидобактериях, их морфологии, классификации и функциональных характеристиках. Рассматривается их влияние на здоровье человека, включая модуляцию иммунитета, участие в метаболических процессах и защиту кишечного барьера. Особое внимание уделено видам *Bifidobacterium bifidum*, *B. longum*, *B. breve* и *B. adolescentis*, их применению в пробиотиках и перспективам дальнейших исследований. Описаны их терапевтические свойства, включая использование в профилактике и лечении заболеваний желудочно-кишечного тракта (ЖКТ), метаболических и иммунных нарушений. Также обсуждаются перспективы разработки новых пробиотических препаратов и их клиническое применение.

Ключевые слова: бифидобактерии, микробиом, пробиотики, *Bifidobacterium bifidum*, *Bifidobacterium longum*, *Bifidobacterium breve*, *Bifidobacterium adolescentis*, кишечная микрофлора.

ВВЕДЕНИЕ

Бифидобактерии (*Bifidobacterium*) – род грамположительных анаэробных бактерий, играющих ключевую роль в поддержании здоровья человека. Они являются одними из первых микроорганизмов, заселяющих кишечник новорождённых, и составляют значительную часть микробиоты кишечника на протяжении всей жизни. Бифидобактерии участвуют в процессах пищеварения, синтезе витаминов и модуляции иммунного ответа [1].

В последние десятилетия интерес к бифидобактериям значительно возрос, что связано с их потенциальной пользой для здоровья и возможностью применения в качестве пробиотиков. Пробиотики, содержащие бифидобактерии, используются для профилактики и лечения различных заболеваний желудочно-кишечного тракта, включая дисбактериоз, синдром раздражённого кишечника и воспалительные заболевания кишечника. Обширные исследования продемонстрировали их потенциальное терапевтическое применение в профилактике и лечении целого ряда

желудочно-кишечных, метаболических, иммунологических и неврологических заболеваний.

Современные исследования направлены на изучение различных видов бифидобактерий и их морфологических, генетических и функциональных характеристик. Особое внимание уделяется их способности выживать в условиях желудочно-кишечного тракта, взаимодействию с другими компонентами микробиоты и влиянию на здоровье хозяина.

Несмотря на значительный прогресс в изучении бифидобактерий, остаются нерешённые вопросы, связанные с их идентификацией, классификацией и механизмами действия. Традиционные методы идентификации, основанные на морфологических и биохимических признаках, часто недостаточны для точного определения видов. Введение молекулярно-генетических методов, таких как секвенирование генов 16S рРНК, позволило уточнить филогенетические взаимоотношения между различными видами бифидобактерий и улучшить их классификацию [2].

Целью данной статьи является обзор современных данных о бифидобактериях с акцентом на виды *B. bifidum*, *B. longum*, *B. breve* и *B. adolescentis*. В статье рассматривается их морфология, классификация, биологические функции, медицинское значение, применение в продуктах питания и пробиотиках, а также методы исследования и перспективы дальнейших разработок в этой области.

Механизм действия бифидобактерий

Механизм пробиотического действия бактерий рода *Bifidobacterium* основан на работе биологически активных гликоконъюгатов: полисахаридов, гликопротеинов, гликолипидов, фосфогликолипидов и липотейхоевой кислоты, которая содержится в клеточной стенке бактерий. Эти молекулы обладают иммуномодулирующими и противоопухолевыми свойствами, активируя различные иммунные реакции. Гликоконъюгаты корректируют популяцию лимфоцитов и повышают фагоцитарную активность нейтрофилов, индуцируя синтез альфа- и гамма-интерферонов и ФНО- α , что усиливает неспецифическую резистентность организма.

Конститутивный иммунный ответ является первичным механизмом защиты при нарушениях микробиоценоза. Он обусловлен выработкой эндогенных цитокинов, включая интерфероны (IFN- α , IFN- γ) и ФНО- α . ФНО- α , активируя макрофаги и усиливая продукцию оксида азота, способствует элиминации патогенов внутри фагоцитирующих клеток. Иммунологическая толерантность к антигенам симбиотической микрофлоры критически важна для гомеостаза. Её нарушение, сопровождающееся высоким уровнем антител против бифидобактерий, может приводить к устойчивым нарушениям микробиоценоза кишечника [1].

Согласно результатам исследований, бифидобактерии нормализуют количественные и функциональные характеристики В- и Т-клеток, повышают продукцию интерферонов и ФНО- α . Стимуляция продукции цитокинов коррелирует с концентрацией иммуномодулирующих гликоконъюгатов [3]. Гликолипиды актиномицетов, такие как димиколат трегалозы, фенольные гликолипиды,

липоарабиноманнан и полярные липоолигосахариды, обладают выраженной иммуногенной активностью и применяются в серодиагностике. Аналогичные свойства выявлены у полярных липидов некоторых штаммов *Bifidobacterium adolescentis*, обладающих высокой иммунореактивностью и серологической специфичностью.

Иммунодиагностические тесты (dot-EIA и ELISA), использующие антигены гликолипидов и фосфолипидов *Bifidobacterium*, демонстрируют перспективность для серологической экспресс-диагностики смешанных инфекций, ранней идентификации патогенов у пациентов с высоким риском септических осложнений и мониторинга дисбиозов. Дальнейшее исследование структурных и функциональных характеристик липидных соединений бифидобактерий позволит выявить новые мишени для разработки эффективных лечебно-профилактических пробиотических препаратов, что открывает перспективы для инновационных биомедицинских технологий.

Морфология и классификация бифидобактерий

Род *Bifidobacterium* – ключевой представитель типа *Actinobacteria*, класса *Actinobacteria* (грамположительные бактерии с высоким содержанием G+C), отряда *Bifidobacteriales* и семейства *Bifidobacteriaceae*. С момента его первого описания в 1924 г. таксономия этого рода значительно эволюционировала благодаря достижениям в области молекулярной биологии и секвенирования генома. На сегодняшний день известно более 50 видов бифидобактерий, и по мере ускорения исследований микробиома регулярно описываются новые виды и подвиды [4].

Традиционно классификация бифидобактерий основывалась на морфологических и биохимических признаках, в частности на способности усваивать углеводы с помощью уникального пути ферментации, известного как «бифидобактериальный шунт» (фруктозо-6-фосфатный путь). Этому процессу способствует фермент фруктозо-6-фосфатфосфокетотлаза (Xfr), который уже давно является отличительным признаком бифидобактерий. Однако с появлением секвенирования следующего поколения (NGS) и сравнительной геномики современная классификация основывается главным образом на филогенетическом анализе гена 16S рРНК и полногеномном секвенировании [5].

Значительный прорыв в классификации бифидобактерий произошёл в последние годы, когда были проведены широкомасштабные работы по секвенированию генома [6]. Филогенетическое исследование, в ходе которого были проанализированы 48 последовательностей генома, выявило семь различных филогенетических групп внутри рода:

- 1) Группа бифидобактерий *adolescentis* (*B. adolescentis*, *B. catenulatum*, *B. pseudocatenulatum*).
- 2) Группа *Bifidobacterium asteroides* – обычно содержится в кишечной микрофлоре насекомых.
- 3) Группа *Bifidobacterium boum* – встречается у жвачных животных.
- 4) Группа *Bifidobacterium longum* (*B. longum*, *B. breve*).
- 5) Группа *Bifidobacterium bifidum* (*B. bifidum*).

- 6) Группа *Bifidobacterium pseudolongum* – часто встречаются в кишечнике животных.
- 7) Группа *Bifidobacterium pullorum* – в основном заселяют птиц.

Эти группы частично коррелируют с экологическими нишами, из которых они были первоначально выделены, что демонстрирует эволюционную адаптацию бифидобактерий к различным хозяевам [7]. Важно отметить, что виды из групп *B. longum*, *B. adolescentis* и *B. bifidum* обычно встречаются в кишечнике человека и являются основными видами бифидобактерий, используемых в рецептурах пробиотиков.

Bifidobacterium bifidum

Среди многих видов бифидобактерий *Bifidobacterium bifidum* является одним из наиболее хорошо изученных благодаря своей важной роли в здоровье кишечника человека. Он относится к преобладающим и функционально значимым представителям кишечной микрофлоры человека, особенно в раннем детском возрасте.

Его генетическая структура характеризуется высокой долей генов, отвечающих за метаболизм и транспорт углеводов, включая те, которые отвечают за деградацию муцина, что является отличительной чертой этого вида [8]. Способность *B. bifidum* утилизировать гликаны, полученные от хозяина, обеспечивает конкурентное преимущество при колонизации кишечника, главным образом у новорожденных. У взрослых людей его количество снижается, но он остаётся важной частью микробиома кишечника, способствуя модуляции иммунитета, пищеварению и целостности кишечного барьера [9].

В отличие от многих штаммов бактерий, которые быстро проходят через желудочно-кишечный тракт, *B. bifidum* обладает исключительной способностью прикрепляться к эпителиальным клеткам кишечника, что обеспечивает более длительную колонизацию и потенциальную пользу для здоровья. Эта способность обусловлена наличием на поверхности специализированных молекул экзополисахаридов и гликопротеинов, способствующих адгезии.

Помимо колонизации, *B. bifidum* участвует в модуляции иммунного ответа организма. Известно, что *B. bifidum* влияет на пластичность регуляторных Т-лимфоцитов Treg/TH17, способствуя иммунному гомеостазу и толерантности слизистой оболочки. Было обнаружено, что некоторые штаммы (*B. bifidum* PRL2010) вызывают сильную провоспалительную реакцию, одновременно снижая уровень специфических хемокинов и белков теплового шока, что приводит к общему иммуномодулирующему эффекту, что может быть применимо для предотвращения чрезмерных воспалительных реакций [10].

Полезные и терапевтические свойства *B. bifidum* основаны на его пробиотическом потенциале. Данный вид обладает антагонистической активностью в отношении некоторых патогенов (*Helicobacter pylori*), способен смягчать течение воспалительных заболеваний кишечника и поддерживать целостность кишечного барьера. Новые исследования указывают на возможную связь между *B. bifidum* и

неврологическим здоровьем, потенциально влияющую на настроение и когнитивные функции через ось «кишечник–мозг» [11].

В целом, *B. bifidum* представляет собой высокоспециализированную комменсальную бактерию, занимающую определённую роль в экологии кишечника человека. Несмотря на пробиотический потенциал, существуют различия между штаммами, и не все штаммы *B. bifidum* одинаково полезны для здоровья. Дальнейшие геномные и функциональные исследования необходимы для изучения влияния этого вида бифидобактерий на организм хозяина и его потенциал для применения в качестве пробиотиков.

Bifidobacterium longum

Bifidobacterium longum – один из наиболее доминирующих и хорошо изученных видов бифидобактерий в микробиоме кишечника человека. Хотя его содержание снижается в зрелом возрасте и ещё больше снижается у пожилых людей, он является существенным компонентом кишечной микробиоты [12].

Сравнительная геномика выявила более 3600 семейств генов у этого вида, значительная часть которых связана с углеводным обменом. К примеру, *B. longum subsp. infantis* особенно хорошо усваивает олигосахариды из грудного молока (ОГМ), что даёт большое преимущество при колонизации кишечника младенца. *B. longum subsp. Longum*, напротив, лучше приспособлен к усвоению сложных полисахаридов растительного происхождения, что способствует его сохранению в микробиоте взрослого человека [13].

Bifidobacterium longum делят на четыре подвида:

1) *B. longum subsp. infantis* (обычно называемый *B. infantis*) – специализирован на потреблении ОГМ и широко распространён среди детей, находящихся на грудном вскармливании.

2) *B. longum subsp. longum* – более разносторонний в контексте углеводного обмена, благодаря чему сохраняется как у младенцев, так и у взрослых.

3) *B. longum subsp. suis* – в основном встречается у свиней, но также был обнаружен в микробиомах человека.

4) *B. longum subsp. suillum* – ранее был обнаружен только у животных-хозяев, но недавние исследования указывают на его присутствие в кишечнике человека.

Такая адаптивность в значительной степени обусловлена способностью *B. longum* расщеплять широкий спектр пищевых углеводов и углеводов, получаемых из организма хозяина [14]. Более 13 % кластеров генов в его геноме отвечают за углеводный обмен, что позволяет ему использовать растительные полисахариды и другие сложные сахара, которые многие кишечные бактерии не могут переварить [15]. В результате *B. longum* закрепляется в кишечнике на длительный срок, в отличие от многих других штаммов пробиотиков, которые колонизируют кишечник лишь временно.

Данный штамм бифидобактерий активно изучается благодаря своему пробиотическому потенциалу. Способность *B. longum* эффективно колонизировать желудочно-кишечный тракт человека обусловлена его способностью противостоять стрессовым воздействиям окружающей среды – кислой среде и солям желчных

кислот, таким как кислая среда и соли желчных кислот. Механизмы кислотоустойчивости заключаются в изменениях в составе мембран, активации системы F₀F₁-АТФазы и повышенной экспрессии защитных белков: белков теплового шока и экзополисахаридов [16]. Присутствие экзополисахаридов также способствует образованию биопленки, что повышает эффективность колонизации, выступая как фактор адгезии, способствующий взаимодействию с эпителиальными клетками кишечника, и вместе с тем модулирует иммунные реакции хозяина. Помимо этого, *B. longum* может быть эффективен в борьбе с синдромом раздражённого кишечника, снижении продукции провоспалительных цитокинов и поддержании когнитивных процессов [17].

Bifidobacterium longum представляет собой универсальный и полезный элемент микробиома кишечника человека. Трудность в изучении свойств *B. longum* заключается в обеспечении доступности и постоянства высококачественных штаммов. Будущие исследования продолжат анализ его геномного разнообразия, функциональных свойств и применения в качестве пробиотиков [18].

Bifidobacterium breve

Bifidobacterium breve – один из доминирующих элементов кишечной микробиоты детей, известный своим пробиотическим потенциалом. Геном *B. breve* имеет особые гены, кодирующие гликозилгидролазы и транспортные системы, которые способствуют расщеплению и усвоению сложных углеводов, включая пищевые волокна и ОГМ [19]. Кроме того, некоторые штаммы *B. breve* демонстрируют специфические для штамма вариации в своём геномном составе, влияющие на их экологические свойства и функциональные возможности пробиотиков [20].

Отличительной особенностью *B. breve* является его устойчивое приживание в желудочно-кишечном тракте, что объясняется его кислото- и желчеустойчивостью. Производство большого количества экзополисахаридов дополнительно повышает его эластичность, защищая от воздействия окружающей среды и способствуя адгезии к поверхности кишечника. По этой причине *B. breve* используется в рецептурах функциональных пищевых продуктов, включая кисломолочные продукты и пробиотические добавки – было показано, что микрокапсулированный *B. breve* сохраняет более высокую жизнеспособность в условиях искусственного желудочно-кишечного тракта по сравнению со свободными клетками, что является ценным свойством для пробиотика [21]. Также *B. breve* продемонстрировал антимикробную активность в отношении ряда энтеропатогенов, опосредованную выработкой бактериоцина и конкурентным вытеснением патогенов [22].

Помимо своей роли в колонизации кишечника, *B. breve* оказывает иммуномодулирующее действие, влияя как на врожденные, так и на адаптивные иммунные реакции. Было показано, что он усиливает регуляторные реакции Т-клеток, модулирует выработку цитокинов и уменьшает воспаление кишечника [23].

Bifidobacterium breve можно назвать высокоадаптивным видом микробиома кишечника человека, обладающим рядом потенциальных преимуществ. Текущие и

последующие исследования позволят еще больше прояснить его механизмы и расширить область применения в клинической практике.

Bifidobacterium adolescentis

Bifidobacterium adolescentis – один из наиболее распространённых видов бифидобактерий в толстом кишечнике взрослого человека. Примечательно, что его содержание ниже у детей и пожилых людей.

В процессе эволюции *Bifidobacterium adolescentis* приобрёл способность эффективно ферментировать гликаны растительного происхождения, обладая широким спектром переносчиков сахара и ферментов для расщепления. Такая универсальность метаболизма позволяет ему использовать различные углеводы, что благоприятствует его успешной колонизации кишечника человека [24].

B. adolescentis интересен своей способностью вырабатывать гамма-аминомасляную кислоту (ГАМК) – основной ингибирующий нейромедиатор, который играет решающую роль в регуляции взаимодействия кишечника и головного мозга. Геномные исследования показали, что *B. adolescentis* содержит гены *gadB* и *gadC*, которые кодируют изоформу глутаматдекарбоксилазы и ГАМК-антипортер соответственно. Эти гены высоко консервативны у штаммов *B. adolescentis*, что подтверждает их значение как модельного продуцента ГАМК в микробиоме кишечника человека. Способность *B. adolescentis* синтезировать ГАМК связывают с потенциальным терапевтическим применением при тревоге и депрессии, поскольку несколько метагеномных исследований указывают на корреляцию между распространенностью *B. adolescentis* в микробиоме кишечника и психическими расстройствами [25].

B. adolescentis также продемонстрировал способность укреплять кишечный барьер, стимулируя экспрессию белков плотных контактов – ZO-1, окклюдина и клаудина-2, – которые имеют большое значение для поддержания целостности эпителия кишечника [26]. Уменьшение количества *B. adolescentis* у людей с воспалительными заболеваниями кишечника (ВЗК) свидетельствует о его важности для гомеостаза кишечника. Иммуномодулирующий эффект *B. adolescentis* заключается в выработке цитокинов – он снижает содержание провоспалительных цитокинов, включая IL-6, IL-1 β , TNF- α , IFN- γ и IL-17A, одновременно усиливая секрецию противовоспалительных цитокинов (IL-4, IL-10 и TGF- β 1) [27].

B. adolescentis является достаточно высокоспециализированным в углеводном обмене – он обладает обширным набором гликозилгидролаз, углеводсвязывающих модулей и гликозилтрансфераз, которые позволяют расщеплять и использовать различные пищевые волокна и гликановые соединения, полученные из организма хозяина. Такая метаболическая адаптация повышает его способность колонизироваться и сохраняться в кишечнике, особенно у людей, употребляющих пищу с высоким содержанием клетчатки. Немаловажна роль *B. adolescentis* в производстве короткоцепочечных жирных кислот (КЖК), особенно ацетата и лактата, которые способствуют здоровью кишечника, снижая pH в нём и препятствуя колонизации патогенными микроорганизмами [28].

Bifidobacterium adolescentis рассматривают как универсальный пробиотик, обладающий терапевтическим потенциалом в лечении нервно-психических расстройств и желудочно-кишечных заболеваний. Будущие исследования должны быть сосредоточены на функциональных исследованиях и клинических испытаниях, специфичных для конкретного штамма.

Медицинское значение бифидобактерий

Бифидобактерии выполняют несколько важных экологических и биологических функций в поддержании здоровья человека. Бифидобактерии являются одними из основных представителей нормальной микрофлоры человека, особенно в тонкой и толстой кишке. Они поддерживают баланс микробиоты и предотвращают чрезмерный рост патогенных микроорганизмов. Благодаря конкуренции с патогенами за питательные вещества и места прикрепления на слизистой оболочке кишечника бифидобактерии также могут препятствовать колонизации вредоносных бактерий и таким образом поддерживают стабильность кишечной микрофлоры. По этой причине они активно используются в профилактике и терапии различных кишечных расстройств – их применение показало эффективность в лечении синдрома раздраженного кишечника (СРК), воспалительных заболеваний кишечника (ВЗК), включая болезнь Крона и язвенный колит, и других заболеваний [29].

Одним из наиболее хорошо изученных преимуществ бифидобактерий является их способность регулировать иммунную систему. Эти бактерии взаимодействуют с иммунными клетками лимфоидной ткани кишечника, стимулируя выработку противовоспалительных цитокинов и подавляя провоспалительные реакции. Они взаимодействуют с клетками иммунной системы, способствуя активации макрофагов и лимфоцитов, а также стимулируя выработку иммуноглобулинов, особенно иммуноглобулина А, который защищает слизистые оболочки от проникновения патогенов. Эти свойства бифидобактерий ассоциируются с повышением общей сопротивляемости инфекциям и снижением воспалительных процессов в организме [30, 31].

Применение бифидобактерий в раннем возрасте приводит к снижению риска развития аллергических заболеваний, из которых наиболее часто встречаются атопический дерматит и пищевая аллергия [32]. Доказано, что они модулируют иммунный ответ, формируя толерантность к аллергенам и снижая уровень провоспалительных цитокинов.

Бифидобактерии способствуют укреплению барьерной функции кишечника, повышая выработку слизи и укрепляя межклеточные соединения эпителия, что снижает проницаемость кишечника и препятствует проникновению патогенных микроорганизмов. В этом процессе участвуют не только продукты метаболизма бактерий, но и их поверхностные белки, взаимодействующие с эпителиальными клетками кишечника [33]. Их способность ферментировать пищевые волокна с образованием короткоцепочечных жирных кислот (КЖК) создаёт благоприятную среду для развития полезных микробных популяций и подавляет рост патогенной флоры [34].

В сущности, способность продуцировать короткоцепочечные жирные кислоты, такие как бутират, пропионат и ацетат, является одним из наиболее значимых аспектов метаболической активности бифидобактерий. Эти кислоты очень важны в поддержании кишечного гомеостаза и общего состояния здоровья человека, поскольку представляют собой основной поток углерода из рациона в микробиом человека.

Ацетат, один из основных метаболитов бифидобактерий, участвует в регуляции pH кишечной среды и выступает как субстрат для производства других КЖК [35].

Пропионат содействует регуляции метаболизма липидов и глюкозы – он способен снижать уровень холестерина и повышать чувствительность к инсулину, что делает его перспективным агентом для профилактики метаболических заболеваний, например диабета 2 типа [36]. Механизм его действия включает ингибирование синтеза холестерина в печени, а также влияние на рецепторы свободных жирных кислот, что способствует регуляции обмена веществ.

Бутират – это ключевой субстрат для клеток эпителия кишечника, который поддерживает их жизнеспособность и барьерную функцию кишечника. Бутират индуцирует экспрессию белков плотных контактов, снижает проницаемость кишечника и предотвращает транслокацию патогенов. Также он обладает выраженными противовоспалительными свойствами – регуляцией активности иммунных клеток и секрецией провоспалительных цитокинов [37].

Бифидобактерии продуцируют КЖК посредством ферментации неперевариваемых углеводов, включая олигосахариды, пищевые волокна и резистентный крахмал. Основной метаболический путь, ответственный за образование ацетата и пропионата, – это бифидобактериальный шунт, который обеспечивает эффективное расщепление углеводов с образованием полезных метаболитов [38]. Бутират продуцируется в основном косвенным путем, через перекрестные взаимодействия бифидобактерий с другими бактериями кишечной микробиоты, такими как *Faecalibacterium prausnitzii* и *Eubacterium rectale*, которые используют промежуточные продукты метаболизма бифидобактерий для его синтеза. Результаты многих исследований подтверждают благотворное влияние пробиотических микроорганизмов на баланс кишечного микробиома и образующихся метаболитов, включая КЖК.

Широко изучена роль бифидобактерий в лечении острых кишечных инфекций (ОКИ), включая вирусные и бактериальные диареи. Эти бактерии демонстрируют способность подавлять рост и адгезию патогенных бактерий *Escherichia coli*, *Salmonella spp.* и *Clostridioides difficile* и др. за счёт конкуренции за питательные вещества и выработки антимикробных метаболитов [39]. В дополнение к этому они продуцируют органические кислоты (уксусную, молочную), снижающие pH кишечного содержимого, что создаёт неблагоприятные условия для размножения патогенной флоры. Вирусные диареи, вызванные ротавирусами и норовирусами, также поддаются коррекции с применением бифидобактерий, поскольку они стимулируют выработку IgA и тем самым повышают защитные свойства кишечного барьера, снижают воспаление и блокируют провоспалительные сигнальные пути, такие как NF-κB [40].

Клинические испытания подтверждают эффективность бифидобактерий в терапии и профилактике инфекционных диарей. Применение пробиотиков с содержанием *Bifidobacterium bifidum* и *Bifidobacterium lactis* у детей с ротавирусной инфекцией ускоряет выздоровление, сокращая длительность диареи и уменьшая степень дегидратации.

Нормальные уровни бифидобактерий в кишечнике составляют:

- 1) У взрослых – содержание бифидобактерий в кишечнике здорового взрослого человека составляет от 10^8 до 10^{10} КОЕ/г кала.
- 2) У детей старше 1 года – норма составляет от 10^9 до 10^{10} КОЕ/г кала.
- 3) У грудных детей – уровень бифидобактерий достигает от 10^{10} до 10^{11} КОЕ/г кала.

Считается, что минимально эффективная доза пробиотиков, содержащих бифидобактерии, составляет 10^9 КОЕ/г. При различных состояниях это число может поддаваться изменениям:

- 1) Эрадикация *Helicobacter pylori*: 6×10^9 КОЕ дважды в день.
- 2) Диарея после приема антибиотиков: 10^{10} КОЕ дважды в день.
- 3) Язвенный колит: 18×10^{11} КОЕ дважды в день.

Таким образом, содержание бифидобактерий в пробиотических препаратах – и монокомпонентных, и комбинированных, в состав которых, помимо бифидобактерий, входят другие активные компоненты – не менее 10^7 КОЕ бифидобактерий [41].

У пациентов с бактериальными ОКИ добавление бифидобактерий к стандартной антибиотикотерапии приводит к снижению частоты рецидивов и побочных эффектов, в том числе антибиотикоассоциированной диареи. Механизмы иммуномодуляции, реализуемые бифидобактериями, способствуют восстановлению нормального микробного сообщества кишечника после перенесённой инфекции. Их действие предотвращает развитие дисбиоза и хронических воспалительных процессов [42].

Бифидобактерии могут быть особенно полезны в программах эрадикации *Helicobacter pylori*, одного из ведущих факторов развития гастрита, язвенной болезни желудка и двенадцатиперстной кишки. Традиционная терапия *H. pylori* подразумевает применение антибиотиков и ингибиторов протонной помпы, однако различные побочные эффекты и опасения развития антибиотикорезистентности требуют дополнительных стратегий лечения [43]. Исследования показывают, что добавление бифидобактерий к стандартной терапии повышает эффективность эрадикации *H. pylori*, снижает выраженность побочных эффектов антибиотиков (диарея, дисбактериоз, дискомфорт в желудке) и в целом ускоряет восстановление микробиоты. Бифидобактерии подавляют рост *H. pylori* в основном благодаря продукции органических кислот, которые снижают pH желудка, но они также выделяют антимикробные пептиды, ингибирующие жизнеспособность бактерий [44]. Так как пробиотические штаммы бифидобактерий модулируют иммунный ответ, они не только помогают успешной эрадикации *H. pylori*, но и снижают риск рецидивов инфекции и развития связанных с ней патологий.

Недавние исследования выявили, что бифидобактерии принимают активное участие в регуляции множества метаболических процессов: липидного обмена, гомеостаза глюкозы и чувствительности к инсулину [45]. Их использование связывают с улучшением показателей при метаболическом синдроме, включая снижение уровня общего холестерина и липопротеинов низкой плотности (ЛПНП) и триглицеридов, что, в свою очередь, снижает риск развития сердечно-сосудистых заболеваний и дислипидемии [46]. Свойство бифидобактерий влиять на состав микробиоты ценно и при коррекции ожирения, так как они способствуют увеличению популяции бактерий, ассоциированных со снижением массы тела [47, 48].

Определённые штаммы бифидобактерий проявляют противоопухолевую активность, ингибируя рост раковых клеток и стимулируя иммунный ответ против опухолей. Основой их действия является продукция биологически активных метаболитов – КЖК и бактериоцинов [49]. Эти метаболиты могут подавлять пролиферацию раковых клеток, индуцировать апоптоз и уменьшать воспаление, которое часто является фактором, способствующим онкогенезу. Кроме того, были разработаны генно-инженерные штаммы *Bifidobacterium longum* в качестве систем адресной доставки для генной терапии рака. Благодаря своей анаэробной природе эти бактерии преимущественно колонизируют гипоксическую опухолевую среду, что делает их подходящими переносчиками для доставки противораковых препаратов непосредственно к опухолям [50]. Результаты доклинических исследований показали, что терапия на основе бифидобактерий может повысить эффективность химиотерапии и иммунотерапии при одновременном снижении системных побочных эффектов [51, 52].

Существуют данные о влиянии бифидобактерий на психическое здоровье через ось «кишечник–мозг». Их применение связывают со снижением симптомов депрессии и тревожности, что объясняется их способностью модулировать выработку нейротрансмиттеров и снижать уровень воспалительных маркеров [53]. Известно, что бактерии могут влиять на работу мозга и психическое здоровье путём выработки нейромедиаторов – среди которых, например, гамма-аминомасляная кислота (ГАМК), которая регулирует работу гипоталамо-гипофизарно-надпочечниковой системы [54]. Клинические исследования показали, что использование определённых штаммов бифидобактерий может уменьшать симптомы тревожных расстройств и депрессии у пациентов с синдромом раздражённого кишечника [55, 56].

Бифидобактерии были исследованы на предмет их роли в повышении эффективности вакцины. Некоторые штаммы – например, *Bifidobacterium longum* и *Bifidobacterium breve*, – усиливают иммунный ответ организма на вакцины за счёт увеличения выработки антигенспецифического иммуноглобулина А (IgA) в кишечнике [57]. Это указывает на потенциальное применение этих бактерий для улучшения иммунной защиты от инфекционных заболеваний. В настоящее время рассматривается возможность их применения в терапии нейродегенеративных заболеваний, таких как болезнь Альцгеймера, поскольку они способствуют снижению уровня воспаления и окислительного стресса, тем самым защищая когнитивные функции [58].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Хотя обоснование для применения пробиотиков кажется убедительным, также очевидно, что предстоит пройти долгий путь в понимании как сложности микробиоты, так и влияния пробиотиков на многие заболевания и нарушения. Каждый человек обладает уникальным кишечным микробиомом, а значит воздействие различных бактерий, содержащихся в коммерческих пробиотиках, может быть весьма разнообразным. Считается, что их применение должно быть адаптировано в рамках персонализированной медицины, которая учитывает заболевание, подлежащее лечению, и состояние микробиоты конкретного пациента для достижения максимальной пользы.

Исследования бифидобактерий открывают внушительные перспективы в области онкологии, метаболических нарушений и пробиотической терапии. Иммунотерапия опухолей представляется как одно из самых многообещающих направлений. Генетическая модификация штаммов бифидобактерий и разработка биопрепаратов на их основе могут привести к новым методам лечения рака, особенно в сочетании с традиционной иммунотерапией. Однако остаются нерешённые вопросы, касающиеся вариативности реакции пациентов, лекарственной устойчивости и совместимости, а также необходимости стандартизации методов исследований. Для повышения эффективности противоопухолевой терапии требуется углублённое изучение взаимодействий между бифидобактериями и иммунной системой человека, что предполагает проведение крупных клинических испытаний и разработку международных стандартов оценки их терапевтического потенциала [59].

Немаловажной областью изучения является роль бифидобактерий в борьбе с ожирением и метаболическими нарушениями. Несмотря на статистически значимые эффекты пробиотиков, клиническая значимость некоторых изменений остаётся под вопросом из-за ограниченного количества исследований. Требуется более детальный анализ влияния дозировки, времени вмешательства и состава пробиотиков. Особое внимание следует уделить взаимодействию бифидобактерий с пребиотическими волокнами, которые могут усиливать их метаболические эффекты.

Будущее пробиотических исследований зависит от разработки штаммов бифидобактерий с высокой способностью к колонизации кишечника. Улучшенные пробиотики могут обеспечить более длительное влияние на микробиоту, что особенно важно для поддержания здоровья. Необходим строгий научный контроль за безопасностью и эффективностью пробиотических продуктов, чтобы обеспечить потребителям доступ к качественным и доказанно полезным добавкам. Интересным направлением является изучение состава микробиоты долгожителей, поскольку их кишечная флора, богатая бифидобактериями, может указывать на связь между пробиотиками и долголетием [60]. Дальнейшие исследования помогут создать персонализированные пробиотические продукты, адаптированные к индивидуальным потребностям и особенностям организма.

Список литературы

1. Новик Г. И. Бифидобактерии: научные основы практического использования / Г. И. Новик // Проблемы здоровья и экологии. – 2006. – № 3(9). – С. 144–151.
2. Sharma V. Exploration of survival traits, probiotic determinants, host interactions, and functional evolution of bifidobacterial genomes using comparative genomics / V. Sharma, F. Mobeen, T. Prakash // Genes. – 2018. – Vol. 9, No 10. – P. 477.
3. Itoh K. Exploring the Potential of Humoral Immune Response to Commensal *Bifidobacterium* as a Biomarker for Human Health, including Both Malignant and Non-Malignant Diseases: A Perspective on Detection Strategies and Future Directions / K. Itoh, S. Matsueda // Biomedicines. – 2004. – Vol. 12, No 4. – P. 803.
4. Hidalgo-Cantabrana C. Bifidobacteria and their health-promoting effects / C. Hidalgo-Cantabrana, S. Delgado, L. Ruiz [et al.] // Microbiology Spectrum. – 2017. – Vol. 5, No 3. – P. 1–19.
5. Чаплин А. В. Изучение видового разнообразия бактерий рода *Bifidobacterium* кишечной микрофлоры с использованием метода MALDI-TOF масс-спектрометрии / А. В. Чаплин, А. Г. Бржозовский, Т. В. Парфёнова [и др.] // Вестник Российской академии медицинских наук. – 2015. – № 70(4). – С. 435–440.
6. Lugli G. A. Investigation of the evolutionary development of the genus *Bifidobacterium* by comparative genomics / G. A. Lugli, C. Milani, F. Turrone [et al.] // Applied and environmental microbiology. – 2014. – Vol. 80, No 20. – P. 6383–6394.
7. Forster S. C. A human gut bacterial genome and culture collection for improved metagenomic analyses / S. C. Forster, N. Kumar, B. O. Anonye [et al.] // Nat. Biotechnol. – 2019. – Vol. 37, No 2. – P. 186–192.
8. Бутенко Д. С. Влияние экзометаболитов *Bifidobacterium bifidum* на баланс про- и противовоспалительных цитокинов / Д. С. Бутенко // FORCIPE. – 2021. – № 4(S1). – С. 530–531.
9. Turrone F. *Bifidobacterium bifidum*: A Key Member of the Early Human Gut Microbiota / F. Turrone, S. Duranti, C. Milani [et al.] // Microorganisms. – 2019. – Vol. 7, No. 11. – P. 544.
10. Куклина Е. М. С. И-17-продуцирующие регуляторные т-лимфоциты – супрессоры или эффекторы? / Е. М. Куклина, Н. С. Глебездина // Ученые записки Казанского университета. Серия Естественные науки. – 2023. – № 165(3). – С. 393–410.
11. Lu J. Probiotics and Non-Alcoholic Fatty Liver Disease: Unveiling the Mechanisms of *Lactobacillus plantarum* and *Bifidobacterium bifidum* in Modulating Lipid Metabolism, Inflammation, and Intestinal Barrier Integrity / J. Lu, D. Shataer, H. Yan [et al.] // Foods (Basel, Switzerland). – 2024. – Vol. 13, No 18. – P. 2992.
12. Wong C. B. Beneficial effects of *Bifidobacterium longum* subsp. *longum* BB536 on human health: Modulation of gut microbiome as the principal action / C. B. Wong, T. Odumaki, J. Z. Xiao // J. Funct. Foods. – 2019. – No 54. – P. 506–519.
13. Blanco G. Revisiting the Metabolic Capabilities of *Bifidobacterium longum* subsp. *longum* and *Bifidobacterium longum* subsp. *infantis* from a Glycoside Hydrolase Perspective / G. Blanco, L. Ruiz, H. Tamés // Microorganisms. – 2020. – No 8. – P. 723.
14. Артюхова С. И. Изучение биотехнологических свойств штаммов *Bifidobacterium longum* для производства биологически активных добавок / С. И. Артюхова, О. А. Зверева // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. – 2014. – № 8-1. – С. 132–132.
15. Longhi G. Highly conserved bifidobacteria in the human gut: *Bifidobacterium longum* subsp. *longum* as a potential modulator of elderly innate immunity / G. Longhi, G. A. Lugli, M. G. Bianchi [et al.] // Beneficial Microbes. – 2024. – No 15. – P. 1–18.
16. Dargenio V. N. Impact of *Bifidobacterium longum* Subspecies *infantis* on Pediatric Gut Health and Nutrition: Current Evidence and Future Directions / V. N. Dargenio, F. Cristofori, V. F. Brindicci [et al.] // Nutrients. – 2024. – Vol. 16, No 20. – P. 3510.
17. Yu J. *Bifidobacterium longum* promotes postoperative liver function recovery in patients with hepatocellular carcinoma / J. Yu, P. Zhu, L. Shi // Cell. Host. Microbe. – 2024 – Vol. 32, No 1. – P. 131–144.
18. Громова О. А. Пробиотический штамм *Bifidobacterium Longum* BB36 – нутрицевтик широкого профиля / О. А. Громова, И. Ю. Торшин // Экспериментальная и клиническая гастроэнтерология. – 2022. – № 2(198). – С. 77–85.

19. Sharma M. Recent developments in probiotics: an emphasis on *Bifidobacterium* / M. Sharma, A. Wasan, R. K. Sharma // Food Biosci. – 2021. – No 41.
20. Kujawska M. Exploring the Potential Probiotic Properties of *Bifidobacterium breve* DSM 32583 – A Novel Strain Isolated from Human Milk / M. Kujawska, K. Neuhaus, C. Huptas [et al.] // Probiotics & Antimicro. Prot. – 2024.
21. Naklong K. Microencapsulation of *Bifidobacterium breve* to Enhance Microbial Cell Viability in Green Soybean Yogurt / K. Naklong, P. Therdtatha, N. Sumonsiri [et al.] // Fermentation. – 2023. – Vol. 9, No 3. – P. 296.
22. Bozzi Cionci N. Therapeutic Microbiology: The Role of *Bifidobacterium breve* as Food Supplement for the Prevention/Treatment of Paediatric Diseases / N. Bozzi Cionci, L. Baffoni, F. Gaggia [et al.] // Nutrients. – 2018. – Vol. 10, No 11. – P. 1723.
23. Wong C. B. Exploring the Science behind *Bifidobacterium breve* M-16V in Infant Health / C. B. Wong, N. Iwabuchi, J. Z. Xiao // Nutrients. – 2019. – Vol. 11, No 8. – P. 1724.
24. Leser T. *Bifidobacterium adolescentis* – a beneficial microbe / T. Leser, A. Baker // Beneficial microbes. – 2023. – Vol. 14, No 6. – P. 525–551.
25. Козин С. В. Антиоксидантный и анксиолитический эффекты *Bifidobacterium adolescentis* и *Lactobacillus acidophilus* в условиях нормобарической гипоксии с гиперкапнией / С. В. Козин, А. А. Кравцов, С. В. Кравченко [и др.] // Вопросы питания. – 2021. – № 90 (2 (534)). – С. 63–72.
26. Ших Е. В. Перспективы пробиотических штаммов бифидобактерий и энтерококков в лечении и профилактике заболеваний гастроэнтерологического профиля / Е. В. Ших, А. А. Махова, А. А. Астаповский [и др.] // Вопросы питания. – 2021. – № 90 (2 (534)). – С. 15–25.
27. Duranti S. *Bifidobacterium adolescentis* as a key member of the human gut microbiota in the production of GABA / S. Duranti, L. Ruiz, G. A. Lugli [et al.] // Sci. Rep. – 2020. – No 10. – P. 14112.
28. Li B. Genome analysis of *Bifidobacterium adolescentis* and investigation of its effects on inflammation and intestinal barrier function / B. Li, H. Wang, M. Wang [et al.] // Frontiers in microbiology. – 2025. – No 15. – P. 1496280.
29. van der Lelie D. Rationally designed bacterial consortia to treat chronic immune-mediated colitis and restore intestinal homeostasis / D. van der Lelie, A. Oka, S. Taghavi [et al.] // Nat. Commun. – 2021. – No 12. – P. 1–17.
30. Chen J. Recent Development of Probiotic *Bifidobacteria* for Treating Human Diseases / J. Chen, X. Chen, C. L. Ho // Front. Bioeng. Biotechnol. – 2021. – Vol. 22, No 9. – P. 770248.
31. Cheng J. *Bifidobacterium animalis* subsp. lactis HN019 Effects on Gut Health: A Review / J. Cheng, A. Laitila, A. C. Ouwehand // Front. Nutr. – 2021. – No 8. – P. 790561.
32. Arboleya S. Gut *Bifidobacteria* Populations in Human Health and Aging / S. Arboleya, C. Watkins, C. Stanton [et al.] // Frontiers in Microbiology. – 2016. – No 7.
33. Yoon S. J. *Bifidobacterium*-derived short-chain fatty acids and indole compounds attenuate nonalcoholic fatty liver disease by modulating gut-liver axis / S. J. Yoon, J. S. Yu, B. H. Min [et al.] // Frontiers in microbiology. – 2023. – No 14. – P. 1129904.
34. Markowiak-Kopeć P. The Effect of Probiotics on the Production of Short-Chain Fatty Acids by Human Intestinal Microbiome / P. Markowiak-Kopeć, K. Śliżewska // Nutrients. – 2020. – Vol. 12, No 4. – P. 1107.
35. Ordoñez-Rodríguez A. Changes in Gut Microbiota and Multiple Sclerosis: A Systematic Review / A. Ordoñez-Rodríguez, P. Roman, L. Rueda-Ruzafa [et al.] // International journal of environmental research and public health. – 2023. – Vol. 20, No 5. – P. 4624.
36. Cui Z. *Bifidobacterium* species serve as key gut microbiome regulators after intervention in gestational diabetes mellitus / Z. Cui, S. Wang, J. Niu [et al.] // BMC Microbiol. – 2024. – No 24. – P. 520.
37. Fusco W. Short-Chain Fatty-Acid-Producing Bacteria: Key Components of the Human Gut Microbiota / W. Fusco, M. B. Lorenzo, M. Cintoni [et al.] // Nutrients. – 2023. – Vol. 15, No 9. – P. 2211.
38. Ratajczak W. Immunomodulatory potential of gut microbiome-derived short-chain fatty acids (SCFAs) / W. Ratajczak, A. Rył, A. Mizerski [et al.] // Acta biochimica Polonica. – 2019. – Vol. 66, No 1. – P. 1–12.
39. Shaw C. The Yin and Yang of pathogens and probiotics: interplay between *Salmonella enterica* sv. Typhimurium and *Bifidobacterium infantis* during co-infection / C. Shaw, B. C. Weimer, R. Gann [et al.] // Frontiers in microbiology. – 2024. – No 15. – P. 1387498.

40. Fukuda S. Bifidobacteria can protect from enteropathogenic infection through production of acetate / S. Fukuda, H. Toh, K. Hase [et al.] // *Nature*. – 2011. – Vol. 469, No 7331. – P. 543–547.
41. O'Callaghan A. Bifidobacteria and Their Role as Members of the Human Gut Microbiota / A. O'Callaghan, D. van Sinderen // *Frontiers in microbiology*. – 2016. – No 7. – P. 925.
42. Rahila Y. *Bifidobacterium* sp as Probiotic Agent – Roles and Applications / Y. Rahila, B. V. Pradeep // *J. Pure. Appl. Microbiol.* – 2019. – Vol. 13, No 3. – P. 1407–1417.
43. Devi T. B. Low Bifidobacterium Abundance in the Lower Gut Microbiota Is Associated with *Helicobacter pylori*-Related Gastric Ulcer and Gastric Cancer / T. B. Devi, K. Devadas, M. George [et al.] // *Frontiers in microbiology*. – 2021. – No 12. – P. 631140.
44. Chenoll E. Novel probiotic *Bifidobacterium bifidum* CECT 7366 strain active against the pathogenic bacterium *Helicobacter pylori* / E. Chenoll, B. Casinos, E. Bataller [et al.] // *Applied and environmental microbiology*. – 2011. – Vol. 77, No 4. – P. 1335–1343.
45. Bernini L. J. Beneficial effects of *Bifidobacterium lactis* on lipid profile and cytokines in patients with metabolic syndrome: A randomized trial. Effects of probiotics on metabolic syndrome / L. J. Bernini, A. N. Simão, D. F. Alfieri [et al.] // *Nutrition (Burbank, Los Angeles County, Calif.)*. – 2016. – Vol. 32, No 6. – P. 716–719.
46. Tang J. The therapeutic value of bifidobacteria in cardiovascular disease / J. Tang, Y. Wei, C. Pi [et al.] // *NPJ Biofilms Microbiomes*. – 2023. – No 9. – P. 82.
47. Maruta H. Effects of Bifidobacterium-Fermented Milk on Obesity: Improved Lipid Metabolism through Suppression of Lipogenesis and Enhanced Muscle Metabolism / H. Maruta, Y. Fujii, N. Toyokawa [et al.] // *International Journal of Molecular Sciences*. – 2024. – Vol. 25, No 18. – P. 9934.
48. León Aguilera X. E. Probiotics and Gut Microbiota in Obesity: Myths and Realities of a New Health Revolution / X. E. León Aguilera, A. Manzano, D. Pirela [et al.] // *Journal of personalized medicine*. – 2022. – Vol. 12, No 8. – P. 1282.
49. Procaccianti G. Bifidobacterium in anticancer immunochemotherapy: friend or foe? / G. Procaccianti, S. Roggiani, G. Conti [et al.] // *Microbiome research reports*. – 2023. – Vol. 2, No 3. – P. 24.
50. Pei B. Bifidobacterium modulation of tumor immunotherapy and its mechanism / B. Pei, S. Peng, C. Huang [et al.] // *Cancer immunology, immunotherapy*. – 2024. – Vol. 73, No 5. – P. 94.
51. Shang F. *Bifidobacterium longum* suppresses colorectal cancer through the modulation of intestinal microbes and immune function / F. Shang, X. Jiang, H. Wang [et al.] // *Frontiers in microbiology*. – 2024. – No 15. – P. 1327464.
52. Ugai S. Long-term yogurt intake and colorectal cancer incidence subclassified by *Bifidobacterium* abundance in tumor / S. Ugai, L. Liu, K. Kosumi [et al.] // *Gut Microbes*. – 2025. – Vol. 17, No 1. – P. 2452237.
53. Azuma N. Effect of Continuous Ingestion of Bifidobacteria and Dietary Fiber on Improvement in Cognitive Function: A Randomized, Double-Blind, Placebo-Controlled Trial / N. Azuma, T. Mawatari, Y. Saito [et al.] // *Nutrients*. – 2023. – Vol. 15, No 19. – P. 4175.
54. Zhu G. Administration of *Bifidobacterium breve* Improves the Brain Function of Aβ1-42-Treated Mice via the Modulation of the Gut Microbiome / G. Zhu, J. Zhao, H. Zhang [et al.] // *Nutrients*. – 2021. – Vol. 13, No 5. – P. 1602.
55. Wang H. *Bifidobacterium longum* 1714™ Strain Modulates Brain Activity of Healthy Volunteers During Social Stress / H. Wang, C. Braun, E. F. Murphy [et al.] // *The American journal of gastroenterology*. – 2019. – Vol. 114, No 7. – P. 1152–1162.
56. Patterson E. *Bifidobacterium longum* 1714 improves sleep quality and aspects of well-being in healthy adults: a randomized, double-blind, placebo-controlled clinical trial / E. Patterson, H. T. T. Tan, D. Groeger [et al.] // *Sci. Rep.* – 2024. – No 14. – P. 3725.
57. Huda M. N. Bifidobacterium Abundance in Early Infancy and Vaccine Response at 2 Years of Age / M. N. Huda, S. M. Ahmad, M. J. Alam [et al.] // *Pediatrics*. – 2019. – Vol. 143, No 2. – P. 1489.
58. Abdelhamid M. Probiotic Bifidobacterium breve MCC1274 Mitigates Alzheimer's Disease-Related Pathologies in Wild-Type Mice / M. Abdelhamid, C. Zhou, C. G. Jung [et al.] // *Nutrients*. – 2022. – Vol. 14, No 12. – P. 2543.
59. Sibanda T. Bifidobacterium species viability in dairy-based probiotic foods: challenges and innovative approaches for accurate viability determination and monitoring of probiotic functionality / T. Sibanda, T. A. Marole, U. L. Thomashoff [et al.] // *Front. Microbiol.* – 2024. – No 15. – P. 1327010.

60. Ku S. The role of Bifidobacterium in longevity and the future of probiotics / S. Ku, M. A. Haque, M. J. Jang [et al.] // Food science and biotechnology. – 2024. – Vol. 33, No 9. – P. 2097–2110.

BIFIDOBACTERIA: MECHANISM OF ACTION, CLASSIFICATION, BIOMEDICAL SIGNIFICANCE AND RESEARCH PROSPECTS

Sorokin O. V.¹, Zaporozhchenko A. A.², Subotyalov M. A.^{2,3}

¹LLC «Bioquant», Novosibirsk, Russia

²Novosibirsk State Pedagogical University, Novosibirsk, Russia

³Novosibirsk State University, Novosibirsk, Russia

E-mail: subotyalov@yandex.ru

This article provides an extensive review of current research on bifidobacteria, a gram-positive genus, anaerobic bacteria that play a fundamental role in maintaining human health. The paper explores the morphology, classification, and functional characteristics of bifidobacteria, focusing on four key species: *Bifidobacterium bifidum*, *B. longum*, *B. breve*, and *B. adolescentis*. These bacteria are essential components of the human gut microbiota, contributing significantly to various physiological processes, including digestion, immune regulation, and metabolic homeostasis.

The study highlights the diverse probiotic properties of bifidobacteria, emphasizing their ability to strengthen the intestinal barrier, regulate inflammatory responses, and protect against pathogenic microorganisms. The article also discusses their role in synthesizing essential vitamins and producing short-chain fatty acids (SCFAs), which support gut health and systemic metabolic functions. Special attention is given to their immunomodulatory effects, including cytokine stimulation and T-cell modulation, which have implications for treating inflammatory and autoimmune diseases.

Recent advancements in molecular biology and next-generation sequencing techniques have significantly improved the identification and classification of bifidobacteria, enabling a deeper understanding of their genetic diversity and functional potential. The article reviews the latest developments in probiotic formulations, focusing on strain-specific properties, bacterial viability, and colonization efficiency. Additionally, the therapeutic applications of bifidobacteria in gastrointestinal disorders, metabolic syndromes, and neurodegenerative diseases are examined, along with emerging evidence of their role in the gut-brain axis and mental health.

Furthermore, the paper explores the potential of bifidobacteria-based interventions in oncology, where engineered strains have been investigated for their role in enhancing immunotherapy and targeting tumor cells in hypoxic environments. Their applications in cardiovascular health, obesity management, and vaccine response optimization are also discussed. The study underscores the need for personalized probiotic approaches tailored to individual microbiome compositions to maximize health benefits.

Future research directions include expanding clinical trials to validate the medical applications of bifidobacteria, optimizing probiotic formulations for enhanced stability and bioactivity, and further investigating their interactions within the gut ecosystem. As

microbiome research continues to evolve, bifidobacteria remain at the forefront of probiotic science, offering promising solutions for improving human health and preventing chronic diseases.

Keywords: Bifidobacteria, microbiome, probiotics, *Bifidobacterium bifidum*, *Bifidobacterium longum*, *Bifidobacterium breve*, *Bifidobacterium adolescentis*, intestinal microflora.

References

1. Novik G. I. Bifidobacteria: scientific bases of practical use, *Health and Ecology Issues*, **3(9)**, 144 (2006).
2. Sharma V., Mobeen F., Prakash T. Exploration of survival traits, probiotic determinants, host interactions, and functional evolution of bifidobacterial genomes using comparative genomics, *Genes*, **9(10)**, 477 (2018).
3. Itoh K., Matsueda S. Exploring the Potential of Humoral Immune Response to Commensal *Bifidobacterium* as a Biomarker for Human Health, including Both Malignant and Non-Malignant Diseases: A Perspective on Detection Strategies and Future Directions, *Biomedicines*, **12(4)**, 803 (2004).
4. Hidalgo-Cantabrana C., Delgado S., Ruiz L., Ruas-Madiedo P., Sánchez B., Margolles A. Bifidobacteria and their health-promoting effects, *Microbiology Spectrum*, **5(3)**, 1 (2017).
5. Chaplin A. V., Brzhozovskii A. G., Parfenova T. V., Kafarskaia L. I., Volodin N. N., Shkorporov A. N., Ilna E. N., Efimov B. A. Species diversity of *Bifidobacteria* in the intestinal microbiota studied using MALDI-TOF mass-spectrometry, *Annals of the Russian Academy of Medical Sciences*, **70(4)**, 435 (2015).
6. Lugli G. A., Milani C., Turrone F., Duranti S., Ferrario C., Viappiani A., Mancabelli L., Mangifesta M., Taminiau B., Delcenserie V., van Sinderen D., Ventura M. Investigation of the evolutionary development of the genus *Bifidobacterium* by comparative genomics, *Applied and environmental microbiology*, **80(20)**, 6383 (2014).
7. Forster S. C., Kumar N., Anonye B. O., Almeida A., Viciani E., Stares M. D., Dunn M., Mkandawire T. T., Zhu A., Shao Y., Pike L.J., Louie T., Browne H. P., Mitchell A. L., Neville B. A., Finn R. D., Lawley T. D. A human gut bacterial genome and culture collection for improved metagenomic analyses, *Nat. Biotechnol.*, **37(2)**, 186 (2019).
8. Butenko D.S. The influence of Bifidobacterium bifidum exometabolites on the balance of pro- and anti-inflammatory cytokines, *FORCIPE*, **4(S1)**, 530 (2021).
9. Turrone F., Duranti S., Milani C., Lugli G. A., van Sinderen D., Ventura M. *Bifidobacterium bifidum*: A Key Member of the Early Human Gut Microbiota, *Microorganisms*, **7(11)**, 544 (2019).
10. Kuklina E. M., Glebezdina N. S. IL-17-Producing Regulatory T lymphocytes – Suppressors or Effectors? *Uchenye Zapiski Kazanskogo Universiteta. Seriya Estestvennye Nauki*, **165(3)**, 393 (2023).
11. Lu J., Shataer D., Yan H., Dong X., Zhang M., Qin Y., Cui J., Wang L. Probiotics and Non-Alcoholic Fatty Liver Disease: Unveiling the Mechanisms of *Lactobacillus plantarum* and *Bifidobacterium bifidum* in Modulating Lipid Metabolism, Inflammation, and Intestinal Barrier Integrity, *Foods (Basel, Switzerland)*, **13(18)**, 2992 (2024).
12. Wong C. B., Odamaki T., Xiao J. Z. Beneficial effects of *Bifidobacterium longum* subsp. *longum* BB536 on human health: Modulation of gut microbiome as the principal action, *J. Funct. Foods*, **54**, 506 (2019).
13. Blanco G., Ruiz L., Tamés H., Ruas-Madiedo P., Fdez-Riverola F., Sánchez B., Lourenco A., Margolles A. Revisiting the Metabolic Capabilities of *Bifidobacterium longum* subsp. *longum* and *Bifidobacterium longum* subsp. *infantis* from a Glycoside Hydrolase Perspective, *Microorganisms*, **8**, 723 (2020).
14. Artyukhova S. I., Zvereva O. A. Study of biotechnological properties of *Bifidobacterium longum* strains for the production of biologically active additives, *International Journal of Applied and Fundamental Research*, **8-1**, 132 (2014).
15. Longhi G., Lugli G. A., Bianchi M. G., Rizzo S. M., Tarracchini C., Mancabelli L., Vergna L. M., Alessandri G., Fontana F., Taurino G., Chiu M., Milani C., van Sinderen D., Bussolati O., Ventura M., Turrone F. Highly conserved bifidobacteria in the human gut: *Bifidobacterium longum* subsp. *longum* as a potential modulator of elderly innate immunity, *Beneficial Microbes*, **15**, 1 (2024).

16. Dargenio V. N., Cristofori F., Brindicci V. F., Schettini F., Dargenio C., Castellaneta S. P., Iannone A., Francavilla R. Impact of *Bifidobacterium longum* Subspecies infantis on Pediatric Gut Health and Nutrition: Current Evidence and Future Directions, *Nutrients*, **16**(20), 3510 (2024).
17. Yu J., Zhu P., Shi L., Gao N., Li Y., Shu C., Xu Y., Yu Y., He J., Guo D., Zhang X., Wang X., Shao S., Dong W., Wang Y., Zhang W., Zhang W., Chen W.H., Chen X., Liu Z., Yang X., Zhang B. *Bifidobacterium longum* promotes postoperative liver function recovery in patients with hepatocellular carcinoma, *Cell. Host. Microbe*, **32**(1), 131 (2024).
18. Gromova O. A., Torshin I. Yu. Probiotic strain *Bifidobacterium longum* BB536 – a nutraceutical of a wide profile, *Experimental and clinical gastroenterology journal*, **2**(198), 77 (2022).
19. Sharma M., Wasan A., Sharma R. K. Recent developments in probiotics: an emphasis on *Bifidobacterium*, *Food Biosci.*, **41**(1), (2021).
20. Kujawska M., Neuhaus K., Huptas C., Jiménez E., Arbolea S., Schauback M., Hall L. J. Exploring the Potential Probiotic Properties of *Bifidobacterium breve* DSM 32583 – A Novel Strain Isolated from Human Milk, *Probiotics & Antimicro. Prot.* (2024).
21. Naklong K., Therdthatha P., Sumonsiri N., Leksawasdi N., Techapun C., Rachtanapun P., Taesuwan S., Nunta R., Khemacheewakul J. Microencapsulation of *Bifidobacterium breve* to Enhance Microbial Cell Viability in Green Soybean Yogurt, *Fermentation*, **9**(3), 296 (2023).
22. Bozzi Cionci N., Baffoni L., Gaggia F., Di Gioia D. Therapeutic Microbiology: The Role of *Bifidobacterium breve* as Food Supplement for the Prevention/Treatment of Paediatric Diseases, *Nutrients*, **10**(11), 1723 (2018).
23. Wong C. B., Iwabuchi N., Xiao J. Z. Exploring the Science behind *Bifidobacterium breve* M-16V in Infant Health, *Nutrients*, **11**(8), 1724 (2019).
24. Leser T., Baker A. *Bifidobacterium adolescentis* – a beneficial microbe, *Beneficial microbes*, **14**(6), 525 (2023).
25. Kozin S. V., Kravtsov A. A., Kravchenko S. V., Ivashchenko L. I. Antioxidant and anxiolytic effect of *Bifidobacterium Adolescentis* and *Lactobacillus Acidophilus* under conditions of normobaric hypoxia with hypercapnia, *Problems of Nutrition*, **90**(2(534)), 63 (2021).
26. Shikh E. V., Makhova A. A., Astapovskiy A. A., Perkov A. V. Prospects of probiotic strains of bifidobacteria and enterococcus in treatment and prevention of diseases in gastroenterology. *Problems of Nutrition*, **90**(2(534)), 15 (2021).
27. Duranti S., Ruiz L., Lugli G. A., Tames H., Milani C., Mancabelli L., Mancino W., Longhi G., Carnevali L., Sgoifo A., Margolles A., Ventura M., Ruas-Madiedo P., Turrone F. *Bifidobacterium adolescentis* as a key member of the human gut microbiota in the production of GABA, *Sci. Rep.*, **10**, 14112 (2020).
28. Li B., Wang H., Wang M., Liang H., Hu T., Yang J., Li S., You X., Xia B., Yuan Y., Zou Y., Miao Y., Sun Y. Genome analysis of *Bifidobacterium adolescentis* and investigation of its effects on inflammation and intestinal barrier function, *Frontiers in microbiology*, **15**, 1496280 (2025).
29. van der Lelie D., Oka A., Taghavi S., Umeno J., Fan T. J., Merrell K. E., Watson S. D., Ouellette L., Liu B., Awoniyi M., Lai Y., Chi L., Lu K., Henry C.S., Sartor R. B. Rationally designed bacterial consortia to treat chronic immune-mediated colitis and restore intestinal homeostasis, *Nat. Commun.*, **12**, 1 (2021).
30. Chen J., Chen X., Ho C. L. Recent Development of Probiotic *Bifidobacteria* for Treating Human Diseases, *Front. Bioeng. Biotechnol.*, **22**(9), 770248 (2021).
31. Cheng J., Laitila A., Ouwehand A. C. *Bifidobacterium animalis* subsp. lactis HN019 Effects on Gut Health: A Review, *Front. Nutr.*, **8**, 790561 (2021).
32. Arbolea S., Watkins C., Stanton C., Ross R. Gut *Bifidobacteria* Populations in Human Health and Aging, *Frontiers in Microbiology*, **7**, 1204 (2016).
33. Yoon S. J., Yu J. S., Min B. H., Gupta H., Won S. M., Park H. J., Han S. H., Kim B. Y., Kim K. H., Kim B. K., Joung H. C., Park T. S., Ham Y. L., Lee D. Y., Suk K. T. *Bifidobacterium*-derived short-chain fatty acids and indole compounds attenuate nonalcoholic fatty liver disease by modulating gut-liver axis, *Frontiers in microbiology*, **14**, 1129904 (2023).
34. Markowiak-Kopeć P., Śliżewska K. The Effect of Probiotics on the Production of Short-Chain Fatty Acids by Human Intestinal Microbiome, *Nutrients*, **12**(4), 1107 (2020).

35. Ordoñez-Rodríguez A., Roman P., Rueda-Ruzafa L., Campos-Rios A., Cardona D. Changes in Gut Microbiota and Multiple Sclerosis: A Systematic Review, *International journal of environmental research and public health*, **20**(5), 4624 (2023).
36. Cui Z., Wang S., Niu J., Ma J., Yang H. *Bifidobacterium* species serve as key gut microbiome regulators after intervention in gestational diabetes mellitus, *BMC Microbiol*, **24**, 520 (2024).
37. Fusco W., Lorenzo M. B., Cintoni M., Porcari S., Rinninella E., Kaitsas F., Lener E., Mele M. C., Gasbarrini A., Collado M. C., Cammarota G., Ianaro G. Short-Chain Fatty-Acid-Producing Bacteria: Key Components of the Human Gut Microbiota, *Nutrients*, **15**(9), 2211 (2023).
38. Ratajczak W., Rył A., Mizerski A., Walczakiewicz K., Sipak O., Laszczyńska M. Immunomodulatory potential of gut microbiome-derived short-chain fatty acids (SCFAs), *Acta biochimica Polonica*, **66**(1), 1 (2019).
39. Shaw C., Weimer B. C., Gann R., Desai P. T., Shah J. D. The Yin and Yang of pathogens and probiotics: interplay between *Salmonella enterica* sv. Typhimurium and *Bifidobacterium infantis* during co-infection, *Frontiers in microbiology*, **15**, 1387498 (2024).
40. Fukuda S., Toh H., Hase K., Oshima K., Nakanishi Y., Yoshimura K., Tobe T., Clarke J. M., Topping D. L., Suzuki T., Taylor T. D., Itoh K., Kikuchi J., Morita H., Hattori M., Ohno H. Bifidobacteria can protect from enteropathogenic infection through production of acetate, *Nature*, **469**(7331), 543 (2011).
41. O'Callaghan A., van Sinderen D. Bifidobacteria and Their Role as Members of the Human Gut Microbiota, *Frontiers in microbiology*, **7**, 925 (2016).
42. Rahila Y., Pradeep B. V. *Bifidobacterium* sp as Probiotic Agent – Roles and Applications, *J Pure Appl Microbiol*, **13**(3), 1407 (2019).
43. Devi T. B., Devadas K., George M., Gandhimathi A., Chouhan D., Retnakumar R. J., Alexander S. M., Varghese J., Dharmaseelan S., Chandrika S. K., Jissa V. T., Das B., Nair G. B., Chattopadhyay S. Low Bifidobacterium abundance in the lower gut microbiota is associated with helicobacter pylori-related gastric ulcer and gastric cancer, *Frontiers in microbiology*, **12**, 631140 (2021).
44. Chenoll E., Casinos B., Bataller E., Astals P., Echevarría J., Iglesias J. R., Balbarie P., Ramón D., Genovés S. Novel probiotic *Bifidobacterium bifidum* CECT 7366 strain active against the pathogenic bacterium *Helicobacter pylori*, *Applied and environmental microbiology*, **77** (4), 1335 (2021).
45. Bernini L. J., Simão A. N., Alfieri D. F., Lozovoy M. A., Mari N. L., de Souza C. H., Dichi I., Costa G. N. Beneficial effects of *Bifidobacterium lactis* on lipid profile and cytokines in patients with metabolic syndrome: A randomized trial. Effects of probiotics on metabolic syndrome, *Nutrition (Burbank, Los Angeles County, Calif.)*, **32**(6), 716 (2016).
46. Tang J., Wei Y., Pi C., Zheng W., Zuo Y., Shi P., Chen J., Xiong L., Chen T., Liu H., Zhao Q., Yin S., Ren W., Cao P., Zeng N., Zhao L. The therapeutic value of bifidobacteria in cardiovascular disease, *NPJ Biofilms Microbiomes*, **9**, 82 (2023).
47. Maruta H., Fujii Y., Toyokawa N., Nakamura S., Yamashita H. Effects of Bifidobacterium-Fermented Milk on Obesity: Improved Lipid Metabolism through Suppression of Lipogenesis and Enhanced Muscle Metabolism, *International Journal of Molecular Sciences*, **25**(18), 9934 (2024).
48. León Aguilera X. E., Manzano A., Pirela D., Bermúdez V. Probiotics and Gut Microbiota in Obesity: Myths and Realities of a New Health Revolution, *Journal of personalized medicine*, **12**(8), 1282 (2022).
49. Procaccianti G., Roggiani S., Conti G., Brigidi P., Turroni S., D'Amico F. Bifidobacterium in anticancer immunochemotherapy: friend or foe? *Microbiome research reports*, **2**(3), 24 (2023).
50. Pei B., Peng S., Huang C., Zhou F. Bifidobacterium modulation of tumor immunotherapy and its mechanism, *Cancer immunology, immunotherapy*, **73**(5), 94 (2024).
51. Shang F., Jiang X., Wang H., Guo S., Kang S., Xu B., Wang X., Chen S., Li N., Liu B., Zhao Z. *Bifidobacterium longum* suppresses colorectal cancer through the modulation of intestinal microbes and immune function, *Frontiers in microbiology*, **15**, 1327464 (2024).
52. Ugai S., Liu L., Kosumi K., Kawamura H., Hamada T., Mima K., Okadome K., Yao Q., Matsuda K., Zhong Y., Mizuno H., Chan A.T., Garrett W. S., Song M., Giannakis M., Giovannucci E. L., Zhang X., Ogino S., Ugai T. Long-term yogurt intake and colorectal cancer incidence subclassified by *Bifidobacterium* abundance in tumor, *Gut Microbes*, **17**(1), 2452237 (2025).

53. Azuma N., Mawatari T., Saito Y., Tsukamoto M., Sampei M., Iwama Y. Effect of Continuous Ingestion of Bifidobacteria and Dietary Fiber on Improvement in Cognitive Function: A Randomized, Double-Blind, Placebo-Controlled Trial, *Nutrients*, **15**(19), 4175 (2023).
54. Zhu G., Zhao J., Zhang H., Chen W., Wang G. Administration of *Bifidobacterium breve* Improves the Brain Function of A β 1-42-Treated Mice via the Modulation of the Gut Microbiome, *Nutrients*, **13**(5), 1602 (2021).
55. Wang H., Braun C., Murphy E. F., Enck P. *Bifidobacterium longum* 1714TM Strain Modulates Brain Activity of Healthy Volunteers During Social Stress, *The American journal of gastroenterology*, **114**(7), 1152 (2019).
56. Patterson E., Tan H. T. T., Groeger D., Andrews M., Buckley M., Murphy E. F., Groeger J. A. *Bifidobacterium longum* 1714 improves sleep quality and aspects of well-being in healthy adults: a randomized, double-blind, placebo-controlled clinical trial, *Sci. Rep.*, **14**, 3725 (2024).
57. Huda M. N., Ahmad S. M., Alam M. J., Khanam A., Kalanetra K. M., Taft D. H., Raqib R., Underwood M. A., Mills D. A., Stephensen C. B. Bifidobacterium Abundance in Early Infancy and Vaccine Response at 2 Years of Age, *Pediatrics*, **143**(2), 1489 (2019).
58. Abdelhamid M., Zhou C., Jung C. G., Michikawa M. Probiotic Bifidobacterium breve MCC1274 Mitigates Alzheimer's Disease-Related Pathologies in Wild-Type Mice, *Nutrients*, **14**(12), 2543 (2022).
59. Sibanda T., Marole T. A., Thomashoff U. L., Thantsha M. S., Buys E. M. Bifidobacterium species viability in dairy-based probiotic foods: challenges and innovative approaches for accurate viability determination and monitoring of probiotic functionality, *Front. Microbiol.*, **15**, 1327010 (2024).
60. Ku S., Haque M. A., Jang M. J., Ahn J., Choe D., Jeon J. I., Park M. S. The role of Bifidobacterium in longevity and the future of probiotics, *Food science and biotechnology*, **33**(9), 2097 (2024).

УДК 615.32

DOI 10.29039/2413-1725-2025-11-2-224-236

БИОЛОГИЧЕСКАЯ АКТИВНОСТЬ И ТЕРАПЕВТИЧЕСКИЙ ПОТЕНЦИАЛ МЕТАБИОТИКОВ

Сорокин О. В.¹, Зинатулин С. Н.¹, Козлова А. П.², Суботьялов М. А.^{2,3}

¹ООО «ВедаГенетика», Новосибирск, Россия

²ФГБОУ ВО «Новосибирский государственный педагогический университет», Новосибирск, Россия

³ФГАОУ ВО «Новосибирский национальный исследовательский государственный университет», Новосибирск, Россия

E-mail: subotyalov@yandex.ru

Человеческий организм тесно связан с микрофлорой посредством низкомолекулярных соединений. Для поддержания и восстановления микроэкологии человеческого организма следует использовать не только живые бактерии, но и продукты бактериального лизиса и продукты их метаболизма – метабитики, которые можно разделить на активные метаболиты, структурные компоненты, нейромодуляторы, вещества, обладающие антибактериальной активностью, и антиоксиданты. Метабитики выступают в роли энергетического субстрата для нормофлоры кишечника и энтероцитов; сигнальными молекулами для энтероцитов и лимфоидно-ассоциированной иммунной системы стенки кишечника, «тренажерами иммунитета», угнетают развитие патогенной микробиоты и дрожжевой флоры. Это дает основание рассматривать метабитики в качестве перспективной группы препаратов для коррекции дисбиотических и системных метаболических нарушений.

Ключевые слова: метабитики, бактериальные лизаты, ультрализаты, фитоэкстракты, экстракты лекарственных растений, микрофлора, микробиота.

ВВЕДЕНИЕ

Организм человека находится в симбиотических отношениях с микрофлорой кишечника. Это взаимодействие обусловлено действием низкомолекулярных соединений. Предположительно, число таких соединений, продуцируемых микроорганизмами и обладающих биологической активностью, воздействуя на метаболит человека, составляет более 40 000 [1].

Низкомолекулярные соединения микробного происхождения могут оказывать влияние на различные клетки, активируя их, ингибируя или проявляя индифферентность. Данные соединения продуцируют симбиотические микроорганизмы кишечника. Динамическое перекрестное взаимодействие между хозяином и его микробиотой важно для достижения и поддержания гомеостаза [2].

Недавно появились исследования двунаправленного взаимодействия между мозгом и микробиомом кишечника («ось кишечник–мозг»). Данная ось представляет собой сложную коммуникационную сеть, опосредованную центральной нервной системой, энтеральной нервной системой и различными

популяциями микробов, населяющих микробиом кишечника. Коммуникация поддерживается через блуждающий нерв, а также иммунную систему, метаболизм триптофана и микробные метаболиты, такие как короткоцепочечные жирные кислоты, разветвленные аминокислоты и пептидогликаны [3].

Дисбиоз может приводить к развитию окислительного стресса, что может способствовать развитию атеросклероза. На сегодняшний день известно несколько родов, наиболее распространенных в кишечной микробиоте пациентов с сердечно-сосудистыми патологиями, например, бактериальные типы *Proteobacteria* и *Fusobacteria* или роды *Gardnerella* (*G. vaginalis*), *Acidaminococcus* (*A. fermentans*), *Pseudomonas* (*P. aeruginosa*), *Necropsobacter* (*N. massiliensis*), *Prevotella* (*P. copri*), *Veillonella*, *Streptococcus*, *Desulfovibrio*, *Moraxella* и *Actinomyces* [4, 5].

Кроме этого показано, что дисбиоз может приводить к развитию различных заболеваний и метаболическим нарушениям. Можно заключить, что многие соматические болезни являются результатом дисбиозов [6].

В последнее время возникла идея о том, что для поддержания и восстановления микробиома можно применять как живые бактерии – пробиотики, так и отфильтрованные продукты их метаболизма и/или их структурные компоненты. Эти низкомолекулярные микробные компоненты, сохраняющие не меньшую лечебно-профилактическую эффективность, чем сами бактерии-пробиотики, получили название метабиотиков [7].

МЕТАБИОТИКИ, ИЛИ БАКТЕРИАЛЬНЫЕ ЛИЗАТЫ

Ферментативные лизаты бактерий – это особый специфический класс метабиотиков, получаемых разными способами ферментативного лизиса бактерий, содержащие обширный спектр продуктов метаболизма и структурные компоненты микроорганизмов [6].

Бактериальные лизаты являются хорошим питательным субстратом как для кишечных бактерий, так и для микробиоты других компартментов организма (слизистая бронхолегочной системы, мочевыводящих путей, кожи и т.д.). Мелкие белковые фракции легко поглощаются полезными бактериями и способствуют их росту.

По функциональным особенностям метабиотики подразделяют на 5 групп.

1. Активные метаболиты

Короткоцепочечные жирные кислоты (КЦЖК) – это основные продукты микробной ферментации жиров и углеводов; представляют собой молекулы, которые состоят из двух-шести атомов углерода в одной цепи, заканчивающейся карбоксильной группой. Они оказывают множественные полезные эффекты на энергетический метаболизм млекопитающих. Механизмы, лежащие в основе этих эффектов, являются предметом интенсивных исследований и охватывают сложное взаимодействие между диетой, кишечной микробиотой и энергетическим метаболизмом хозяина [8].

Наиболее распространенными КЦЖК в кишечнике человека являются уксусная (CH_3COOH , ацетат), масляная ($\text{C}_3\text{H}_7\text{COOH}$, бутират) и пропионовая ($\text{CH}_3\text{CH}_2\text{COOH}$,

пропионат) кислоты [8], на которые приходится более 90 % содержания КЦЖК в человеческих фекалиях и которые обнаруживаются в соотношении 3:1:1 соответственно [9]. Они присутствуют в многочисленных пищевых источниках, но наиболее известны тем, что ферментируются кишечной микробиотой в присутствии неперевариваемых пребиотических волокон [10].

Уксусная кислота является наиболее распространенной КЦЖК в кишечнике человека, состоит из 2 атомов углерода. Она вырабатывается широким спектром кишечных микроорганизмов и достигает относительно высоких концентраций в крови (130–200 мкМ) [11]. Около 2/3 кишечного ацетата образуется в результате ферментации пребиотических волокон (с использованием пирувата, а затем ацетил-КоА в качестве более ранних предшественников) в толстой кишке, а 1/3 – в результате бактериального ацетогенеза (образование ацетата из муравьиной кислоты или диоксида углерода и водорода) [12]. Уксусная кислота оказывает антигипоксическое влияние на слизистую оболочку кишечника, повышая усвоение кислорода, вместе с молочной кислотой регулирует уровень pH, тем самым увеличивая колонизационную резистентность, стимулирует моторную и секреторную активность кишечника, оказывает послабляющее действие [13].

Пропионовая кислота обуславливает колонизационную резистентность за счет блокады адгезии патогенных и условно-патогенных микроорганизмов. Данная кислота является субстратом в процессе глюконеогенеза и синтеза биогенных аминов.

Бутират является крупнейшей из трех больших КЦЖК, обнаруженных в организме человека, и состоит из 4 атомов углерода. Она в основном вырабатывается в кишечнике такими родами, как *Eubacterium*, *Roseburia*, *Anaerostipes*, *Coprococcus*, *Faecalibacterium* и *Subdoligranulum* [14].

Масляная кислота, образующаяся в результате ферментации крахмала с высоким содержанием амилозы, понижает общий окислительный стресс в кишечнике, а также может активировать различные ферменты, метаболизирующие прокарциноген, чтобы помочь в профилактике рака толстой кишки [15].

Данная кислота участвует в регуляции экспрессии генов посредством ингибирования гистоновых деацетилаз, преодолевает гематоэнцефалический барьер и регулирует его целостность [8], также активирует передачу сигналов глюкозы в оси кишечник–мозг, что, в конечном итоге, влияет на ожирение и массу тела [16].

Еще одним продуктом метаболизма пробиотических микроорганизмов являются *полисахариды*, потенцирующие рост бифидо- и лактобактерий. Полисахариды подавляют условно-патогенную микрофлору, обладают иммуномодулирующим действием, а также принимают участие в энергетическом обмене [17].

Важное значение для организма имеют *витамины группы В*. Витамины В1 и В6, являющиеся коферментами, принимают участие в метаболических процессах организма, необходимы для нормального роста и развития кишечной микрофлоры [18]. Дефицит витаминов группы В, таких как В1 (тиамин), В2 (рибофлавин), В3 (ниацин), В5 (пантотенат), В6 (пиридоксин), В7 (биотин), В9 (фолат) и В12 (кобаламин), является риском развития сердечно-сосудистых заболеваний,

остеопороза и невропатии [19]. Таксоны *Bacteroidota*, *Fusobacteria* и *Pseudomonadota* являются основными производителями этих витаминов, выполняя роль в поддержании кишечного гомеостаза хозяина. Подсчитано, что микробиота кишечника может обеспечивать до 30–80 % рекомендуемой суточной дозы пиридоксина, фолата и кобаламина [20, 21].

2. Структурные компоненты мембран

Зачастую бактериальные лизаты называют «тренажерами иммунитета». Первые работы, посвященные изучению иммунологических свойств бактериальных лизатов, появились в 1950-х гг. [22, 23]. В 1970–1980-е гг. была доказана эффективность бактериальных лизатов для профилактики и коррекции респираторных инфекций [24].

Понимание механизмов, обеспечивающих эту функцию лизатов, стало возможным благодаря концепции, выдвинутой в конце 1980-х гг. Чарльзом Джейнвейном младшим (Charles Alderson Janeway Jr., 1943–2003). Согласно этой концепции, все микроорганизмы обладают универсальными консервативными молекулами (Pathogen-Associated Molecular Patterns, или PAMP), которые специфически распознаются клетками врожденного иммунитета [25].

Механизм действия бактериальных лизатов схож с таковым у вакцин. Попадая в организм человека, они воспринимаются как чужеродные агенты и провоцируют выработку факторов иммунной защиты. Нейтрофилы, моноциты, макрофаги, натуральные киллеры содержат на своей поверхности рецепторы (Pattern Recognition Receptors, PRR), обладающие идентичным строением, что позволяет обнаружить консервативные бактериальные структуры (PAMP). Главными семействами PRR-рецепторов, способных распознавать патогенные и непатогенные бактерии и активировать клеточный иммунный ответ, являются Toll-подобные рецепторы (TLR, от англ. Toll-like receptor) и NOD-подобные рецепторы (NLR, от англ. NOD-like receptor) [26].

Так, взаимодействие между лизатами и TLR, расположенными на поверхности моноцитов, приводит к их активации и дифференцировке в дендритные антигенпрезентирующие клетки. Последующая презентация бактериальных агентов дендритными клетками приводит к активации Т- и В-лимфоцитов и секреции антител [27].

Мурамилдипептиды – фрагменты пептидогликанов, главного компонента клеточной стенки бактерий, поглощаясь клетками иммунной системы, специфически взаимодействуют с рецепторами из семейства NLR. В итоге запускается сигнальный каскад реакций, индуцирующий экспрессию большого количества генов, в частности, генов провоспалительных цитокинов, молекул адгезии, острофазовых белков, ферментов воспаления. После этого сигнал посредством промежуточных реакций поступает на транскрипционный ядерный фактор NF-κB, что приводит к активации синтеза провоспалительных цитокинов, интерлейкинов (IL-1, IL-2, IL-6, IL-8, IL-12), TNF-α, интерферонов (INF-γ), колониестимулирующих факторов. Стимуляция мурамилдипептидом синтеза

провоспалительных факторов усиливает антимикробную и цитотоксическую функцию нейтрофилов, моноцитов, макрофагов, НК-клеток и Т-киллеров [28].

Эффективность применения бактериальных лизатов основана на инициации системы врожденного и адаптивного иммунитета и начинается с доставки бактериальных антигенов (АГ) и патоген-ассоциированных молекулярных паттернов (ПАМП) к М-клеткам пейеровых бляшек кишечника, которые обеспечивают доставку АГ и ПАМП к дендритным клеткам [29].

Далее идет активация Т- и В-лимфоцитов либо в самих бляшках, либо в брыжеечных лимфатических узлах. Активация адаптивного иммунитета приводит к увеличению продукции секреторных иммуноглобулинов А (sIgA) не только в желудочно-кишечном тракте, но и в верхних и нижних дыхательных путях. Этот феномен описан как солидарность слизистых [24].

Пероральные бактериальные лизаты увеличивают уровень системно циркулирующих антител разных изотипов к соответствующим бактериальным антигенам. В течение первых часов после перорального приема бактериальные лизаты активируют врожденные звенья иммунного ответа, включая усиление противоопухолевого иммунитета [30, 31].

После приема формируется иммунный ответ гораздо более широкой направленности – не только по отношению к ПАМП тех видов бактерий, которые подверглись лизису. Действие натуральных киллеров направлено против любых патогенов вне зависимости от их таксономической принадлежности [32].

В связи с текущей эпидемиологической ситуацией является актуальным вопрос применения метабиотиков при коронавирусной инфекции. Согласно данным зарубежных исследований, бактериальные лизаты подавляют экспрессию рецепторов и препятствуют связыванию S-белков SARS-CoV-2 с эпителиальными клетками дыхательных путей [33, 34], что обуславливает применение метабиотиков в профилактике и комплексной терапии коронавирусной инфекции.

3. Нейромодуляторы

Микроорганизмы синтезируют вещества, оказывающие нейромодулирующий эффект. К ним относятся [35]:

1. Микробные гормоны и трансммиттеры (серотонин, допамин, норадреналин, ацетилхолин, гистамин, триптамин и др.), участвующие в регуляции перистальтики, оказывая влияние на метасимпатическую нервную систему желудочно-кишечного тракта организма-хозяина.

2. Аминокислоты (аспартат, глутамат, глицин, таурин, триптофан), бутират, ацетат, пропионат, фенол и его производные, витамины В12, биотин, фолиевая, ниациновая, пантотеновая кислота, пиридоксин, рибофлавин, тиамин, выполняющие роль кофакторов и кофакторов синтеза нейромедаторов и нейротрансммиттеров или нейрорсихических реакций.

3. Оксид азота, монооксид углерода, углекислый газ, сероводород, водород, метан, аммиак, продукты микробной трансформации различных соединений. Оказывают свои эффекты посредством нейроэндокринных, иммунологических и биохимических реакций.

4. Вещества с антибактериальной активностью

Бактериоцины – это очень разнообразные, распространенные и гетерогенные антимикробные пептиды, которые рибосомально синтезируются бактериями и археями. С момента их открытия около века назад растет интерес к исследованию и применению бактериоцинов. Это в основном связано с их высокими антимикробными свойствами, узким или широким спектром активности, специфичностью, низкой цитотоксичностью и стабильностью. Хотя изначально бактериоцины применяли для улучшения качества и безопасности пищевых продуктов, в настоящее время их используют во всем мире в качестве устойчивой альтернативы антибиотикам [36].

Многочисленные исследования выявили неизбирательное воздействие антибиотиков на микробиоту, приводящее к дисбиозу и нарушению микробного состава и разнообразия, которые предрасполагают хозяина к нарушениям метаболизма и иммунной системы [37]. В отличие от антибиотиков, бактериоцины имеют узкий спектр действия, являются высокоспецифичными и могут подавлять патогены, не нарушая гомеостаз хозяина-микробиоты или не вызывая побочных эффектов. Бактериоцины могут быть применены для лечения инфекционных и неинфекционных заболеваний, возникающих в результате дисбиоза [35, 36].

Кроме того, синтез бактериоцина большинством бактерий можно рассматривать как стратегию модуляции микробиома. Бактериоцины могут либо предотвращать инвазию аллохтонных бактерий, либо стимулировать иммунную систему для предотвращения окислительного стресса и воспаления [38]. В другом случае бактерии, продуцирующие бактериоцины, могут колонизировать сообщества, преимущественно населенные восприимчивыми штаммами [39]. Бактериальные взаимодействия внутри микробиоты характеризуются как конкуренцией (антагонизмом), так и сотрудничеством (мутуализмом), которые требуют тонкого баланса для нормального функционирования микробиоты. Однако механизмы, регулирующие интеграцию и модуляцию бактериоцинов в этой сложной многофакторной сети, остаются открытыми.

5. Антиоксиданты

Ряд компонентов метаболитов обеспечивают защиту организма от окислительного стресса, в связи с чем метаболиты могут эффективно применяться при воспалительных заболеваниях ЖКТ. Шендеров Б.А. с соавторами указывают, что к этим группам относятся: «Компоненты, связывающие ионы металлов, участвующие в окислительных реакциях (например, Fe^{2+} , Cu^{2+}); микробные антиоксидантные ферменты (супероксид-дисмутаза – Fe-SOD, Mn-SOD, каталаза и др.); микробные структурные компоненты и метаболиты с антиоксидантным эффектом (протеины, пептиды, полисахариды, глутатион, масляная кислота, фолат, витамин B12, тиамин), снижающие окислительный стресс за счет прямого или косвенного увеличения синтеза антиоксидантных ферментов хозяина; микробные соединения, участвующие в регуляции сигнальных антиоксидантных путей хозяина (Nrf2-Keap1-ARE; NF- κ B, протеинкиназа MAPK, PKC), вовлекаемые в поддержание редокс-потенциала организма; микробные компоненты,

модулирующие регуляцию клетками хозяина синтеза свободных радикалов; микробные соединения (например, органические кислоты, бактериоцины, биосурфактаны), восстанавливающие кишечную микробиоту хозяина и ингибирующие пролиферацию патогенных и условно-патогенных микроорганизмов и связанных с ними кишечную эндотоксинемию, метаболические нарушения и оксидативный стресс» [35, с. 89].

ДРУГИЕ МЕТАБОЛИТЫ КИШЕЧНОЙ МИКРОФЛОРЫ

Цвиттермицин (противомикробное свойство), цереулид (цитотоксическое, иммуномодулирующее свойство), колибактин (цитотоксическое свойство), тиливаллин (цитотоксическое свойство), полиамины (такие как спермидин, гомоспермидин, норспермидин, путресцин, кадаверин и 1,3-диаминопропан, имеющие множественные свойства) или лантхипептиды (рибосомальные пептиды, играющие важную роль в гомеостазе кишечника) – это всего лишь примеры других метаболитов, которые могут вырабатываться микробиотой кишечника, при этом следует отметить, что многие из них синтезируются только бактериями. В любом случае, разнообразие соединений, вырабатываемых микробиотой, огромно и может отличаться у разных людей. Все метаболиты могут оказывать системное воздействие на организм человека [40].

СОВРЕМЕННЫЕ ТЕНДЕНЦИИ В РАЗВИТИИ МЕТАБИОТИКОВ

На современном этапе развития биотической медицины набирает обороты разработка бактериальных лизатов, усиленных экстрактами лекарственных растений. Препараты на основе метабитиков и фитоэкстрактов уже зарекомендовали себя как эффективные средства для нормализации работы желудочно-кишечного тракта у детей и взрослых, восстановления нормальной микрофлоры кишечника, предотвращения развития респираторных инфекций, поддержки функции сердечно-сосудистой и мочевыделительной систем, коррекции нежелательных явлений на фоне химиотерапии, в лечении геронтологических пациентов и т.д. [31, 41]

По мере расширения спектра работ, посвященных связи между кишечником и неврологическими заболеваниями, ожидается, что исследования оси кишечник–мозг будут особенно интересными. На сегодняшний день известно, что метабитики оказывают влияние на функционирование мозга, нейровоспаления и даже могут быть использованы в лечении РАС. Кроме того, для дальнейших клинических исследований на людях противораковых эффектов, вызванных хроническим воспалением, необходимы новые вещества, полученные из пробиотиков и метабитиков [42].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Вышеперечисленное дает основание рассматривать метабитики как перспективную группу веществ для коррекции дисбиотических и системных метаболических нарушений у взрослых и детей. Высокий терапевтический

потенциал метабитиков, обусловленный их иммуномодулирующим, антиоксидантным, антибактериальным, нейромодулирующим и другими свойствами, может быть использован как для коррекции различных патологий, так и в качестве профилактического средства как обогащающая пищевая добавка.

Список литературы

1. Rani L. Unravelling the role of gut microbiota in Parkinson's disease progression: Pathogenic and therapeutic implications / L. Rani, A. C. Mondal // *Neuroscience Research*. – 2021. – No 168. – P. 100–112.
2. Rooks M. G. Gut microbiota, metabolites and host immunity / M. G. Rooks, W. S. Garrett // *Nature Reviews Immunology*. – 2016. – Vol. 16, No 6. – P. 341–352.
3. Cryan J. F. The microbiota-gut-brain axis / J. F. Cryan, K. J. O'Riordan, C. S. M. Cowan [et al.] // *Physiological Reviews*. – 2019. – No 99. – 1877–2013.
4. Wang Z. Dysbiosis of oral and gut microbiota and its association with metabolites in patients with different degrees of coronary artery stenosis / Z. Wang, L. Li, C. Wang [et al.] // *Chinese Medicine Journal*. – 2024. – No 137. – 1121–1123.
5. Luangphiphat W. Exploring of gut microbiota features in dyslipidemia and chronic coronary syndrome patients undergoing coronary angiography / W. Luangphiphat, P. Prombutara, V. Muangsillapasart [et al.] // *The Frontiers in Microbiology*. – 2024. – No 15. – P. 1384146.
6. Круглый стол «Метабиотики: новая идея или естественное развитие пробиотической концепции» [электронный ресурс] URL: https://www.rmj.ru/articles/gastroenterologiya/Kruglyy_stol_Metabiotiki_novaya_ideya_ili_estestvennoe_razvitiye_probioticheskoy_koncepcii/ (дата обращения: 22.10.2024)
7. Паценко М. Б. Значение и современные возможности пре- и метабитиков в лечении симптоматической неосложненной дивертикулярной болезни ободочной кишки / М. Б. Паценко, М. Д. Ардатская, А. А. Анучкин [и др.] // *Терапевтический архив*. – 2024. – Т. 96, № 2. – С. 135–142.
8. den Besten G. The role of short-chain fatty acids in the interplay between diet, gut microbiota, and host energy metabolism / G. den Besten, K. van Eunen, A. K. Groen [et al.] // *Journal of Lipid Research*. – 2013. – No 54. – P. 2325–2340.
9. Schwiertz A. Microbiota and SCFA in lean and overweight healthy subjects / A. Schwiertz, D. Taras, K. Schäfer [et al.] // *Obesity*. – 2010. – No 18. – P. 190–195.
10. Fernández J. Traditional processed meat products re-designed towards inulin-rich functional foods reduce polyps in two colorectal cancer animal models / J. Fernández, E. Ledesma, J. Monte [et al.] // *Scientific Reports*. – 2019. – No 9. – P. 14783.
11. Moffett J. R. Acetate revisited: a key biomolecule at the nexus of metabolism, epigenetics and oncogenesis – Part 1: Acetyl-CoA, Acetogenesis and Acyl-CoA short-chain synthetases / J. R. Moffett, N. Puthillathu, R. Vengilote [et al.] // *Frontiers in Physiology*. – 2020. – No 11. – P. 580167.
12. Ríos-Covián D. Intestinal short chain fatty acids and their link with diet and human health / D. Ríos-Covián, P. Ruas-Madiedo, A. Margolles [et al.] // *The Frontiers in Microbiology*. – 2016. – No 7. – P. 185.
13. Hong Y. H. Acetate and propionate short chain fatty acids stimulate adipogenesis via GPCR43 / Y. H. Hong, Y. Nishimura, D. Hishikawa [et al.] // *Endocrinology*. – 2005. – No 146. – P. 5092–5099.
14. Louis P. Diversity, metabolism and microbial ecology of butyrate-producing bacteria from the human large intestine / P. Louis, H. J. Flint // *The Fems Microbiology Letters*. – 2009. – No 294. – P. 1–8.
15. Treptow-van L. S. The carbohydrate crystalline and colonic microflora modulate expression of glutathione S-transferase subunits in colon of rats / L. S. Treptow-van, G. Rechkemmer, I. Rowland [et al.] // *European Journal of Clinical Nutrition*. – 1999. – No 38. – P. 76–83.
16. de Vadder F. Gut-brain signaling in energy homeostasis: the unexpected role of microbiota-derived succinate / F. de Vadder, G. Mithieux // *The Journal of Endocrinology*. – 2018. – Vol. 236, No 2. – P. R105–R108.
17. Плоскирева А. А. Патогенетическая терапия нарушений микробиоценоза желудочно-кишечного тракта при острых кишечных инфекциях у детей / А. А. Плоскирева // *Педиатрия. Приложение к журналу Consilium Medicum*. – 2017. – № 3. – С. 77–80.

18. Тохириён Б. Биотехнологическая программа в форме БАД для поддержки индигенной микрофлоры кишечника / Б. Тохириён, А. А. Вековцев, О. Н. Булашко [и др.] // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Пищевые и биотехнологии. – 2020. – Т. 8, № 2. – С. 65–73.
19. Wan Z. Intermediate role of gut microbiota in vitamin B nutrition and its influences on human health / Z. Wan, J. Zheng, Z. Zhu [et al.] // *Frontiers in Nutrition*. – 2022. – No 9. – P. 1031502.
20. Daisley B. A. Emerging connections between gut microbiome bioenergetics and chronic metabolic diseases / B. A. Daisley, D. Koenig, K. Engelbrecht [et al.] // *Cell Reports*. – 2021. – No 37. – P. 110087.
21. Magnúsdóttir S. Systematic genome assessment of B-Vitamin biosynthesis suggests co-operation among gut microbes / S. Magnúsdóttir, D. Ravcheev, V. de Crécy-Lagard [et al.] // *Frontiers in Genetics*. – 2015. – No 6. – P. 148.
22. Bosco G. Proprietà immunologiche e immunochimiche di lisati batterici ottenuti con ultrasuoni [Immunological and immunochemical properties of bacterial lysates obtained by ultrasonic waves] / G. Bosco // *Rendiconti dell'Istituto Superiore di Sanit.* – 1950. – Vol. 13, No 1. – P. 57–67.
23. Duchon L. L'extrême sensibilité des phagocytes aux toxines microbiennes, aux toxines antibiotiques, aux lysats microbiens [The extreme sensitivity of phagocytes to bacterial and antibiotic toxins and to bacterial lysates] / L. Duchon // *Annales de l'Institut Pasteur (Paris)*. – 1952. – Vol. 82, No 5. – P. 655–658.
24. Drake C. H. Letter: Salivary antibody response to oral vaccine / C. H. Drake, J. E. Smith // *Lancet*. – 1975. – Vol. 27, No 2(7935). – P. 614–615.
25. Janeway C. A. Jr. Approaching the asymptote? Evolution and revolution in immunology / C. A. Jr. Janeway // *Cold Spring Harbor symposia on quantitative biology*. – 1989. – Vol. 54, No 1. – P. 1–13.
26. Заплатников А. Л. Бактериальные лизаты: традиционные представления и новая парадигма / А. Л. Заплатников, А. А. Гирина, В. И. Свинцицкая [и др.] // *Русский медицинский журнал. Мать и дитя*. – 2021. – Т. 4, № 3. – С. 284–291.
27. Braidó F. Bacterial lysate in the prevention of acute exacerbation of COPD and in respiratory recurrent infections / F. Braidó, F. Tarantini, V. Ghiglione [et al.] // *International Journal of Chronic Obstructive Pulmonary Disease*. – 2007. – Vol. 2, No 3. – P. 335–345.
28. Половинкина В. С. Иммуноадьювантные свойства мурамилдипептида / В. С. Половинкина, Е. Ю. Марков // *Acta Biomedica Scientifica*. – 2012. – № 1. – С. 149–153.
29. Kearney S. C. Immunoregulatory and immunostimulatory responses of bacterial lysates in respiratory infections and asthma / S. C. Kearney, M. Dziekiewicz, W. Feleszko // *Annals of allergy, asthma & immunology*. – 2015. – Vol. 114, No 5. – P. 364–369.
30. Van Avondt K. Bacterial immune evasion through manipulation of host inhibitory immune signaling / K. Van Avondt, N. M. van Sorge, L. Meygaard // *PLoS Pathogens*. – 2015. – Vol. 11, No 3. – P. e1004644.
31. Мансурова А. С. Роль пробиотиков в коррекции нежелательных явлений на фоне химиотерапии у пациенток со злокачественными новообразованиями яичников / А. С. Мансурова, В. Е. Войцкий, С. Э. Красильников [и др.] // *Journal of Siberian Medical Sciences*. – 2022. – Т. 6, № 4. – С. 15–24.
32. Калюжин О. В. Феномен тренированного иммунитета и механизмы действия неспецифических иммуномодуляторов / О. В. Калюжин // *Российский аллергологический журнал*. – 2015. – № 4. – С. 45–51.
33. Fang L. OM-85 Broncho-Vaxom®, a bacterial lysate, reduces SARS-CoV-2 binding proteins on human bronchial epithelial cells / L. Fang, L. Zhou, M. Tamm [et al.] // *Biomedicines*. – 2021. – Vol. 9, No 11. – P. 1544.
34. Pivniouk V. The OM-85 bacterial lysate inhibits SARS-CoV-2 infection of epithelial cells by downregulating SARS-CoV-2 receptor expression / V. Pivniouk, O. Pivniouk, A. DeVries [et al.] // *The Journal of Allergy and Clinical Immunology*. – 2022. – Vol. 149, No 3. – P. 923–933.e6.
35. Шендеров Б. А. Метабиотики – новая технология профилактики и лечения заболеваний, связанных с микробиологическими нарушениями в организме человека / Б. А. Шендеров, Е. И. Ткаченко, Л. Б. Лазебник [и др.] // *Экспериментальная и клиническая гастроэнтерология*. – 2018. – Т. 151, № 3. – С. 83–92.

36. Reuben R. C. Bacteriocins: potentials and prospects in health and agrifood systems / R. C. Reuben, C. Torres // *Archives of Microbiology*. – 2024. – Vol. 206, No 5. – P. 233.
37. Hou K. Microbiota in health and diseases / K. Hou, Z.-X. Wu, X.-Y. Chen [et al.] // *Signal Transduction and Targeted Therapy*. – 2022. – No 7. – P. 135.
38. Puls J.-S. Staphylococcus epidermidis bacteriocin A37 kills natural competitors with a unique mechanism of action / J.-S. Puls, B. Winnerling, J. J. Power [et al.] // *The ISME Journal*. – 2024. – Vol. 18, No 1. – P. 044.
39. Heilbronner S. The microbiome-shaping roles of bacteriocins / S. Heilbronner, B. Krismer, H. Brötz-Oesterhelt [et al.] // *Nature Reviews Microbiology*. – 2021. – No 19. – P. 726–739.
40. Cuervo L. Low-molecular-weight compounds produced by the intestinal microbiota and cardiovascular disease / L. Cuervo, P. L. McAlpine, C. Olano [et al.] // *International Journal of Molecular Sciences*. – 2024. – Vol. 25, No 19. – P. 10397.
41. Шпагина Л. А. Роль мультисинбиотика в комплексном лечении геронтологических пациентов / Л. А. Шпагина, О. Н. Герасименко, А. М. Горобей [и др.] // *Сибирский медицинский вестник*. – 2020. – № 3. – С. 50–54.
42. Jang H. J. A narrative review on the advance of probiotics to metabiotics / H. J. Jang, N. K. Lee, H. D. Paik // *Journal of Microbiology & Biotechnology*. – 2024. – Vol. 34, No 3. – P. 487–494.

BIOLOGICAL ACTIVITY AND THERAPEUTIC POTENTIAL OF METABIOTICS

Sorokin O. V.¹, Zinatulin S. N.¹, Kozlova A. P.², Subotyalov M. A.^{2,3}

¹*VedaGenetics LLC, Novosibirsk, Russia*

²*Novosibirsk State Pedagogical University, Novosibirsk, Russia*

³*Novosibirsk National Research State University, Novosibirsk, Russia*

E-mail: subotyalov@yandex.ru

The human body is closely connected to the microflora through thousands of biologically active low molecular weight compounds. In the last decade, the idea has spread that in order to maintain and restore the microecology of the human body, not only live bacteria should be used, but also products of bacterial lysis and filtered products of their metabolism. Such low molecular weight microbial components are called metabiotics.

According to their functional characteristics, metabiotics can be divided into the following large groups: 1) active metabolites (branched and unbranched short-chain fatty acids, including butyrate, acetate, propionate; nitric oxide, methane, vitamins, nucleotides, amino acids, peptides, etc.); 2) structural components (muramyl dipeptide, S-proteins, peptidoglycans, lipoteichoic acids, lipopolysaccharides (LPS), lectins, phospholipids, nucleic acids, etc.); 3) neuromodulators (serotonin, glycine, dopamine, norepinephrine, acetylcholine, tryptamine, etc.); 4) substances with antibacterial activity (lysozyme, bacteriocins, biosurfactants, polyamines, lectins, etc.); 5) antioxidants (peptides, polysaccharides, glutathione, butyric acid, vitamin B12, thiamine, etc.).

In the human body, metabiotics act as an energy substrate for the intestinal normoflora and enterocytes; signaling molecules for enterocytes and the lymphoid-associated immune system of the intestinal wall, "immune simulators", inhibit the

development of pathogenic microbiota and yeast flora, participate in the modulation of metabolic processes of both the microbiota itself and the body as a whole, have neuromodulating, antioxidant antibacterial action, they are one of the most powerful biological agents that support the growth and development of beneficial bacteria. This allows us to consider metabiotics as a promising group of drugs for the correction of dysbiotic and systemic metabolic disorders in adults and children.

At the present stage of the development of biotic medicine, an idea has been formed about targeted metabiotics in which bacterial lysates are enriched with extracts of medicinal plants. Preparations based on metabiotics and phytoextracts (phytolysates) have already proven themselves to be effective means for normalizing the gastrointestinal tract in children and adults, restoring normal intestinal microflora, preventing the development of respiratory infections, supporting the function of the cardiovascular and urinary systems, correcting adverse events against the background of chemotherapy, in the treatment of gerontological patients, etc.

Clinical studies on the use of phytolysates to maintain the intestinal microbiota against the background of chemo and radiation therapy in cancer patients in order to reduce the negative effects of antitumor therapy seem promising.

Keywords: metabiotics, bacterial lysates, ultralysates, phytoextracts, extracts of medicinal plants, microflora, microbiota.

References

1. Rani L., Mondal A. C., Unravelling the role of gut microbiota in Parkinson's disease progression: Pathogenic and therapeutic implications, *Neuroscience Research*, **168**, 100 (2021).
2. Rooks M. G., Garrett W. S., Gut microbiota, metabolites and host immunity, *Nature Reviews Immunology*, **16**(6), 341 (2016).
3. Cryan J. F., O'Riordan K. J., Cowan C. S. M., Sandhu K. V., Bastiaansen T. F. S., Boehme M., Codagnone M. G., Cusotto S., Fulling C., Golubeva A. V., Guzzetta K. E., Jaggar M., Long-Smith C. M., Lyte J. M., Martin J. A., Molinero-Perez A., Moloney G., Morelli E., Morillas E., O'Connor R., Cruz-Pereira J. S., Peterson V. L., Rea K., Ritz N. L., Sherwin E., Spichak S., Teichman E. M., van de Wouw M., Ventura-Silva A. P., Wallace-Fitzsimons S. E., Hyland N., Clarke G., Dinan T. G., The microbiota-gut-brain axis, *Physiological Reviews*, **99**, 1877 (2019).
4. Wang Z., Li L., Wang C., Wang Q., Wang F., Xu X., Zhou X., Dysbiosis of oral and gut microbiota and its association with metabolites in patients with different degrees of coronary artery stenosis, *Chinese Medicine Journal*, **137**, 1121 (2024).
5. Luangphiphat W., Prombutara P., Muangsillapasart V., Sukitpunyaroj D., Eeckhout E., Taweetchotipatr M., Exploring of gut microbiota features in dyslipidemia and chronic coronary syndrome patients undergoing coronary angiography, *The Frontiers in Microbiology*, **15**, 384146 (2024).
6. Roundtable "Metabiotics: a new idea or natural development of the probiotic concept" URL: https://www.rmj.ru/articles/gastroenterologiya/Kruglyy_stol_Metabiotiki_novaya_ideya_ili_estestvennoe_razvitiye_probioticheskoy_koncepcii/ (date of access: 22.10.2024)
7. Patsenko M. B., Ardatskaya M. D., Anuchkin A. A., Butorova L. I., Gaivoronsky I. N., Konkova L. A., Levin V. I., Nugaeva N. R., Pavlov A. I., Topchiy T. B., Patsenko O. Yu., The significance and modern capabilities of pre- and metabiotics in the treatment of symptomatic uncomplicated diverticular disease of the colon, *Therapeutic archive*, **96**(2), 135 (2024).
8. den Besten G., van Eunen K., Groen A. K., Venema K., Reijngoud D. J., Bakker B. M., The role of short-chain fatty acids in the interplay between diet, gut microbiota, and host energy metabolism, *Journal of Lipid Research*, **54**, 2325 (2013).
9. Schwierdtz A., Taras D., Schäfer K., Beijer S., Bos N. A., Donus C., Hardt P. D., Microbiota and SCFA in lean and overweight healthy subjects, *Obesity*, **18**, 190 (2010).

10. Fernández J., Ledesma E., Monte J., Millán E., Costa P., de la Fuente V. G., García M. T. F., Martínez-Camblor P., Villar C.J., Lombó F., Traditional processed meat products re-designed towards inulin-rich functional foods reduce polyps in two colorectal cancer animal models, *Scientific Reports*, **9**, 14783 (2019).
11. Moffett J. R., Puthillathu N., Vengilote R., Jaworski D. M., Namboodiri A. M., Acetate revisited: a key biomolecule at the nexus of metabolism, epigenetics and oncogenesis – Part I: Acetyl-CoA, Acetogenesis and Acyl-CoA short-chain synthetases, *Frontiers in Physiology*, **11**, 580167 (2020).
12. Ríos-Covián D., Ruas-Madiedo P., Margolles A., Gueimonde M., de Los Reyes-Gavilán C. G., Salazar N., Intestinal short chain fatty acids and their link with diet and human health, *The Frontiers in Microbiology*, **7**, 185 (2016).
13. Hong Y. H., Nishimura Y., Hishikawa D., Tsuzuki H., Miyahara H., Gotoh C., Choi K. C., Feng D. D., Chen C., Lee H. G., Katoh K., Roh S. G., Sasaki S., Acetate and propionate short chain fatty acids stimulate adipogenesis via GPCR43, *Endocrinology*, **146**, 5092 (2005).
14. Louis P., Flint H. J., Diversity, metabolism and microbial ecology of butyrate-producing bacteria from the human large intestine, *The Fems Microbiology Letters*, **294**, 1 (2009).
15. Treptow-van L. S., Rechkemmer G., Rowland I., Dolara P., Pool-Zobel B. L., The carbohydrate crystalline and colonic microflora modulate expression of glutathione S-transferase subunits in colon of rats, *European Journal of Clinical Nutrition*, **38**, 76 (1999).
16. de Vadder F., Mithieux G., Gut-brain signaling in energy homeostasis: the unexpected role of microbiota-derived succinate, *The Journal of Endocrinology*, **236**(2), R105 (2018).
17. Ploskireva A. A. Pathogenetic therapy of disorders of microbiocenosis of the gastrointestinal tract in acute intestinal infections in children, *Pediatrics. Appendix to the journal Consilium Medicum*, **3**, 77 (2017).
18. Tohirien B., Vekovtsev A. A., Bulashko O. N., Kotova T. V., Poznyakovsky V. M., Biotechnological program in the form of dietary supplements to support the indigenous intestinal microflora, *Bulletin of the South Ural State University. Series: Food and Biotechnology*, **8**(2), 65 (2020).
19. Wan Z., Zheng J., Zhu Z., Sang L., Zhu J., Luo S., Zhao Y., Wang R., Zhang Y., Hao K., Chen L., Du J., Kan J., He H., Intermediate role of gut microbiota in vitamin B nutrition and its influences on human health, *Frontiers in Nutrition*, **9**, 1031502 (2022).
20. Daisley B. A., Koenig D., Engelbrecht K., Doney L., Hards K., Al K. F., Reid G., Burton J. P., Emerging connections between gut microbiome bioenergetics and chronic metabolic diseases, *Cell Reports*, **37**, 110087 (2021).
21. Magnúsdóttir S., Ravcheev D., de Crécy-Lagard V., Thiele I., Systematic genome assessment of B-Vitamin biosynthesis suggests co-operation among gut microbes, *Frontiers in Genetics*, **6**, 148 (2015).
22. Bosco G., Proprietà immunologiche e immunochimiche di lisati batterici ottenuti con ultrasuoni [Immunological and immunochemical properties of bacterial lysates obtained by ultrasonic waves], *Rendiconti dell'Istituto Superiore di Sanit*, **13**(1), 57 (1950).
23. Duchon L., L'extrême sensibilité des phagocytes aux toxines microbiennes, aux toxines antibiotiques, aux lysats microbiens [The extreme sensitivity of phagocytes to bacterial and antibiotic toxins and to bacterial lysates], *Annales de l'Institut Pasteur (Paris)*, **82**(5), 655 (1952).
24. Drake C. H., Smith J. E., Letter: Salivary antibody response to oral vaccine, *Lancet*, **27**(2(7935)), 614 (1975).
25. Janeway C. A. Jr., Approaching the asymptote? Evolution and revolution in immunology, *Cold Spring Harbor symposia on quantitative biology*, **54**(1), 1 (1989).
26. Zaplatnikov A. L., Girina A. A., Svintsitskaya V. I., Lepiseva I. V., Leshik M. V., Bacterial lysates: traditional concepts and a new paradigm, *Russian medical journal. Mother and child*, **4**(3), 284 (2021).
27. Braido F., Tarantini F., Ghiglione V., Melioli G., Canonica G. W., Bacterial lysate in the prevention of acute exacerbation of COPD and in respiratory recurrent infections, *International Journal of Chronic Obstructive Pulmonary Disease*, **2**(3), 335 (2007).
28. Polovinkina V. S., Markov E. Yu., Immunoadjuvant properties of muramyl dipeptide, *Acta Biomedica Scientifica*, **1**, 149 (2012).
29. Kearney S. C., Dziekiewicz M., Feleszko W., Immunoregulatory and immunostimulatory responses of bacterial lysates in respiratory infections and asthma, *Annals of allergy, asthma & immunology*, **114**(5), 364 (2015).

30. Van Avondt K., van Sorge N. M., Meyaard L., Bacterial immune evasion through manipulation of host inhibitory immune signaling, *PLoS Pathogens*, **11**(3), e1004644 (2015).
31. Mansurova A. S., Voitsitsky V. E., Krasilnikov S. E., Sorokin O. V., Zinatulin S. N., Panova A. S., Bakulin K. A., Molokeev A. V., The role of probiotics in the correction of adverse events during chemotherapy in patients with ovarian malignancies, *Journal of Siberian Medical Sciences*, **6**(4), 15 (2022).
32. Kalyuzhin O. V., The phenomenon of trained immunity and mechanisms of action of nonspecific immunomodulators, *Russian Allergological Journal*, **4**, 45 (2015)
33. Fang L., Zhou L., Tamm M., Roth M., OM-85 Broncho-Vaxom®, a bacterial lysate, reduces SARS-CoV-2 binding proteins on human bronchial epithelial cells, *Biomedicines*, **9**(11), 1544 (2021).
34. Pivniouk V., Pivniouk O., DeVries A., Uhrlaub J.L., Michael A., Pivniouk D., VanLinden S. R., Conway M. Y., Hahn S., Malone S. P., Ezech P., Churko J. M., Anderson D., Kraft M., Nikolich-Zugich J., Vercelli D., The OM-85 bacterial lysate inhibits SARS-CoV-2 infection of epithelial cells by downregulating SARS-CoV-2 receptor expression, *The Journal of Allergy and Clinical Immunology*, **149**(3), 923 (2022).
35. Shenderov B. A., Tkachenko E. I., Lazebnik L. B., Ardatskaya M. D., Sinitsa A. V., Zakharchenko M. M., Metabiotics – a new technology for the prevention and treatment of diseases associated with microecological disorders in the human body, *Experimental and clinical gastroenterology*, **151**(3), 83 (2018).
36. Reuben R. C., Torres C., Bacteriocins: potentials and prospects in health and agrifood systems, *Archives of Microbiology*, **206**(5), 233 (2024).
37. Hou K., Wu Z.-X., Chen X.-Y., Wang J.Q., Zhang D., Xiao C., Zhu D., Koya J.B., Wei L., Li J., Chen Z.S., Microbiota in health and diseases, *Signal Transduction and Targeted Therapy*, **7**, 135 (2022).
38. Puls J.-S., Winnerling B., Power J. J., Krüger A. M., Brajtenbach D., Johnson M., Bilici K., Camus L., Fließwasser T., Schneider T., Sahl H. G., Ghosal D., Kubitscheck U., Heilbronner S., Grein F., *Staphylococcus epidermidis* bacteriocin A37 kills natural competitors with a unique mechanism of action, *The ISME Journal*, **18**(1), 044 (2024).
39. Heilbronner S., Krismer B., Brötz-Oesterhelt H., Peschel A., The microbiome-shaping roles of bacteriocins, *Nature Reviews Microbiology*, **19**, 726 (2021).
40. Cuervo L., McAlpine P. L., Olano C., Fernández J., Lombó F., Low-molecular-weight compounds produced by the intestinal microbiota and cardiovascular disease, *International Journal of Molecular Sciences*, **25**(19), 10397 (2024).
41. Shpagina L. A., Gerasimenko O. N., Gorobey A. M., Shpagin I. S., Gerasimenko D. A., Znakharenko E. A., Bakulin K. A., Molokeev A. V., Sorokin O. V., The role of multisynbiotics in the complex treatment of gerontological patients, *Siberian Medical Bulletin*, **3**, 50 (2020).
42. Jang H. J., Lee N. K., Paik H. D., A narrative review on the advance of probiotics to metabiotics, *Journal of Microbiology & Biotechnology*, **34**(3), 487 (2024).

УДК 796/799

DOI 10.29039/2413-1725-2025-11-2-237-246

ПОВЫШЕНИЕ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ВОЗМОЖНОСТЕЙ ДЫХАТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ СТУДЕНТОК СРЕДСТВАМИ ФОРСИРОВАННОГО ДЫХАНИЯ ПРИ ПОДГОТОВКЕ К ИСПЫТАНИЮ ГТО НА ВЫНОСЛИВОСТЬ

Тимофеева С. Н., Тимофеев В. Д., Погодина С. В.

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

В статье рассматриваются возможность повышения функциональных возможностей системы дыхания студенток путем форсированного дыхания. Целью нашей работы явилось определение эффективности дыхания Охусисе для повышения функциональных возможностей системы дыхания студенток со средним уровнем физического здоровья при подготовке к испытанию ГТО – бег 2000 м. В работе применяли метод оценки уровня физического здоровья по Г. Л. Апанасенко, метод спиропневмотахометрии и газового анализа выдыхаемого воздуха, велоэргометрический тест PWC₁₇₀, статистические методы. Девушкам экспериментальной группы (ЭГ) со средним уровнем физического здоровья в течение учебного семестра на занятиях по физической культуре предлагали методику форсированного дыхания в технике Охусисе. Установлено, что показатели, характеризующие функциональные возможности системы дыхания – V_E , VO_2 , МОС25, МОС50, МОС75 у девушек ЭГ достоверно увеличились в сравнении с контролем ($p < 0,05$, $p < 0,01$). Также в ЭГ отмечено значимое улучшение ($p < 0,05$) времени преодоления дистанции 2000 м по стадиону в сравнении с контролем.

Ключевые слова: функциональные возможности, система дыхания, испытание ГТО на выносливость, форсированное дыхание Охусисе, студентки.

ВВЕДЕНИЕ

Физиологическое обоснование практик физической культуры и спорта является актуальным в связи с межпредметными взаимосвязями в научных исследованиях биологического и педагогического вектора. При этом данная актуальность повышается при возникновении новых условий деятельности и адаптации к ней, связанной с необходимостью повышения функциональных возможностей организма человека. В настоящее время в жизни студенчества значительно возросла необходимость повышения уровня функциональных возможностей организма для успешного прохождения испытаний Всероссийского физкультурно-оздоровительного комплекса «Готов к труду и обороне» (ГТО) на занятиях по физической культуре в вузе [1, 2]. В связи с этим в процессе занятий физической культурой в вузе актуальным является эффективная функциональная подготовка обучающихся к испытаниям ГТО. В свою очередь, данная подготовка должна учитывать направленность физической нагрузки на организм занимающихся в

процессе прохождения тестового испытания [3]. Также отмечено, что функциональный уровень здоровья студентов основной медицинской группы (ОМГ) сильно различается [4]. Поэтому для многих участие в испытаниях ГТО является затруднительным. Так, одним из сложных тестовых испытаний является бег на выносливость 2000 м. Специфика этого испытания связана с высокоинтенсивным бегом продолжительностью более 10 минут, что предъявляет высокие требования к функциональным возможностям организма, и в особенности, к функциям дыхательной системы [3]. В связи с этим актуальным для подготовки к испытанию в беге на выносливость является подбор вспомогательных и оптимальных средств, направленных на повышение уровня функциональных резервов дыхательной системы. Одними из таких средств являются упражнения с форсированным дыханием. В пользу данных упражнений говорит выраженный эффект повышения легочной вентиляции и пропускной способности бронхов за счет активного включения и увеличения силы мышц диафрагмы, внутренних и наружных межреберных мышц, от чего напрямую зависят адекватный кислородный режим и функциональные возможности системы дыхания в условиях бега на выносливость [5]. Однако подбор техники форсированного дыхания является серьезной проблемой в связи с возможными побочными эффектами гипервентиляции [6]. В данном случае наиболее оптимальными по технике форсированного дыхания могут явиться упражнения дыхательной гимнастики Охусисе (ДГО), при выполнении которых дыхательные маневры осуществляются прерывисто, что позволяет снизить гипервентиляционные риски [7]. Несмотря на наличие научных публикаций о прикладных эффектах ДГО, данные эффекты описаны относительно изменений интегральных показателей здоровья, изучаемых в течение оздоровительных программ [8–10], тогда как в условиях программ физической подготовки лиц с разным уровнем здоровья динамика показателей функциональных возможностей системы дыхания при использовании ДГО не изучались. В связи с этим целью работы явилось определение эффективности форсированного дыхания в технике Охусисе для повышения функциональных возможностей системы дыхания студенток при подготовке к испытанию ГТО в беге на 2000 м.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В исследовании приняли участие девушки (студентки первокурсницы) 17–18 лет ($n=263$), относящиеся к ОМГ и давшие добровольное информированное согласие на участие в исследовании. Было проведено два блока исследований. Первый блок включал оценку уровня здоровья, который определяли по методике Апанасенко Г. Л. [4]. Для этого измеряли длину тела (ДТ, м), массу тела (МТ, кг), АД сист. (артериальное давление систолическое, мм. рт. ст.), ЧСС (частоту сердечных сокращений, уд/мин), жизненную емкость легких (ЖЕЛ, л) и рассчитывали жизненный индекс (ЖИ, $\text{мл/кг} = \text{ЖЕЛ, мл} / \text{Масса тела, кг}$), силовой индекс (СИ, $\% = \text{сила кисти, кг} / \text{масса тела, кг}$), массовый индекс (МИ $\text{кг} / \text{м}^2 = \text{Масса тела, кг} / \text{Длину тела, м}^2$), индекс Робинсона (ИР, усл. ед. = $\text{ЧСС}_{\text{пок, уд/мин}} * (\text{АД}_{\text{сисст}}) / 100$). Также проводили функциональную пробу 20 приседаний за 30 с.

Во второй блок исследований были отобраны студентки со средним уровнем физического здоровья (n=108) с предварительным результатом в забеге на 2000 м ниже 13 минут. Далее данная категория девушек была разделена на 2 группы – экспериментальную n=54 (ЭГ) и контрольную n=54 (КГ). На протяжении учебного семестра (4 академических часа в неделю и 68 часов в семестре) студенткам ЭГ в содержание заключительной части учебного занятия по физической культуре включали форсированное дыхание в технике Охусисе в течение 10 минут (табл. 1). У студенток КГ (при аналогичном ЭГ объеме учебных часов) содержание занятий было стандартным, структура занятия в соответствии с рабочей программой дисциплины: подготовительная часть – 10–15 мин общеразвивающие упражнения; основная часть – 30–35 мин специально-подготовительные упражнения (беговые) с направленностью на выносливость с использованием аэробного пульсового режима в соотношении 55 % (ЧСС 130–140 уд/мин), аэробно-анаэробного пульсового режима в соотношении 40 % (ЧСС 150–170 уд/мин), анаэробно-аэробного пульсового режима в соотношении 5 % (ЧСС 175–185); заключительная часть 10 мин – упражнения на гибкость.

Таблица 1

Особенности техники форсированного дыхания Охусисе

Дыхательные маневры	Диапазон продолжительности маневра (с)	Направление движения грудной клетки	Направление движения мышц живота	Речевой звук
форсированный вдох через нос	не менее 1 с	максимальное расширение	выпячивание	-
До-вдох через нос	до 1 с	незначительное расширение	втягивание	-
До-вдох через нос	до 1 с	незначительное расширение	втягивание	-
До-вдох через нос	до 1 с	незначительное расширение	втягивание	-
форсированный выдох через нос и рот	до 4-6 с	выраженное сужение	втягивание	-тс-
До-выдох выдох через нос и рот	до 1 с	незначительное сужение	втягивание	-тс-
До-выдох выдох через нос и рот	до 1 с	незначительное сужение	втягивание	-тс-
До-выдох выдох через нос и рот	до 1 с	незначительное сужение	втягивания	-тс-

Также во втором блоке исследований в трех контрольных точках (КТ) семестра (КТ=22 академическим часам) были проведены измерения физической работоспособности, дыхательных параметров и контрольные забеги на 2000 м по стадиону. При проведении двухступенчатого велоэргометрического теста PWC₁₇₀ определяли физическую работоспособность обучающихся. Первоначальная ступень нагрузки (W₁) составляла 80–100 Вт, скорость педалирования 60 об/мин в течение 4–5 минут, показатель ЧСС 140–150 уд/мин. Последующую ступень нагрузки (W₂) увеличивали до 100–120 Вт, ЧСС 160–170 уд/мин. Парциальное давление кислорода в выдыхаемом воздухе (P_EO₂, мм рт. ст.), приведенное к условиям STPD, определяли газометрическим методом. Анализ выдыхаемого воздуха проводили с помощью радиоизмерительного газоанализатора типа ПГА-КМ (для анализа кислорода). Минутный объем дыхания (V_E, л·мин⁻¹), максимальную объемную скорость потока воздуха в точке, соответствующей 75 % ФЖЕЛ (МОС75, л/с), 50 % ФЖЕЛ (МОС50, л/с) и 25 % ФЖЕЛ (МОС25, л/с) регистрировали на спирометре пневмотахометрического типа (SPIROBANK G, Италия), условия приведены к ВTPS. Измерения дыхательных параметров проводили на последних 60 с первой (W₁) и второй (W₂) ступени мощности нагрузки в тесте PWC₁₇₀. Потребление кислорода (VO₂, мл·мин⁻¹) рассчитывали по формуле $VO_2 = V_E \times \Delta P_{E O_2} \times 1000 / 100$, где Δ - разница P_EO₂ при W₁ и W₂.

Цифровой материал обрабатывался на персональном компьютере с использованием пакета программ STATISTICA 10.0. Проверка соответствия статистических данных закону нормального распределения проводилась с помощью критерия Шапиро-Уилка. Далее проводилось вычисление среднего значения – $\bar{x}$, стандартной ошибки – S $\bar{x}$. Статистически значимые различия определялись с помощью t-критерия Стьюдента, значимые различия считались при p<0,05.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Исследование физического здоровья студенток 17–18 лет показало наличие разных его уровней (рис. 1) в ОМГ. На рисунке 1 показано, что высокий уровень здоровья определен у 8,7 % девушек, уровень выше среднего имеют 14,8 %, более 41 % студенток имеют средний уровень, а 29,7 % ниже среднего и низкий уровень отмечен у 5,7 % девушек.

Сопоставление данного уровня с предварительными результатами времени преодоления дистанции 2000 м по стадиону в виде точечной диаграммы позволило увидеть тенденцию зависимости временного параметра результата от уровня здоровья студенток ОМГ (рис. 2).

Из рисунка 2 видно, что чем выше уровень физического здоровья, тем лучше результаты бега на 2000 м. Так, у девушек с высоким и выше среднего уровнем здоровья результаты в беге соответствовали нормативу ГТО в данном испытании. Тогда, как у студенток с уровнем здоровья среднего и ниже среднего, результаты бега не укладывались в нормативы. С целью повышения готовности студенток к испытанию ГТО на выносливость (бег 2000 м) нами была отобрана самая многочисленная категория девушек ОМГ со средним уровнем здоровья, для которого характерным является снижение функциональных возможностей

дыхательной системы, то есть снижение должных значений показателей ЖЕЛ и падение величин ЖИ [4]. Далее, для проведения второго этапа исследований из данной группы были сформированы ЭГ и КГ.

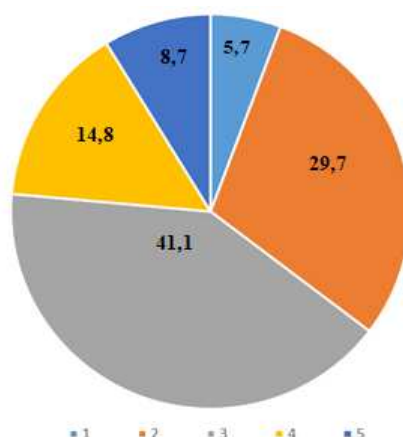


Рис. 1. Распределение (%) девушек ОМГ по уровню физического здоровья.

Примечание: уровни физического здоровья: 1 – низкий, 2 – ниже среднего, 3 – средний, 4 – выше среднего, 5 – высокий.

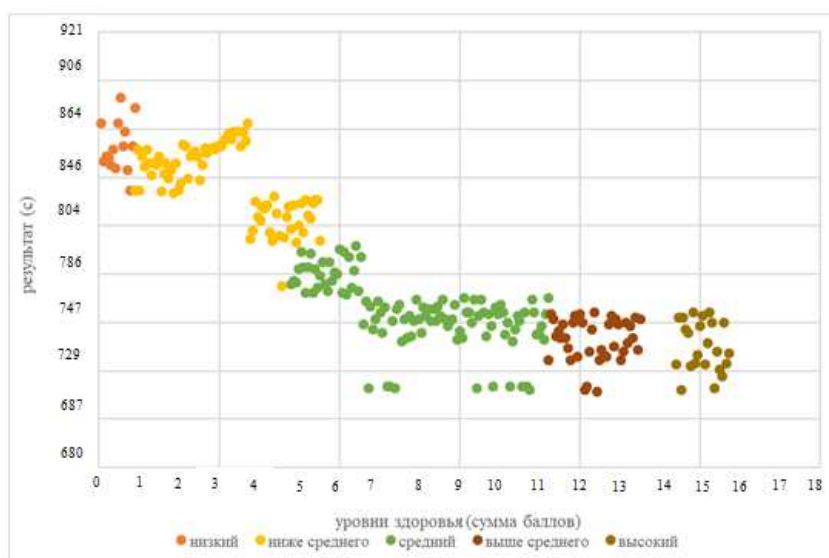


Рис. 2. Временные результаты в беге на 2000 м у девушек с разным уровнем физического здоровья.

В результате применения форсированного дыхания в технике Охусисе на втором этапе исследований у студенток ЭГ наблюдали динамику достоверного увеличения величин дыхательных показателей – V_E ($p < 0,05$) и VO_2 ($p < 0,01$) на второй и третьей

контрольной точках, что говорит о повышении легочной вентиляции и потребления кислорода. Особенно выраженное увеличение данных показателей регистрировали на второй ступени нагрузки велоэргометрического теста. При этом наблюдали достоверное увеличение величин пропускной способности бронхов соответственно большого (МОС25, $p<0,05$) и среднего калибра (МОС50, $p<0,05$) на первой ступени нагрузки и на уровне МОС25, МОС50, и что примечательно, на уровне бронхов малого калибра (МОС75, $p<0,05$) на второй ступени нагрузки (табл. 2).

Таблица 2

Динамика показателей физической работоспособности и функциональных возможностей дыхательной системы студенток ЭГ и КГ

Показатели	КТ 1		КТ 2		КТ 3	
	ЭГ	КГ	ЭГ	КГ	ЭГ	КГ
W₁ (60-80 Вт)						
W ₁ , кг·м·мин ⁻¹	380,4±13,23	356,4±12,89	460,4±11,32*	390,4±9,52	556,4±8,86**	436,4±12,11*
V _E , л·мин ⁻¹	29,07±4,58	30,01±3,21	32,47±1,87	29,27±1,06	47,59±5,50*	36,01±2,47
VO ₂ , мл·мин ⁻¹	1140±14,58	1135±12,04	1477±11,01**	1467±12,12*	1597±14,58**	1470±17,54
МОС 25 л/с	5,05±0,16	5,39±0,23	5,74±0,03*	5,19±0,21	5,99±0,05*	5,12±0,11
МОС50 л/с	4,59±0,04	4,64±0,22	5,13±0,86*	4,82±0,27	5,22±0,08*	4,68±0,17
МОС75 л/с	3,42±0,46	3,41±0,16	3,47±0,54	3,4±0,26	3,57±0,56	3,49±0,21
W₂ (100-120 Вт)						
W ₂ , кг·м·мин ⁻¹	605,3±9,78	589,8±11,89	694,4±7,56*	602,2±11,09	788,3±7,11**	645,9±8,29*
V _E , л·мин ⁻¹	49,59±5,50	39,25±3,30	57,59±5,50	38,37±2,98	69,33±6,38*	42,37±5,19
VO ₂ , мл·мин ⁻¹	1680±16,25	1458±10,98	1830±17,37*	1490±11,29	2798±13,48**	1509±9,27
МОС 25 л/с	6,32±0,03	5,13±0,86	6,55±0,50	5,02±0,58	6,75±0,50*	4,69±0,04*
МОС50 л/с	5,22±0,08	4,47±0,04	5,58±0,11*	4,57±0,06	5,85±0,01*	3,40±0,06*
МОС75 л/с	3,51±0,21	3,54±0,75	3,67±0,03*	3,46±0,51	3,97±0,03*	3,58±0,64

Примечание: * – $p<0,05$, ** – $p<0,01$, статистически значимые различия указаны по отношению к фоновым показателям.

В свою очередь у студенток КГ показатель легочной вентиляции V_E хоть и увеличивался адекватно ступеням нагрузки, однако достоверного увеличения его величин в контрольных точках не выявлено ($p>0,05$). Практически аналогичная тенденция отмечена и в отношении показателя VO₂. Необходимо отметить, что при этом показатели величин пропускной способности бронхов достоверно снизились в условиях W₂ на уровне МОС25 и МОС50, ($p<0,05$). Очевидно, что данное снижение было обусловлено утомлением дыхательных мышц (диафрагмы и межреберных) при повышении мощности нагрузки. Также из таблицы 2 видно, что в условиях W₂ и W₂ на протяжении трех КТ величины дыхательных показателей студенток ЭГ значительно превышали таковые у студенток КГ ($p<0,05$, $p<0,01$).

Анализ результатов контрольных забегов на 2000 м по стадиону (табл. 3) показал положительную динамику и статистически значимые изменения времени преодоления дистанции у студенток ЭГ на всех контрольных точках ($p<0,05$).

Таблица 3

Динамика результативности (мин, с) в беге 2000 м по стадиону
у студенток ЭГ и КГ

Показатель	Исходный результат в беге на 2000 м		КТ 1		КТ 2		КТ 3	
	ЭГ	КГ	ЭГ	КГ	ЭГ	КГ	ЭГ	КГ
время на дистанции 2000 м (мин, с)	12,40± 0,05	12,40± 0,02	12,31± 0,01	12,37± 0,01	12,22± 0,01	12,37± 0,01	12,12± 0,01	12,37± 0,01
р 1,2	p>0,05		p<0,05		p<0,05		p<0,05	

Также нами показано, что время, затраченное на преодоление дистанции 2000 м, у студенток КГ было достоверно больше ($p<0,05$) в сравнении с ЭГ на протяжении трех КТ. На основе анализа рисунков 1, 2, а также таблиц 2, 3 можно сделать заключение, что причиной худших результатов девушек КГ явились низкие функциональные возможности дыхательной системы. Тогда как, повышение этих возможностей у девушек ЭГ за счет упражнений с форсированным дыханием в технике Охусисе способствовало улучшению результата в тестовом испытании бег 2000 м по стадиону.

Известно, что дыхательные упражнения с форсированным дыханием часто используют в спорте как вспомогательное средство улучшения механики дыхания и интенсификации легочной вентиляции при совершенствовании проявлений выносливости [5]. По нашему мнению, техника дыхания Охусисе может эффективно использоваться и в вузе на занятиях по физической культуре для повышения готовности к испытаниям ГТО на выносливость. Прерывистый характер форсированного дыхания, отличающий данную технику от других, позволяет заполнить воздухом все дыхательные объемы во время прерывистых пауз между до-вдохами, и полностью выдохнуть весь воздух из легких благодаря до-выдохам и сопротивлению выдоху, создаваемому за счет речевого звука -тс- [7]. Очевидно, это позволяет улучшить пропускную способность бронхов в условиях физической нагрузки на уровне верхнего и среднего региона, и в особенности, на уровне МОС75 (нижнего региона), что и определено у девушек экспериментальной группы. Также движения мышцами живота, которые сопровождают форсированное дыхание Охусисе, создают дополнительное сопротивление диафрагме, внутренним и наружным межреберным мышцам [8], что в процессе дыхательных тренировок у студенток ЭГ способствовало увеличению силы и выносливости этих мышц, оптимизировало механику дыхания и выразалось в достоверном увеличении показателей легочной вентиляции и потребления кислорода. Более того, очевидным плюсом использования техники дыхания Охусисе для студенток вузов говорит и относительно быстрый результат в повышении функциональных возможностей системы дыхания. То есть, уже в первой контрольной точке у девушек ЭГ определены достоверные положительные изменения исследуемых показателей дыхания, физической

работоспособности и результативности в беге на выносливость (в беге на 2000 м). Это дает возможность студенткам, имеющим средний уровень физического здоровья получить в течение учебного семестра (в течение 4-5 месяцев) не только желаемый функциональный эффект в повышении возможностей системы дыхания, но и улучшить уровень физических качеств, и в частности, выносливости. Также установлен значительный сдвиг результата к нормативу бронзового знака отличия комплекса ГТО в беге на 2000 м. Также мы рассматриваем технику форсированного дыхания Охусисе в качестве средства, оптимизирующего практики физической культуры для повышения уровня физического здоровья студенток основной медицинской группы со средним уровнем физического здоровья.

Таким образом, проведенное нами исследование, и сделанное на его основе, физиологическое обоснование представленного варианта практики физической подготовки молодежи с помощью которой возможно осуществлять совершенствование уровня функциональных возможностей системы дыхания с параллельным эффектом повышения физических кондиций, и в частности аэробной выносливости, имеет высокую практическую значимость. Так как позволяет обоснованно и с высокой степенью эффективности внедрить данную практику в процесс физического воспитания студенток, относящихся к основной медицинской группе со средним уровнем физического здоровья.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Форсированное дыхание в технике Охусисе, применяемое на протяжении учебного семестра в заключительной части занятия физической культурой в группе студенток ЭГ способствовало повышению функциональных возможностей системы дыхания. Показатели V_E , VO_2 , МОС25, МОС50, МОС75 у девушек ЭГ достоверно увеличились в сравнении с КГ ($p < 0,05$, $p < 0,01$).

У студенток ЭГ наряду с повышением функциональных возможностей дыхательной системы отмечено значимое улучшение ($p < 0,05$) времени преодоления дистанции 2000 м по стадиону в сравнении с КГ.

Техника форсированного дыхания Охусисе явилась эффективной в повышении функциональной готовности студенток ЭГ к испытанию ГТО на выносливость, а именно, к бегу на дистанцию 2000 м. Данную технику форсированного дыхания можно рекомендовать к применению на занятиях физической культурой в вузе в качестве вспомогательного и оптимального средства для повышения функциональных возможностей системы дыхания студенток ОМГ со средним уровнем физического здоровья.

Список литературы

1. Костюкова О. Н. Эффективность реализации концепции комплексной подготовки спортсменов игровиков в физкультурно-спортивном вузе / О. Н. Костюкова, В. В. Костюков, Н. В. Тютюнникова // Физическая культура, спорт – наука и практика. – 2024. – № 3. – С. 18–24.
2. Лубышева Л. И. Система стимулов и поощрений в условиях полисубъектного управления продвижением комплекса ГТО в российские вузы / Л. И. Лубышева // Теория и практика физической культуры. – 2022. – №9. – С. 103.

3. Веселкина Т. Е. Функциональный профиль студентов транспортных вузов в процессе реализации упражнений циклического характера / Т. Е. Веселкина, А. В. Оборин, Е. В. Радовицкая, А. А. Васильев // Физическая культура, спорт – наука и практика. – 2023. – № 1. – С. 39–45.
4. Апанасенко Г. Л. Лечебная физкультура и врачебный контроль. Учебник для мединститут. / Апанасенко Г. Л. – М: Медицина, 1990. – 367 с.
5. Клапчук В. В. Вольное управление дыханием в медицинской и спортивной практике / В. В. Клапчук, А. В. Курята, С. В. Маргитич. – Днепр, 2018. – 119 с.
6. Погодина С. В. Регуляторные маркеры изменений функционального состояния системы дыхания спортсменов / С. В. Погодина, В. С. Юферев, И. В. Елишкин // Ученые записки Крымского федерального университета имени В. И. Вернадского. Биология. Химия. – 2023. – Т.9, №1. – С.171–182.
7. Джонсон Дж. Р. Программа дыхательных упражнений Охусис / Дж. Р. Джонсон [Пер. с англ. Е. А. Андриевская]. – Мн.: ООО «Попурри», 2005. – 160 с.
8. Коваль Т. Е. Использование дыхательных упражнений в комбинированных оздоровительных программах / Т. Е. Коваль, Л. В. Ярчиковская, О. Н. Устинова, О. В. Миронова // Ученые записки университета имени П. Ф. Лесгафта. – 2018. – № 3 (157). – С. 173–176.
9. Насырова Т. Ш. Использование дыхательной гимнастики оксисайз для снижения массы тела студенток, занимающихся спортивной аэробикой / Т. Ш. Насырова, С. И. Митявина // Спортивно-массовая работа и студенческий спорт: возможности и перспективы. Материалы IV Всероссийской научно-практической конференции с международным участием. Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна; Под редакцией В. И. Храпова. – 2018. – С.116–119.
10. Yarchikovskaya L. V. Role of breathing exercises in combined health programs / L. V. Yarchikovskaya, T. E. Koval, S. M. Lukina., O. N. Ustinova // Theory and practice of physical culture. – 2017. – №10. – С. 12.

IMPROVING THE PHYSICAL READINESS OF FEMALE STUDENTS FOR THE TRP ENDURANCE TEST BY MEANS OF FORCED BREATHING

Timofeeva S. N., Timofeev V. D., Pogodina S. V.

*V. I. Vernadsky Crimean Federal University, Simferopol, Crimea, Russian Federation
E-mail: kafedra.sporta@cfuv.ru*

The article considers the possibility of using forced breathing exercises to increase the functional readiness of female students of the basic medical group with an average level of physical health for the TRP endurance test - 2000 m running.

The purpose of the study was to determine the effectiveness of breathing exercises using the Oxycise technique to increase the readiness of female students to test the TRP in the 2000 m run.

Research methods. During the academic semester, girls at the university are offered forced breathing techniques in the Oxycise technique during physical education classes (in the final part of the lesson), which differs from other similar breathing practices by intermittent breathing maneuvers, which reduces the risks of hyperventilation. A number of methods are also used to determine the expediency and effectiveness of using this technique, namely, the method of assessing the level of physical health according to G. L. Apanasenko, method of spiropneumotachometry and exhaled gas analysis to

determine the functionality of the respiratory system, PWC170 bicycle ergometric test, statistical research methods.

The results of the study. As a result of the use of forced breathing in the Oxycise technique, an increase in the functionality of the external respiration system has been established. The indicators of ventilation, oxygen consumption and bronchial capacity of different calibres in girls using Oxycise respiration significantly increased in comparison with the control group. Also, along with an increase in the functionality of the respiratory system, there was a significant improvement in the time to cover the distance of 2000 m in the stadium compared to the control group.

Conclusion. The Oxycise forced breathing technique was effective in increasing the readiness of the female students for the TRP endurance test exercise, namely running 2000 m through the stadium. This technique of forced breathing can be recommended as an aid in physical education classes at the University to improve the physical fitness of girls with an average level of physical health.

Keywords: physical fitness, TRP, endurance test, forced breathing Oxycise, female students.

References

1. Kostyukova O. N., Kostyukov V. V., Tyutyunnikova N. V. The effectiveness of the implementation of the concept of integrated training of athletes playing games in a physical education and sports university. *Fizicheskaya kul'tura, sport – nauka i praktika*, **3**, 18 (2024).
2. Lubysheva L. I. The system of incentives and rewards in the context of polysubject management of the TRP complex in Russian universities. *Teoriya i praktika fizicheskoy kul'tury*, **9**, 103 (2022).
3. Veselkina T. E., Oborin A. V., Radovickaya E. V., Vasil'ev A. A. The functional profile of students of transport universities in the process of implementing exercises of a cyclical nature. *Fizicheskaya kul'tura, sport – nauka i praktika*, **1**, 39 (2023).
4. Apanasenko G. L., Epifanov V. A. *Physical therapy and medical supervision*, 367 (Textbook for medical institutes. M., Medicina, 1990).
5. Klapchuk V. V., Kuryata A. V., Margitich S. V. *Volitional breathing control in medical and sports practice*, 119 (Dnepr, 2018).
6. Pogodina S. V., Yuferev V. S., Epishkin I. V. Regulatory markers of changes in the functional state of the respiratory system of athletes. *Uchenye zapiski Krymskogo federal'nogo universiteta imeni V. I. Vernadskogo. Biologiya. Himiya*, **9**, 1, 171 (2023).
7. Dzhonson Dzh. R. Oxycise Breathing Exercise Program. Per. s angl. E. A. Andrievskaya, 160 (Mn.: ООО «Popurri», 2005).
8. Koval' T. E., Yarchikovskaya L. V., Ustinova O. N., Mironova O. V. The use of breathing exercises in combined wellness programs. *Uchenye zapiski universiteta imeni P.F. Lesgafta*, **3** (157), 176 (2018).
9. Nasyrova T. Sh., Mityavina S. I. Using Oxy-size breathing exercises to reduce body weight of female students involved in sports aerobics. *Sports and mass work and student sports: opportunities and prospects. Proceedings of the IV All-Russian scientific and practical conference with international participation. Saint Petersburg State University of Industrial Technologies and Design; Edited by V. I. Khrapov*, 116 (2018).
10. Yarchikovskaya L. V., Koval' T. E., Lukina S. M., Ustinova O. N. Role of breathing exercises in combined health programs. *Theory and practice of physical culture*, **10**, 12 (2017).

УДК 591.1:57.804

DOI 10.29039/2413-1725-2025-11-2-247-264

ИЗУЧЕНИЕ ВЛИЯНИЯ ЭКСТРАКТА КОРНЕЙ *SCUTELLARIA BAICALENSIS* НА ПРОСТРАНСТВЕННУЮ «РЕФЕРЕНС» ПАМЯТЬ В УСЛОВИЯХ МОДЕЛИРОВАНИЯ «СОЦИАЛЬНОГО» СТРЕССА

Уранова В. В.¹, Ломтева Н. А.²

¹ФГБОУ ВО «Астраханский государственный медицинский университет» Минздрава
России, Астрахань, Россия

²ФГБОУ ВО «Астраханский государственный университет им. В. Н. Татищева»,
Астрахань, Россия
E-mail: fibi_cool@list.ru

Данное исследование посвящено анализу влияния экстракта корней *Scutellaria baicalensis* (SB) на пространственную «референс» память самцов нелинейных белых крыс при воздействии факторов «социального» стресса, что является важным аспектом в области изучения нейробиологии и психофармакологии. Анализ результатов показал, что животные, получавшие экстракт, значительно превосходили по преодолению экспериментальных препятствий, выполнение которых предполагало задействование рефлекторных возможностей, сформированных при участии пространственной памяти, по сравнению с контрольной группой, что подтверждено ускорением нахождения платформы в тесте Морриса и снижением количества животных, посетивших «аверсивный» отсек в тесте условного рефлекса пассивного избегания (УРПИ). Полученные данные свидетельствуют о проявлении нейропротекторной активности при введении экстракта корней SB; его способности устранять негативные последствия, вызванные факторами «социального» стресса.

Ключевые слова: «социальный» стресс, *Scutellaria baicalensis*, «референс» память, условный рефлекс пассивного избегания, нейропротективное действие.

ВВЕДЕНИЕ

На сегодняшний день изучение влияния факторов «социального» стресса на человека является актуальным и одним из важных направлений исследования в физиологии и медицине [1–3]. В условиях современного общества, где социальные взаимодействия составляют основу его существования, понимание причин и последствий «социального» стресса позволит продуктивно вести поиск средств, действие которых направлено на устранение негативных последствий воздействия стрессовых факторов и, как следствие, обеспечить нормальное состояние как физического, так и психического здоровья. Установлено, что рост степени воздействия факторов, вызывающих стресс, находится во взаимосвязи с экономическими кризисами, политической нестабильностью, быстрыми изменениями в образе жизни, последствиями пандемии и другими социальными обстоятельствами [4, 5].

Исследования показывают, что хронический стресс может способствовать развитию заболеваний сердечно-сосудистой системы, диабета, аллергии и др. Установление взаимосвязи между стрессовым фактором и протеканием биохимического процесса, запускаемого им, позволит вести направленную разработку средств, способных подавлять его воздействие на организм человека [6–8]. Известно, что факторы «социального» стресса вызывают активацию симпатической нервной системы по принципу «бей или беги» («Fight or Run»). Активация симпатической нервной системы, экспрессирующей выработку адреналина и норадреналина надпочечниками в кровоток, что приводит к увеличению частоты сердечных сокращений, повышению артериального давления и способствует обеспечению органов и мышц кровью, увеличению степени поступления кислорода в легкие и, как следствие, повышению мышечного тонуса. Рефлекторное подавление некоторых периферических функций, например, пищеварения, позволяет организму сформировать ответную реакцию на неблагоприятное воздействие [9, 10].

Установлено, что «социальный» стресс влияет на функционирование иммунной системы, что обусловлено активацией гипоталамо-гипофизарно-надпочечниковой оси (ГГН-оси), вследствие экспрессии кортикотропин-рилизинг-гормона (КРГ), который стимулирует гипофиз высвобождать адренотропный гормон (АКТГ), активирующий надпочечники на выработку кортизола – гормона стресса [8, 11]. Показано, что кортизол, выполняя важную роль в адаптации организма к стрессу, оказывает угнетающее действие на иммунную систему. Установлено, что высокий уровень кортизола снижает активность лимфоцитов, уменьшая устойчивость организма к инфекционным процессам. Описано подавление выработки цитокинов – сигнальных молекул, обеспечивающих взаимодействие между клетками иммунной системы, под воздействием кортизола. Описано нарушение регуляции воспалительных процессов под воздействием факторов «социального» стресса [12]. Исследования показывают, что длительные стрессовые воздействия способствуют активации воспалительных реакций в организме, которые создают риск развития таких хронических заболеваний, как диабета, онкологических и сердечно-сосудистых патологий. Обосновано иницирование процессов формирования памяти как результата увеличения синаптической пластичности и укрепления связей между нейронами вследствие взаимодействия кортизола с рецепторами в гиппокампе, являющегося критически важной областью головного мозга, ответственной за возникновение и извлечение воспоминаний [13]. Данные литературных источников свидетельствуют о том, что при хроническом повышении уровня кортизола при длительном «социальном» стрессе происходит подавление нейрогенеза, наблюдается уменьшение объема гиппокампа, что вызывает дегенерацию нервной ткани, повреждение ДНК и потенциальное активирование программированного клеточного апоптоза, что приводит к снижению способности концентрироваться и извлекать информацию из памяти. Зафиксировано, что увеличение уровня кортизола снижает эффективность серотонинергической передачи сигналов между нейронами, тем самым снижая способность к обучению и запоминанию [14, 15]. Изменения, происходящие в

серотониновой системе при стрессе, могут проявляться в нарушениях памяти различной степени тяжести – от лёгкой забывчивости до серьезных проблем с воспроизведением и хранением информации. Результаты исследований демонстрируют сокращение числа и функциональности серотониновых рецепторов в ключевых областях мозга (гиппокамп, префронтальная кора), отвечающих за консолидацию памяти, в условиях хронического стресса [16]. Описаны изменения в экспрессии генов, ответственных за синтез, транспорт и разрушение серотонина, под влиянием факторов, вызывающих «социальный» стресс, что приводит к дисбалансу в серотониновой системе и, как следствие, к снижению когнитивных функций. В ходе долговременных потенциаций (Long-term potentiation, LTP) и депотенциаций (LTD, Long-term Depotentiation), как механизмов регулирования работы синапсов [17].

Изучены стресс-индуцированные изменения в пластичности нейронов, проявляющиеся в модуляции функции ионотропного глутаматного рецептора (iGluR), селективно связывающего N-метил-D-аспартат (NMDA) и α -амино-3-гидрокси-5-метил-4-изоксазолпропионовую кислоту (AMPA), участвующих в синаптической проводимости и определяющих гибкость нейронных связей. Дисбаланс в последних может привести к нарушению целостности нейронной сети и способствовать когнитивным дефицитам [18].

Данные литературы свидетельствуют, что не всегда стрессовые факторы неблагоприятно воздействуют на организм. Описано повышение когнитивной гибкости в случае повышенной функциональности системы саморегуляции организма. Таким образом, механизм воздействия факторов «социального» стресса отличается комплексным влиянием, как на физиологические, так и психические функции организма. Управление состоянием «социального» стресса требует разработки грамотного подхода, предполагающего реализацию эффективной терапевтической стратегии, развитие навыков саморегуляции, поиска социальной поддержки и активности в социальной среде [19].

Известно, что растения с глубокой древности применялись для лечения различных заболеваний. Установлено, что они являются ценным источником разнообразных химических соединений, многие из которых обладают уникальными свойствами. Изучение биологической активности лекарственного растительного сырья может привести к открытию новых веществ, которые могут быть использованы для разработки лекарственных препаратов, проявляющих широкий спектр фармакологической активности. Исследование и верификация свойств растительного сырья является начальным этапом их поиска [20, 21].

Отмечается, что многие современные лекарства, представленные на фармацевтическом рынке, имеют растительное происхождение или содержат БАВ, полученные из них. Наибольший интерес представляют растения, содержащие алкалоиды, флавоноиды, терпены, которые могут быть эффективны при лечении различных инфекционных, воспалительных процессов, а также онкологических и других заболеваний. Показано, что соединения растительного происхождения по сравнению с веществами синтетической природы, характеризуются меньшей токсичностью и низкой степенью побочных эффектов, что делает их

перспективными при разработке новых лекарств, отличающихся безопасностью при применении. Исследование растительного сырья создает новые возможности для открытия новых производных, отличающихся выраженной биологической активностью и низкой степенью токсичности [22, 23].

Известно, что растения рода Шлемник (*Scutellaria*), как источник БАВ, являются одним из наиболее перспективных объектов для изучения. Растения рода *Scutellaria* с древних времен используются в народной медицине для лечения широкого спектра заболеваний [24]. Показано, что род *Scutellaria* включает множество видов представителей, в состав которых входят вещества с уникальными свойствами, которые могут быть использованы для создания лекарственных средств. Описано применение Шлемника байкальского (*Scutellaria Baicalensis* – *SB*) при лечении воспалительных и инфекционных процессов [25].

Установлено, что химический состав растений рода *Scutellaria* включает флавоноиды, алкалоиды, терпеноиды и другие БАВ. Результаты исследований свидетельствуют о противовоспалительном, противоопухолевом и нейропротекторном эффектах экстрактов *SB*, что делает их перспективными кандидатами для разработки лекарственных препаратов, которые могут быть применены при лечении различных патологических процессов. Изучена антиоксидантная и нейропротекторная активность байкалина, выделенного из Шлемника байкальского. Установлена возможность использования Шлемника байкальского в составе комплексной терапии, а также для профилактики различных заболеваний. На сегодняшний день ведется активная работа по изучению экстрактов *SB* на предмет их противовирусной активности, что особенно актуально в условиях современной эпидемиологической обстановки [26].

Имеющиеся в литературе сведения о разнообразии фитохимического состава *SB* и отсутствие сведений о влиянии их на пространственную «референс» память, мотивировали авторов на рассмотрение его в качестве объекта изучения, имеющего потенциальную возможность положительного воздействия на когнитивные функции в условиях «социального» стресса. Известно, что «референсная» память (долговременная память) обуславливает способность сохранять информацию о пространственных отношениях и расположениях объектов в окружающей среде на протяжении длительного времени. Долговременная память, продемонстрированная в тестах Морриса и условного рефлекса пассивного избегания (УРПИ), является важной для понимания работы мозга, механизмов формирования памяти и обучения. Изучение «референсной» памяти в данных тестах позволяет исследователям оценить влияние на её формирование различных факторов, таких как: повреждение отделов мозга, генетические особенности их строения и функционирования, возраст, действие фармакологически активных веществ. Тесты Морриса и УРПИ специфичны для оценки когнитивных функций и памяти у млекопитающих, что делает их незаменимым инструментом для исследования воздействия различных БАВ [27, 28].

Таким образом, целью данной работы явилось изучение влияния экстракта корней *SB* на пространственную «референс» память в условиях «социального» стресса с применением тестов Морриса и УРПИ.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Корни четырехлетнего *SB*, полученные методом культивирования на территории Астраханской области, стали объектом исследования. Заготовку, сушку и хранение изучаемого растительного сырья осуществляли согласно требованиям ГФ XV. Изготовление экстракта проводили методом мацерации с применением 70 % спирта этилового с последующим выдерживанием в течение 2 суток при температуре 8–10 °С для осаждения балластных веществ, которые отделяли фильтрованием для получения прозрачной жидкости. После получали густой экстракт путем удаления спирта этилового с помощью ротационного испарителя (Hei-VAP Core HL, Германия) под вакуумом при температуре не выше 60 °С.

Работа была проведена на 160 самцах нелинейных белых крыс в возрасте 5–6 месяцев массой $276,5 \pm 32,05$ г. Выполнение каждого теста предполагало использование 80 особей, так как животные в каждом из них находились продолжительное время. Эксперимент включал в себя два этапа: изучение поведенческих реакций в условиях нормы и при моделировании «социального» стресса. Оценку влияния экстракта корней *SB* на пространственную «референс» память выполняли на животных шести сформированных группах: контрольной (группа I, $n=20$); животных, которым вводили экстракт *SB* (группа II, $n=20$); особей агрессоров ($n=10$) и жертв ($n=10$), подвергавшихся воздействию межсамцовых конфронтаций (группы III–IV, $n=10$); крыс с доминантным ($n=10$) и субмиссивным ($n=10$) типами поведения, получавших *SB* в условиях «социального» стресса (группы V–VI).

Введение воды для инъекций и экстракта (100 мг/кг/сут) осуществляли однократно в сутки внутривентрикулярно на протяжении 14 дней. Моделирование «социального» стресса проводили путем установления межсамцовых конфронтаций в условиях парного сенсорного контакта при ежедневном его воспроизведении на протяжении 21 дня. Оценку влияния экстракта корней *SB* на пространственную «референс» память выполняли с применением поведенческих тестов – водный лабиринт Морриса и УРПИ.

Реализация теста Морриса предполагала использование круглого бассейна, заполненного окрашенной в белый цвет водой. Методическое испытание данного экспериментального воздействия основано на поиске лабораторным животным скрытой платформы. Первый этап исследования проводился в течение 4 суток. Первые 24 часа соответствовали нулевому «холостому» дню в плане экспериментальной работы, в который проводили пробное тестирование животных, заключающееся в приучении животных к бассейну на протяжении 180 с при отсутствии платформы. Обучение с фиксированием платформы в одном месте предусматривало ежедневное осуществление 4 попыток. После истечения 24 ч определяли латентные периоды (с) до обнаружения животным платформы.

Тест УРПИ осуществляли на стандартной установке, которая представляла собой камеру, разделенную на два равных по площади отсека (темного и светлого). Первый был оснащен электропроводящим полом. Животных каждой группы последовательно помещали в светлую камеру хвостом к входу в темный отсек. Далее регистрировали количество животных, посетивших «авersive» отсек

установки. Время проведения теста составляло 180 секунд, при истечении которого животное, не побывавшее в нём, причисляли к группе особей, не посетивших темный отсек. Согласно методике проведения испытания, на этапе обучения животным, посетившим темный отсек камеры, наносили болевое раздражение электрическим током. Оценку процесса сохранения памятного следа и выработки УРПИ воспроизводили через 24 часа, на 5 и 10 сутки после этапа обучения. Данный этап, на выполнение которого отводилось 180 с, не предполагал получение животными болевых ударов. Испытание сводилось к установлению процента животных, поведение которых свидетельствовало о сохранении «памятного следа» [28].

Статистическую обработку полученных результатов выполняли с использованием пакета «Statistica 10», определяя нормальность распределения данных, медиану, межквартильный размах и достоверность различий показателей в группах. Установление нормальности распределения значений проводили, используя тест Шапиро-Уилка, результаты которого позволили сделать вывод о том, что полученные в ходе эксперимента значения не подчиняются закону нормального распределения. Поэтому различия в латентных периодах до обнаружения платформы в тесте водный лабиринт Морриса в группах оценивали с помощью непараметрического анализа сравнения совокупностей по количественным признакам критерия Манна-Уитни, которые признавались статистически значимыми при $p < 0,05$. Отличие в процентном изменении животных с выработанным УРПИ считались при $p < 0,05$ по точному критерию Фишера (двусторонний).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Полученные данные по истечении первых суток обучения свидетельствуют о том, что на первом этапе в группе животных, которые получали экстракт *SB*, наблюдалось снижение латентного периода до обнаружения платформы относительно контрольной группы в 1,6 раза ($p < 0,05$). Формирование «социального» стресса привело к резкому увеличению интервала времени до определения скрытой платформы у агрессоров и жертв контрольной группы сравнительно с той же группой в норме на 2,3 раза и 2,6 раза ($p < 0,01$). Зафиксировано, что у особей, которым вводили экстракт *SB*, сравнительно с животными контрольной группы, имеющими доминантный и субмиссивный типы поведения в условиях отсутствия патологического воздействия, наблюдалось снижение времени достижения платформы в 3,5 раза и 4,1 раза ($p < 0,01$). Анализ данных показал, что установление межсамцовых конфронтаций в группах животных, получавших экстракт *SB*, привело к снижению времени нахождения площадки относительно контрольной группы победителей и побежденных в 3,2 раза и 3,7 раза у агрессоров и в 3,3 раза и 3,8 раза ($p < 0,01$) у жертв. Полученные результаты представлены на рисунке 1.

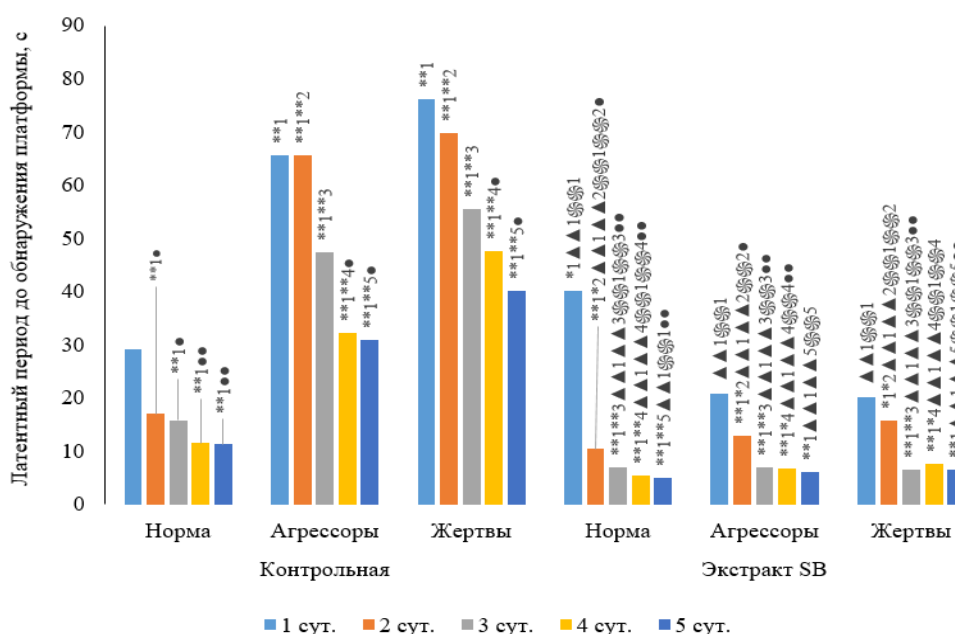


Рис. 1. Динамика изменения латентных периодов до нахождения скрытой платформы под действием экстракта SB в условиях «социального» стресса

Примечание: *1 – статистически значимые различия относительно контрольной группы первых суток в норме* – при $p < 0,05$, ** – при $p < 0,01$; *2 – статистически значимые различия относительно контрольной группы вторых суток в норме* – при $p < 0,05$, ** – при $p < 0,01$; *3 – статистически значимые различия относительно контрольной группы третьих суток в норме* – при $p < 0,05$, ** – при $p < 0,01$; *4 – статистически значимые различия относительно контрольной группы четвертых суток в норме* – при $p < 0,05$, ** – при $p < 0,01$; *5 – статистически значимые различия относительно контрольной группы пятых суток в норме* – при $p < 0,05$, ** – при $p < 0,01$. ▲1 – статистически значимые различия относительно контрольной группы агрессоров первых суток в норме▲ – при $p < 0,05$, ▲▲ – при $p < 0,01$; ▲2 – статистически значимые различия относительно контрольной группы агрессоров вторых суток в норме▲ – при $p < 0,05$, ▲▲ – при $p < 0,01$; ▲3 – статистически значимые различия относительно контрольной группы агрессоров третьих суток в норме▲ – при $p < 0,05$, ▲▲ – при $p < 0,01$; ▲4 – статистически значимые различия относительно контрольной группы агрессоров четвертых суток в норме▲ – при $p < 0,05$, ▲▲ – при $p < 0,01$; ▲5 – статистически значимые различия относительно контрольной группы агрессоров пятых суток в норме▲ – при $p < 0,05$, ▲▲ – при $p < 0,01$. ☼1 – статистически значимые различия относительно контрольной группы жертв первых суток в норме☼ – при $p < 0,05$, ☼☼ – при $p < 0,01$; ☼2 – статистически значимые различия относительно контрольной группы жертв вторых суток в норме☼ – при $p < 0,05$, ☼☼ – при $p < 0,01$; ☼3 – статистически значимые различия относительно контрольной группы жертв третьих суток в норме☼ – при $p < 0,05$, ☼☼ – при $p < 0,01$; ☼4 – статистически значимые различия относительно контрольной группы жертв четвертых суток в норме☼ – при $p < 0,05$, ☼☼ – при $p < 0,01$; ☼5 – статистически значимые различия относительно контрольной группы жертв пятых суток в норме☼ – при $p < 0,05$, ☼☼ – при $p < 0,01$. ● – статистически значимые различия внутри группы ● – при $p < 0,05$, ●● – при $p < 0,01$.

Установлено, что на вторые сутки исследования, как и в первые, имело место снижение интервала времени по достижению платформы относительно контрольной группы в норме в 1,6 раза ($p < 0,05$) у особей, получавших экстракт *SB* при отсутствии стрессового воздействия. Условие формирования межсамцовых конфронтаций спровоцировало резкий рост времени до определения месторасположения скрытой площадки относительно этапа нормы в 3,1 раза для особей-доминантов и 4,1 раза ($p < 0,01$) у животных-жертв. Показано, что для особей, получавших экстракт *SB*, период времени обнаружения платформы как в норме, так и в условиях стресса относительно агрессоров и жертв контрольной группы характеризовался меньшим значением: в 5,1 раза и в 6,7 раза; в 4,1 раза и в 5,4 раза; в 3,4 раза и в 4,5 раза ($p < 0,01$).

Анализ полученных результатов на третьи сутки обучения показал сохранение статистически значимого уменьшения латентного периода до обнаружения платформы у группы, которой вводили экстракт *SB*, относительно особей контрольной группы, находившихся в условиях нормы, в 2,3 раза на первом этапе, в 2,3 раза у животных с доминантным типом поведения и в 2,4 раза ($p < 0,01$) для субмиссивного. Определено, что «социальный» стресс и на третьи сутки обучения оказывал негативное воздействие, выражающееся в увеличении интервала до определения месторасположения площадки, у особей контрольной группы сравнительно с той же группой на первом этапе исследования в 3,0 раза у агрессоров и 3,5 раза ($p < 0,01$) у жертв. Данные латентных периодов до обнаружения платформы свидетельствуют, что применение экстракта *SB* относительно контрольной группы агрессоров и жертв приводит к достоверному снижению показателей в 6,9 раза и в 8,0 раза на этапе нормы и для особей-доминантов; в 7,3 раза и в 8,5 раза ($p < 0,01$) у животных-жертв.

Оценка полученных значений времени достижения платформы показала значимые отличия между результатами, установленными для животных, которым вводили экстракт *SB*, и особей контрольной группы на первом этапе в четвертый день обучения. Установлено снижение изучаемого показателя в 2,1 раза ($p < 0,01$) в условиях нормы; в 1,7 раза ($p < 0,05$) у агрессоров; в 1,5 раза ($p < 0,05$) для жертв. Определено, что особи контрольной группы, подверженные «социальному» стрессу, находили местонахождение спасательной площадки через значительно более долгий период времени, что доказывало его увеличение в 2,8 раза у особей с доминантным типом поведения и 4,1 раза ($p < 0,01$) с субмиссивным. Особи групп, которые получали экстракт *SB*, как на этапе нормы, так и в условиях «социального» стресса демонстрировали высокую скорость определения скрытой платформы сравнительно с особями контрольной группы при моделировании патологического состояния, что проявлялось в снижении времени до достижения площадки в 6,0 раза и 8,8 раза; в 4,8 раза и 7,0 раза; в 4,3 раза и 6,3 раза ($p < 0,01$) соответственно.

Анализ результатов на пятые сутки эксперимента в условиях отсутствия попыток обучения показал, что на протяжении всего времени исследования для животных, подвергающихся действию экстракта *SB*, сохранилась тенденция к сокращению отрезка времени от их погружения в бассейн до обнаружения спасательной площадки. Установлено уменьшение изучаемого показателя в 2,3 раза

($p < 0,01$) сравнительно с особями контрольной группы на первом этапе. Наблюдение за особями в лабиринте Морриса показало, что, как и при испытаниях в течение предыдущих дней, стресс, вызванный формированием межсамцовых конфронтаций, привел к резкому росту латентного периода в 2,7 раза у агрессоров и в 3,5 раза ($p < 0,01$) для жертв. Установлено, что особи, получавшие экстракт *SB*, затрачивали меньший отрезок времени для обнаружения платформы как в норме, так и в условиях «социального» стресса относительно агрессоров и жертв контрольной группы в 6,3 раза и в 8,2 раза; в 5,2 раза и в 6,7 раза; в 4,8 раза и в 6,2 раза ($p < 0,01$).

Обнаружено, что крысы контрольной группы при отсутствии «социального» стресса показали склонность к достаточно быстрому обучению по определению спасательной площадки, которое отражалось в сокращении латентного периода до нахождения платформы сравнительно с первым днем обучения в 1,7 раза на вторые сутки, в 1,8 раза ($p < 0,05$) на третьи сутки; в 2,5 раза на четвертые сутки и 2,6 раза ($p < 0,01$) – на пятые. Особи, получавшие экстракт *SB*, демонстрировали более выраженную способность к определению места расположения скрытой платформы, что доказывает более динамичное уменьшение изучаемого показателя относительно первого дня обучения контрольной группы в 2,8 раза на вторые сутки, в 4,2 раза на третьи сутки, в 5,4 раза на четвертые сутки и 5,9 раза ($p < 0,01$) на пятые. Однако сравнительный анализ относительно первого дня обучения внутри группы экстракта свидетельствует о более медленном росте способности к обучению в 1,8 раза ($p < 0,05$) на вторые сутки, в 2,7 раза на третьи сутки, в 3,4 раза на четвертые сутки и 3,8 раза ($p < 0,01$) – на пятые. Оценка результатов исследования показала, что для особей-агрессоров контрольной группы характерны достоверно более высокие значения времени до нахождения платформы относительно нормы первого дня обучения в 1,8 раза и 1,6 ($p < 0,05$) раза на вторые и третьи сутки соответственно, тогда как на четвертые и пятые сутки результаты были соразмерны со значением сравниваемой величины. Анализ данных внутри контрольной группы, образованной животными с доминантным типом поведения, продемонстрировал статистически значимое снижение периода нахождения платформы только на четвертые и пятые сутки в 2,0 раза и 2,1 раза ($p < 0,01$) относительно первого дня обучения. Тестирование навыка запоминания расположения спасательной площадки позволило установить рост латентного времени, необходимого побежденным животным в сравнении с контрольной группой на этапе нормы первого дня в 2,4 раза ($p < 0,01$) на вторые сутки, в 1,9 раза на третьи сутки, в 1,6 раза ($p < 0,05$) на четвертые сутки. Результаты, полученные на пятые сутки, оказались соразмерны с сравниваемой величиной латентного периода.

Показано, что животные, получавшие экстракт *SB*, как на стадии нормы, так и в условиях «социального» стресса, обучались быстрее находить платформу, чем особи контрольной группы. Характерным явилось значимое уменьшение времени поиска, затрачиваемое ими, относительно животных контрольной группы, которые находились в отсутствии изначального формирования стрессового состояния, в 2,8 раза на вторые сутки, в 4,2 раза на третьи сутки, в 5,3 раза на четвертые сутки и 5,6 раза ($p < 0,01$) – на пятые. Данные латентных периодов свидетельствуют о том, что воспроизведение «социального» стресса у особей, которым вводили экстракт

SB, статистически значимо не влияет на скорость их обучения, что выражалось в снижении времени определения скрытой платформы относительно даже контрольной группы в условиях отсутствия «социального» стресса для агрессоров в 2,3 раза на вторые сутки, в 4,2 раза на третьи сутки, в 4,3 раза на четвертые сутки и в 4,9 раза ($p<0,01$) на пятые; а для жертв в 1,9 раза ($p<0,05$) на вторые сутки, в 4,5 раза на третьи сутки, в 3,8 раза на четвертые сутки и в 4,5 раза ($p<0,01$) – на пятые. Анализ значений латентных периодов до определения месторасположения спасательной площадки показал, что относительно животных-победителей и жертв контрольной группы все группы особей, которым вводили экстракт *SB*, проявляли лучшую краткосрочную и долговременную память, о чем свидетельствуют более низкие интервалы времени. Формирование «социального» стресса у особей, получавших экстракт *SB*, статистически значимо не влияло на процесс обучения и как результат определения скрытой площадки на что указывают снижение временных отрезков определения нахождения спасательной площадки относительно первого дня тренировки для агрессоров в 2,3 раза на вторые сутки, в 4,2 раза на третьи сутки, в 4,3 раза на четвертые сутки и в 4,9 раза на пятые; а для жертв в 3,1 раза на третьи сутки, в 2,7 раза на четвертые сутки и в 3,1 раза ($p<0,01$) на пятые (рис. 1).

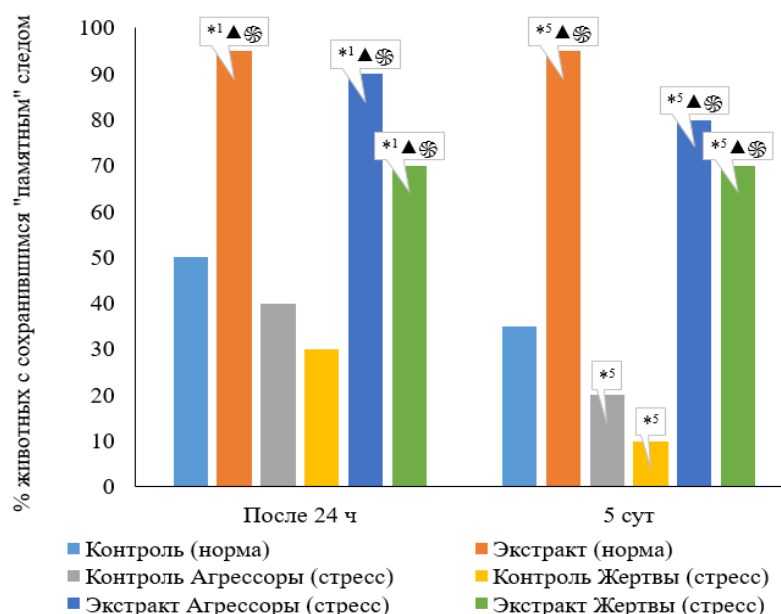


Рис. 2. Динамика изменения процента животных с выработанным УРПИ/

Примечание: *1 – статистически значимые различия относительно контрольной группы в норме после 24 часов проверки рефлекса *1 – при $p<0,05$; *5 – статистически значимые различия относительно контрольной группы в норме на 5 сутки проверки рефлекса *5 – при $p<0,05$; ▲ – статистически значимые различия относительно агрессоров контрольной группы ▲ – при $p<0,05$. ⌘ – статистически значимые различия относительно агрессоров контрольной группы ⌘ – при $p<0,05$.

Тест УРПИ позволил изучить динамику изменения процента животных с сохранившимся «памятным» следом. Установлено, что у животных, которым вводили экстракт *SB*, после 24 часов выработки рефлекса наблюдался статистически более высокий процент его сохранения в 1,9 раза на этапе нормы, в 1,8 раза у агрессоров и в 1,4 раза ($p < 0,05$) относительно контрольной группы в норме (рис. 2). Крысы контрольной группы имели тенденцию к снижению сохранности УРПИ в ситуации формирования межсамцовых конфронтаций. Сравнение с контрольной группой, в которую входили особи с доминантным типом поведения, показало установление более высокую способность запоминания паттерного воздействия электрического тока особями, получавшими *SB*, в 2,4 раза на этапе нормы, в 2,3 раза у агрессоров и 1,8 раза ($p < 0,05$) у жертв. Подобный анализ относительно жертв контрольной группы показал рост числа животных с сохранившимся рефлексом в 3,2 раза на этапе нормы, в 3,0 раза у агрессоров и 2,3 раза ($p < 0,05$) у жертв.

Определено, что на пятые сутки для контрольной группы животных на этапе нормы наблюдалась тенденция к снижению сохранности рефлекса, тогда как действие «социального» стресса провоцировало достоверное его уменьшение в 1,8 раза и в 3,5 раза ($p < 0,05$). Применение экстракта *SB* на пятые сутки способствовало росту животных, не зашедших в «аверсивный» отсек камеры, в 2,7 раза при отсутствии стресса, в 2,3 раза у агрессоров и в 2,0 раза ($p < 0,05$) у жертв. Сопоставление количеств животных с сохранившимся «памятным» следом, которым вводили экстракт *SB*, и особями контрольной группы агрессоров продемонстрировало более выраженное сохранение рефлекса. Показан рост животных с выработанным рефлексом в 4,8 раза ($p < 0,05$) на первом этапе, 4,0 раза для особей-победителей и 3,5 раза ($p < 0,05$) для животных-жертв. Подобное сравнение с контрольной группой жертв показало еще более значительное увеличение сохранения рефлекса в 9,5 раза на первом этапе, 8,0 раза для особей-победителей и 7,0 раза ($p < 0,05$) для животных-жертв.

Таким образом, в ходе исследования установлена тенденция роста времени до нахождения скрытой платформы и количества животных, посетивших «аверсивную» камеру установки УРПИ, у особей с субмиссивным типом поведения относительно агрессоров.

В ходе экспериментов, проводимых с использованием тестов Морриса и УРПИ, определено, что экстракт корней *SB* оказывает положительное влияние на когнитивные функции испытанных субъектов, находящихся в условиях «социального» стресса. Оценка результатов, полученных при испытаниях по методике теста Морриса, показала, что животные, получавшие экстракт *SB*, продемонстрировали значительно лучшие результаты в навигации по водному лабиринту. Анализ экспериментальных данных свидетельствует о восстановлении пространственной памяти и способности к обучению при возникновении патологического состояния вследствие формирования межсамцовых конфронтаций, что, вероятно, связано с тем, что флавоноидный комплекс экстракта снижает воздействие «социального» стресса на рецепторы ГТН-оси, которые управляют высвобождением кортиколиберина из гипоталамуса. Последний, в свою очередь, участвует в индуцировании секреции АКТГ гипофизом, что приводит к стимуляции

коры надпочечников и последующему высвобождению кортикостерона, играющего ключевую роль в ответе организма на стресс. Зафиксировано достоверное снижение концентрации кортикостерона в плазме самцов нелинейных белых крыс, подверженных действию экстракта *SB* в условиях парного сенсорного контакта, что выражалось в уменьшении выраженности стресс-индуцированных изменений, ограничивая гиперактивацию центральных стресс-реализующих систем, корректируя эндогенную антиоксидантную систему организма [30].

Показано, что в экспериментально созданных условиях «социального» стресса, который отрицательно сказывается на когнитивных процессах, экстракт проявил свои нейропротективные свойства, способствуя уменьшению уровня тревожности и стресса у экспериментальных животных, что, вероятно, обусловлено богатым флавоноидным составом полифенольных соединений. Флавоноиды, находящиеся в экстракте *SB*, могут участвовать в модулировании активности нейронов гипоталамуса через взаимодействие с гамма-аминомасляной кислоты (ГАМК) рецепторами, эндогенно усиливая ингибиторные сигналы, что предоставляет возможность снизить избыточную активность, вызванную «социальным» стрессом. Таким образом, комплекс флавоноидов способствует поддержанию баланса в нейроэндокринной регуляции, минимизируя риск перегрузки системы регуляции стресса и предотвращая развитие стресс-индуцированных патологий. В дополнении, установлено, что байкалин, как один из флавоноидов, изучаемого экстракта обладает антиоксидантными свойствами, что выражается в защите клеток гипоталамуса от оксидативного стресса, поддерживая их функцию и устойчивость к внешним стрессовым воздействиям. Оценка данных, полученных при выполнении теста УРПИ, также подтвердила данные выводы: животные, получавшие экстракт *SB*, проявляли меньшую подверженность когнитивным нарушениям, что указывает на потенциальную роль данного растительного компонента в улучшении устойчивости к стрессу и поддержании нормальных функций памяти.

Появление установленных эффектов, проявляемых экстрактом *SB*, возможно за счет флавоноидов, таких как байкалин. Установлено, что байкалин обладает антагонистической активностью по отношению к глутаматным рецепторам, что снижает нейротоксические эффекты чрезмерного выброса глутамата, индуцированного стрессом, что способствует сохранению структурной целостности нейронов и поддержанию их функций. Кроме того, эксперименты на животных моделях показали, что байкалин увеличивает уровень нейротрофического фактора мозга (BDNF), который играет критически важную роль в поддержании нейропластичности и росте новых нейронов. Повышение уровня BDNF в условиях стресса способствует улучшению когнитивной гибкости и способности к обучению. Кроме того, экстракт корней *SB*, возможно, может влиять на систему нейромедиаторов, включая дофамин, серотонин и ацетилхолин, которые играют важную роль в процессах обучения и памяти. Оказывая влияние на экскрецию перечисленных соединений, экстракт способствует подавлению активности ацетилхолинэстеразы и разложению ацетилхолина, участвующего непосредственно в биохимических процессах формирования долговременной памяти. Обоснованным является также проявление противовоспалительного эффекта экстрактом

Scutellaria за счет активации выработки противовоспалительных цитокинов (интерлейкина-1 β и фактора некроза опухоли) и улучшения когнитивных функций, в частности «референс» памяти [28].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, изучение химического состава, а также биологической активности растений рода *Scutellaria*, как источника БАВ, имеет многообещающее значение для разработки новых лекарственных средств, проявляющих нейропротективный и нейротрофический эффекты. Уникальный состав *SB*, широкий спектр фармакологической активности делают его важным объектом для дальнейших научных исследований. Результаты проведенного исследования подтверждают перспективность использования экстракта корней *SB* как потенциального нейропсихотропного средства для улучшения когнитивных функций и снижения неблагоприятного влияния «социального» стресса на «референс» память. Дальнейшие исследования могут быть направлены на более глубокое изучение механизмов действия растительного экстракта.

Список литературы

1. Хмель А. А. Развитие теоретических взглядов на воздействие социального стресса как фактора риска здоровью в начале XXI века / А. А. Хмель // Инновации и инвестиции. – 2020. – № 7. – С. 84–88.
2. Смолева Е. О. Социальный стресс и стратегии его преодоления: анализ концепций и моделей / Е. О. Смолева // Социальное пространство. – 2020. – Т. 6. – № 3. – С. 3.
3. Василенко Е. А. Психологические механизмы воздействия социального стресса на социально-психологическую адаптацию личности / Е. А. Василенко // Вестник Южно-Уральского государственного гуманитарно-педагогического университета. – 2019. – № 4. – С. 279–302.
4. Кононова А. А. Медико-социальные проблемы формирования нервно-психического здоровья детей в условиях хронического социального стресса / А. А. Кононова // Бюллетень Северного государственного медицинского университета. – 2019. – № 1(42). – С. 219–220.
5. Pirozhkova V. O. Social and emotional intelligence as resources for overcoming stress by subjects of team and individual activity presenter / V. O. Pirozhkova, G. B. Gorskaya // Current Issues of Sports Psychology and Pedagogy. – 2022. – Vol. 2, No. 1. – P. 36–39.
6. Батуев А. С. Влияние "социального" стресса во время беременности крысы на уровень тревожности потомства / А. С. Батуев, О. Н. Полякова, А. А. Александров // Журнал высшей нервной деятельности им. И.П. Павлова. – 2000. – Т. 50, № 2. – С. 281–286.
7. Моисеева Ю. В. Повышение уровня тревожности у крыс, вызванное социальным стрессом перенаселения, не сопровождается изменениями нитергической системы в мозге / Ю. В. Моисеева, Н. М. Хоничева, М. Г. Айрапетянц [и др.] // Нейрохимия. – 2009. – Т. 26, № 1. – С. 64–71.
8. Гаврилов В. В. Хронические социальные стрессы изоляции и скученности у крыс по-разному влияют на научение инструментальному поведению и состояние гипоталамо-гипофизарно-адренокортикальной системы / В. В. Гаврилов, М. В. Онуфриев, Ю. В. Моисеева [и др.] // Журнал высшей нервной деятельности им. И. П. Павлова. – 2021. – Т. 71, № 5. – С. 710–719.
9. Виноградова Е. П. Влияние окситоцина и тиреолиберина на тревожность у самцов белых крыс при социальном стрессе / Е. П. Виноградова, А. В. Каргин, Н. А. Огиенко, Д. А. Жуков // Журнал высшей нервной деятельности им. И. П. Павлова. – 2017. – Т. 67, № 3. – С. 341–348.
10. Топол И. А. Закономерности и направленность изменений в иммунной системе кишечника в условиях хронического социального стресса / И. А. Топол, А. М. Камышный // Патологическая физиология и экспериментальная терапия. – 2016. – Т. 60, № 2. – С. 34–38.

11. Смолева Е. О. Измерение социального стресса: анализ методик и опыта исследований / Е. О. Смолева // Социально-гуманитарные технологии. – 2020. – № 3(15). – С. 70–79.
12. Пивина С. Г. Чувствительность к социальному стрессу у самок крыс с измененной стрессорной реактивностью гипоталамо-адренокортикальной системы / С. Г. Пивина, Т. С. Шамолина, В. К. Акулова, Н. Э. Ордян // Российский физиологический журнал им. И.М. Сеченова. – 2007. – Т. 93, № 11. – С. 1319–1325.
13. Гаврилов В. В. Хронические социальные стрессы изоляции и скученности у крыс по-разному влияют на научение инструментальному поведению и состояние гипоталамо-гипофизарно-адренокортикальной системы / В. В. Гаврилов, М. В. Онуфриев, Ю. В. Моисеева, Ю. И. Александров, Н. В. Гуляева // Журнал высшей нервной деятельности им. И. П. Павлова. – 2021. – Т. 71, № 5. – С. 710–719.
14. Вишневская Г. Б. Устойчивость мышей линии DBA/2J к воздействию хронического стресса социальных поражений / Г. Б. Вишневская, Д. Ф. Августинович, Н. Н. Кудрявцева // Журнал высшей нервной деятельности им. И. П. Павлова. – 2016. – Т. 66, № 3. – С. 338.
15. Абрамова О. В. Социальные и когнитивные нарушения у потомства после воздействия ультразвукового стресса на крыс во время беременности / О. В. Абрамова, Е. А. Зубков, Я. А. Зоркина [и др.] // Бюллетень экспериментальной биологии и медицины. – 2019. – Т. 168, № 12. – С. 687–691.
16. Павлова И. В. Влияние обогащенной среды и социальной изоляции на условнорефлекторный страх у крыс, перенесших ранний провоспалительный стресс / И. В. Павлова, Н. Д. Брошевицкая // Журнал эволюционной биохимии и физиологии. – 2021. – Т. 57, № 4. – С. 331–343.
17. Ясенявская А. Л. Влияние глипролинов на уровень фактора роста нервов крыс в условиях "социального" стресса / А. Л. Ясенявская, А. А. Цибизова, Л. А. Андреева [и др.] // Вестник Волгоградского государственного медицинского университета. – 2021. – № 4(80). – С. 55–59.
18. Дюжикова Н. А. Геном и стресс-реакция у животных и человека / Н. А. Дюжикова, Е. В. Даев // Экологическая генетика. – 2018. – Т. 16, № 1. – С. 4–26.
19. Разумникова О. М. Закономерности старения мозга и способы активации его компенсаторных ресурсов / О. М. Разумникова // Успехи физиологических наук. – 2015. – Т. 46, № 2. – С. 3–16.
20. Мурталиева В. Х. Изучение влияния экстракта *Astragalus physodes* L. на психоэмоциональное состояние животных в условиях "социального" стресса / В. Х. Мурталиева, А. А. Цибизова, М. У. Сергалиева [и др.] // Дальневосточный медицинский журнал. – 2022. – № 3. – С. 40–46.
21. Цибизова А. А. Оценка содержания основных групп биологически активных веществ и антиоксидантная активность экстракта листьев *Rubus caesius* L. / А. А. Цибизова, Е. Н. Бирюкова, М. У. Сергалиева [и др.] // Ученые записки Крымского федерального университета имени В.И. Вернадского. Биология. Химия. – 2024. – Т. 10, № 4. – С. 230–238.
22. Сергалиева М. У. Исследование биологической активности корневищ *Potentilla supina* L. / М. У. Сергалиева, А. А. Цибизова // Ученые записки Крымского федерального университета имени В.И. Вернадского. Биология. Химия. – 2024. – Т. 10, № 2. – С. 165–173.
23. Vyas S. Nootropic medicinal plants: Therapeutic alternatives for Alzheimer's disease / S. Vyas, S. Kothari, S. Kachhwaha // J. Herb. Med. – 2019. – No 17. – P. 100291.
24. Дудецкая Н. А. Состав и содержание фенольных соединений в надземной части *Scutellaria galericulata* (Lamiaceae) / Н. А. Дудецкая, Л. С. Теслов, Н. Ю. Сипкина // Растительные ресурсы. – 2011. – Т. 47, № 4. – С. 95–104.
25. Оленников Д. Н. Фенольные соединения шлемника байкальского (*Scutellaria Baicalensis* Georgi) / Д. Н. Оленников, Н. К. Чирикова, Л. М. Танхаева // Химия растительного сырья. – 2009. – № 4. – С. 89–98.
26. Уранова В. В. Обзор антиоксидантной активности флавоноидов растительного сырья рода шлемник (*Scutellaria*) / В. В. Уранова, Н. А. Ломтева, О. В. Близняк // Естественные науки. – 2021. – № 4(5). – С. 27–35.
27. Потапова А. А. Влияние сухого экстракта из корней шлемника Байкальского (*Scutellaria baicalensis* Georgi) на развитие окислительного стресса, вызванного циклофосфаном / А. А. Потапова, Е. Г. Доркина, Е. О. Сергеева, Л. А. Саджая // Современные проблемы науки и образования. – 2013. – № 6. – С. 667.

28. Бабаевская Д. И. Кортикостерон крови и гиппокампальный норадреналин при различной стратегии резульативного поведения: оценка поведения в тесте урпи с позиций теории функциональных систем / Д. И. Бабаевская, С. А. Калинин, Н. Ю. Чекмарева, А. Е. Умрюхин // Бюллетень медицинской науки. – 2018. – № 1(9). – С. 26–33.
29. Государственная фармакопея XV издание. – 2023. – Режим доступа: <http://femb.ru/femb/pharmacopea.php>, свободный (дата обращения 22.11.2024).
30. Уранова В. В. Изучение стресс-протективного и анксиолитического действий экстракта *Scutellaria baicalensis* Georgi в условиях «социального» стресса / В. В. Уранова, Н. А. Ломтева, О. Н. Кулешова // Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture. – 2023. – Т. 15, № 5. – С. 117–136.

STUDY OF THE EFFECT OF *SCUTELLARIA BAICALENSIS* ROOT EXTRACT ON SPATIAL «REFERENCE» MEMORY UNDER CONDITIONS OF SIMULATION OF «SOCIAL» STRESS

Uranova V. V.¹, Lomteva N. A.²

¹*Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Astrakhan State Medical University» of the Ministry of Health of the Russian Federation, Astrakhan, Russia*

²*Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Astrakhan State University named after V.N. Tatishchev», Astrakhan, Russia*
E-mail: fibi_cool@list.ru

This study analyzes the effect of *Scutellaria baicalensis* (SB) root extract on spatial "reference" memory of male nonlinear white rats exposed to "social" stress factors, which is an important aspect in the field of neurobiology and psychopharmacology. The roots of four-year-old SB, obtained by culturing in the Astrakhan region, became the object of the study. The extract was prepared by maceration using 70 % ethyl alcohol, followed by aging for 2 days at a temperature of 8–10 °C to precipitate ballast substances, which were separated by filtration to obtain a clear liquid. Then a thick extract was obtained by removing ethyl alcohol using a rotary evaporator (Hei-VAP Core HL, Germany) under vacuum at a temperature of no higher than 60 °C. Cognitive functions were assessed using the Morris water maze test used to study spatial navigation and memory, and the conditioned passive avoidance reflex test (CPAR) to analyze cognitive flexibility and memory based on associative learning. The study was conducted on 160 male nonlinear old rats divided into two groups of 80 individuals, whose behavior was studied on the Morris water maze and CPAR installations. Each of the samples implied differentiation of laboratory individuals into: I. control group (n=20); II. animals administered SB extract at a dose of 100 mg/kg/day (n=20); III-IV. aggressor individuals (n=10) and victims (n=10) exposed to intermale confrontations (n=10); V-VI. rats with dominant (n=10) and submissive (n=10) behavior types, receiving SB-based extract under conditions of "social" stress. Water for injection and extract (100 mg/kg/day) were administered intragastrically once a day for 14 days. "Social" stress was modeled by establishing intermale confrontations under conditions of paired sensory contact with its daily reproduction for 21 days. The effect of SB root extract on spatial "reference" memory was assessed using

behavioral tests – Morris water maze and CPAR. In the course of experiments conducted using the Morris and CPAR tests, it was determined that the *SB* root extract has a positive effect on the cognitive functions of the subjects under "social" stress. Evaluation of the results obtained during the tests using the Morris test method showed that the animals that received the *SB* extract demonstrated significantly better results in navigating the water maze. Analysis of the experimental data indicates restoration of spatial memory and learning ability in the event of a pathological condition due to the formation of inter-male confrontations, which is probably due to the fact that the flavonoid complex of the extract reduces the effect of "social" stress on the HPA-axis receptors that control the release of corticotiberin from the hypothalamus. The latter, in turn, is involved in inducing ACTH secretion by the pituitary gland, which leads to stimulation of the adrenal cortex and the subsequent release of corticosterone, which plays a key role in the body's response to stress. A reliable decrease in the concentration of corticosterone in the plasma of male nonlinear white rats exposed to the *SB* extract under conditions of paired sensory contact was recorded, which was expressed in a decrease in the severity of stress-induced changes, limiting hyperactivation of the central stress-realizing systems, correcting the endogenous antioxidant system of the body. It was shown that in experimentally created conditions of "social" stress, which negatively affects cognitive processes, the extract exhibited its neuroprotective properties, contributing to a decrease in the level of anxiety and stress in experimental animals, which is probably due to the rich flavonoid composition of polyphenolic compounds. Flavonoids found in the *SB* extract can participate in modulating the activity of hypothalamic neurons through interaction with GABA receptors, endogenously enhancing inhibitory signals, which makes it possible to reduce excess activity caused by "social" stress. Thus, the flavonoid complex helps maintain balance in neuroendocrine regulation, minimizing the risk of overloading the stress regulation system and preventing the development of stress-induced pathologies. In addition, it was found that baicalin, as one of the flavonoids, of the studied extract has antioxidant properties, which is expressed in the protection of hypothalamic cells from oxidative stress, supporting their function and resistance to external stress effects. Evaluation of the data obtained during the CPAR test also confirmed these findings: animals receiving the *SB* extract showed less susceptibility to cognitive impairment, which indicates the potential role of this plant component in improving stress resistance and maintaining normal memory functions. The results of the experimental study open up new possibilities for using the extract as a potential means for improving cognitive functions and combating the effects of stress, emphasizing the importance of further research into its pharmacological activity.

Keywords: "social" stress, *Scutellaria baicalensis*, "reference" memory, conditioned reflex of passive avoidance, neuroprotective effect.

References

1. Khmel A. A. Development of theoretical views on the impact of social stress as a health risk factor in the early 21st century. *Innovations and Investments*, **7**, 84 (2020).
2. Smoleva E. O. Social stress and strategies for overcoming it: analysis of concepts and models. *Social space*, **6(3)**, 3 (2020).

3. Vasilenko E. A. Psychological mechanisms of the impact of social stress on the socio-psychological adaptation of the individual. *Bulletin of the South Ural State Humanitarian Pedagogical University*, **4**, 279 (2019).
4. Kononova A. A. Medical and social problems of formation of neuropsychic health of children in conditions of chronic social stress. *Bulletin of the Northern State Medical University*, **1**, 219 (2019).
5. Pirozhkova V. O., Gorskaya G. B. Social and emotional intelligence as resources for overcoming stress by subjects of team and individual activity presenter. *Current issues in sports psychology and pedagogy*, **1(2)**, 36 (2022).
6. Batuev A. S., Polyakova O. N., Aleksandrov A. A. The influence of "social" stress during pregnancy in rats on the level of anxiety in offspring. *Journal of Higher Nervous Activity named after I. P. Pavlov*, **50(2)**, 281 (2000).
7. Moiseeva Yu. V., Khonicheva N. M., Airapetyanz M. G., Onufriev M. V., Lazareva N. A., Stepanichev M. Yu., Gulyaeva N. V. Increased anxiety levels in rats caused by social stress of overcrowding are not accompanied by changes in the nitroergic system in the brain. *Neurochemistry*, **26(1)**, 64 (2009).
8. Gavrilov V. V., Onufriev M. V., Moiseeva Yu. V., Aleksandrov Yu. I., Gulyaeva N. V. Chronic social stresses of isolation and crowding in rats differently affect the learning of instrumental behavior and the state of the hypothalamic-pituitary-adrenocortical system. *Journal of Higher Nervous Activity named after I. P. Pavlov*, **71(5)**, 710 (2021).
9. Vinogradova E. P., Kargin A. V., Ogienko N. A., Zhukov D. A. Effect of oxytocin and thyrotropin-releasing hormone on anxiety in male white rats under social stress. *Journal of Higher Nervous Activity named after I. P. Pavlov*, **67(3)**, 341 (2017).
10. Topol I. A., Kamysny A. M. Patterns and direction of changes in the intestinal immune system under conditions of chronic social stress. *Pathological Physiology and Experimental Therapy*, **60(2)**, 34 (2016).
11. Smoleva E. O. Measuring social stress: analysis of research methods and experience. *Social and humanitarian technologies*, **3(15)**, 70 (2020).
12. Pivina S. G., Shamolina T. S., Akulova V. K., Ordyan N. E. Sensitivity to social stress in female rats with altered stress reactivity of the pituitary-adrenocortical system. *Russian Physiological Journal named after I. M. Sechenov*, **93(11)**, 1319 (2007).
13. Gavrilov V. V., Onufriev M. V., Moiseeva Yu. V., Aleksandrov Yu. I., Gulyaeva N. V. Chronic social stresses of isolation and crowding in rats differently affect the learning of instrumental behavior and the state of the hypothalamic-pituitary-adrenocortical system. *Journal of Higher Nervous Activity named after I. P. Pavlov*, **71(5)**, 710 (2021).
14. Vishnivetskaya G. B., Avgustinovich D. F., Kudryavtseva N. N. Resistance of DBA/2J mice to the effects of chronic stress of social defeats. *Journal of Higher Nervous Activity named after I. P. Pavlov*, **66(3)**, 338 (2016).
15. Abramova O. V., Zubkov E. A., Zorkina Ya. A., Morozova A. Yu., Pavlov K. A., Chekhnin V. P. Social and cognitive impairments in offspring after exposure to ultrasound stress in rats during pregnancy. *Bulletin of Experimental Biology and Medicine*, **168(12)**, 687 (2019).
16. Pavlova I. V., Broshevitskaya N. D. Effect of enriched environment and social isolation on conditioned reflex fear in rats subjected to early proinflammatory stress. *Journal of Evolutionary Biochemistry and Physiology*, **57(4)**, 331 (2021).
17. Yasyavskaya A. L., Tsibizova A. A., Andreeva L. A., Myasoedov N. F., Bashkina O. A., Samotrueva M. A. Effect of glyprolines on the level of nerve growth factor in rats under conditions of "social" stress. *Bulletin of the Volgograd State Medical University*, **4(80)**, 55 (2021).
18. Dyuzhikova N. A., Daeu E. V. Genome and stress response in animals and humans. *Ecological genetics*, **16(1)**, 4 (2018).
19. Razumnikova O. M. Patterns of brain aging and methods of activating its compensatory resources. *Advances in Physiological Sciences*, **46(2)**, 3 (2015).
20. Murtalieva V. Kh., Tsibizova A. A., Sergalieva M. U., Bashkina O. A., Samotrueva M. A. Study of the influence of Astragalus physodes L. extract on the psychoemotional state of animals under conditions of "social" stress. *Far Eastern Medical Journal*, **3**, 40 (2022).

21. Tsibizova A. A., Biryukova E. N., Sergalieva M. U., Ganiullina A. R., Makalatia M. K. Evaluation of the content of the main groups of biologically active substances and antioxidant activity of the extract of *Rubus caesius* L. leaves. *Scientific notes of the Crimean Federal University named after V. I. Vernadsky. Biology. Chemistry*, **10(4)**, 230 (2024).
22. Sergalieva M. U., & Tsibizova A. A. Study of biological activity of rhizomes of *Potentilla supina* L. *Scientific notes of the Crimean Federal University named after V. I. Vernadsky. Biology. Chemistry*, **10(2)**, 165 (2024).
23. Vyas S., Kothari S. L., Kachhwaha S. Nootropic medicinal plants: Therapeutic alternatives for Alzheimer's disease. *Journal of Herbal Medicine*, 17, 100291 (2019).
24. Dudetskaya N. A., Teslov L. S., Sipkina N. Yu. Composition and content of phenolic compounds in the aboveground part of *Scutellaria galericulata* (Lamiaceae). *Plant resources*, **47(4)**, 95 (2011).
25. Dudetskaya N. A., Teslov L. S., Sipkina N. Yu. Composition and content of phenolic compounds in the aboveground part of *Scutellaria galericulata* (Lamiaceae). *Plant resources*, **4**, 89 (2009).
26. Uranova V. V., Lomteva N. A., Bliznyak O. V. Review of antioxidant activity of flavonoids of plant raw materials of the genus *Scutellaria*. *Natural Sciences*, **4(5)**, 27 (2021).
27. Potapova A. A., Dorkina E. G., Sergeeva E. O., Sadzhaya L. A. Effect of dry extract from the roots of Baikal skullcap (*scutellaria baicalensis georgi*) on the development of oxidative stress caused by cyclophosphamide. *Modern problems of science and education*, **6**, 667 (2013).
28. Babaevskaya D. I., Kalinin S. A., Chekmareva N. Yu., Umryukhin A. E. Blood corticosterone and hippocampal norepinephrine in different strategies of effective behavior: assessment of behavior in the URPI test from the standpoint of the theory of functional systems. *Bulletin of Medical Science*, **1(9)**, 26 (2018).
29. State Pharmacopoeia XV edition. – 2023. – Access mode: <http://femb.ru/femb/pharmacopea.php>, free (date of access 22.11.2024).
30. Uranova V. V., Lomteva N. A., Kuleshova O. N. Study of stress-protective and anxiolytic actions of *Scutellaria baicalensis* Georgi extract under "social" stress. *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*, **15(5)**, 117 (2023).

УДК 616-091.8:599.323

DOI 10.29039/2413-1725-2025-11-2-265-280

ИЗМЕНЕНИЯ ДВИГАТЕЛЬНОЙ АКТИВНОСТИ И УРОВНЯ ТРЕВОЖНОСТИ КРЫС РАЗНОГО ВОЗРАСТА ПРИ БЛОКИРОВАНИИ МОНОАМИНОКСИДАЗЫ-В

Хусаинов Д. Р., Аудинов И. Д., Туманянц К. Н., Семькин В. А.

*Институт биохимических технологий, экологии и фармации, ФГАОУ ВО «Крымский
федеральный университет имени В. И. Вернадского», Симферополь, Республика Крым, Россия
E-mail: gangliu@yandex.ru*

Предполагается, что в процессе старения подавление дофаминергической системы наблюдается и без выраженных патологических проявлений, но этот вопрос остается дискуссионным и особенно неоднозначно оценивается роль центрального дофамина в старческом увеличении уровня тревожности. В связи с отмеченным в настоящем исследовании определялись изменения двигательной активности и уровня тревожности крыс возрастом 7 месяцев, 12 и 24 месяца в условиях блокады моноаминоксидазы-В. При блокировании моноаминоксидазы-В и увеличении содержания центрального дофамина, получен однозначный результат, что с возрастом его значимость в контроле уровня тревожности снижается, что, вероятно, приводит к падению стрессоустойчивости и увеличению уровня тревожности и этот феномен проявляется уже при 12-ти месячном возрасте крыс.

Ключевые слова: двигательная активность, индекс тревожности, моноаминоксидаза, дофамин, возрастные изменения.

ВВЕДЕНИЕ

С возрастом наблюдается постепенное снижение двигательной активности человека [1] и животных [2]. В основе этого находится целый перечень естественных причин: функциональное ухудшение кровообращения особенно в микроциркуляторном русле, снижение подвижности суставов, снижение уровня метаболических процессов другие возрастные изменения [3], усиливают их влияние гиподинамия и гипокинезия [4], старческое одиночество [5]. Конечно, не маловажное значение имеют различного рода патологические процессы, связанные с травмами, нарушениями метаболизма, воспалительные процессы и ряд других, в том числе, возрастных заболеваний. Одним из важнейших факторов возрастного угнетения двигательной активности является не только снижение функциональных возможностей мышц, но и пластичности и общих функциональных возможностей центральной нервной системы и ее периферических отделов [6, 7]. Распространенным возрастным проявлением угнетения двигательной активности является двигательная заторможенность различных форм, преастения (в возрасте 65 лет у 48–50 % населения) и синдром старческой астении (в возрасте 65 лет у 10–

13 % населения) в основе чего находятся не только двигательные, но и психоэмоциональные, когнитивные возрастные изменения и нарушения [8]. При этом, выраженность старческого угнетения когнитивных процессов в последние годы снижена, но общая направленность возрастных изменений остается неизменной [1]. Отметим, что возрастным изменениями характерно снижение устойчивости к стрессу, возрастание тревожности и тревоги, развитие продепрессивных проявлений [3]. Во всех перечисленных изменениях существенное значение имеет дофаминергическая система [9, 10], которая принимает участие в регуляции двигательной активности и психоэмоциональных функций. Бесспорное угнетение активности дофаминергической системы показано при старческой деменции, болезни Паркинсона [11] в ряде других заболеваний [10]. Предполагается, что в процессе старения подавление дофаминергической системы наблюдается и без выраженных патологических проявлений, но этот вопрос остается дискуссионным и особенно неоднозначно оценивается роль моноаминоксидазы и центрального дофамина [12, 13], в том числе в возрастном увеличении уровня тревожности условно здорового человека. В связи с отмеченным в настоящем исследовании была поставлена следующая цель: определить изменения двигательной активности и уровня тревожности крыс возрастом 7 месяцев, 12 и 24 месяца при блокировании МАО-В.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Исследование проводилось в три экспериментальных этапа в период с 2022 по 2024 годы.

Первый экспериментальный этап.

Для исследования была сформирована экспериментальная выборка из 30 крыс-самцов линии Wistar (Филиал НИЦ «Курчатовский институт» – ПИЯФ – ПЛЖ «Рапполово») возрастом 7 месяцев. На всех этапах эксперимента соблюдались необходимые требования содержания животных по длине светового дня (12/12 часов), температурному режиму (20–24 °С), доступности питьевых растворов, для кормления использовался стандартизированный сухой корм ООО «Белгородские корма» ГОСТ 23469-2019, применялся стандартизированный посуточный кукурузный подстил для грызунов от ООО «Зилубаг». Кроме того, поддерживались условия стерильности растворов, шприцов и всех других использованных элементов.

Животные были разделены на следующие группы:

- группа 1 – 10 особей;
- группа 2 – 10 особей;
- группа 3 – 10 особей.

Все группы тестировались сначала в тесте «Открытое поле», через 10 дней в тесте «Крестообразный приподнятый лабиринт».

В тесте «Открытое поле» оценивалась двигательная активность и ИТ животных, в тесте «Крестообразный приподнятый лабиринт» – ИТ.

ИТ рассчитывался по формуле $(t_{\text{общее}} - t_{\text{отк}}) / t_{\text{общее}}$, где $t_{\text{общее}}$ – время тестирования в установке – 5 мин, $t_{\text{отк}}$ – суммарное время нахождения в открытых зонах тестовой установки. Для открытого поля $t_{\text{отк}}$ – это суммарное время в зонах 1 (центр) и 2

(пространство возле центра – внутренний круг, рис. 1); для КПЛ – суммарное время в центре и открытых рукавах (зона 1, рис. 2). Смысловой подход такого расчета достаточно простой: чем дольше животное находится в открытых зонах, тем меньше уровень тревожности. Следовательно, если $t_{отк}=t_{общее}$, то ИТ минимален и равен нулю и, наоборот, если $t_{отк}=0$ – ИТ максимален и равен единице.

Время нахождения каждой крысы в обеих тестовых установках составляло 5 минут. Этот отрезок времени записывался видеокамерой высокого разрешения, затем видеозапись автоматически анализировалась в программном комплексе Noldus EthoVision 12.

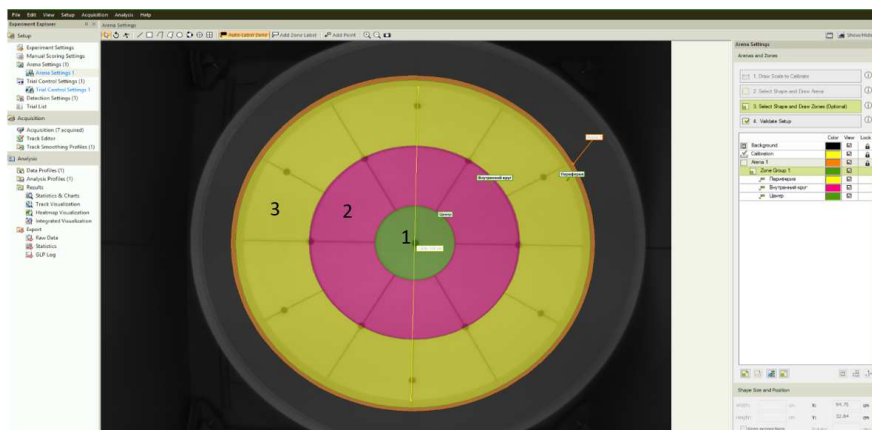


Рис. 1. Внешний вид арены открытого поля в программном пакете Noldus EthoVision.

Примечания: 1 – центр, 2 – внутренний круг, 3 – пристеночная зона.

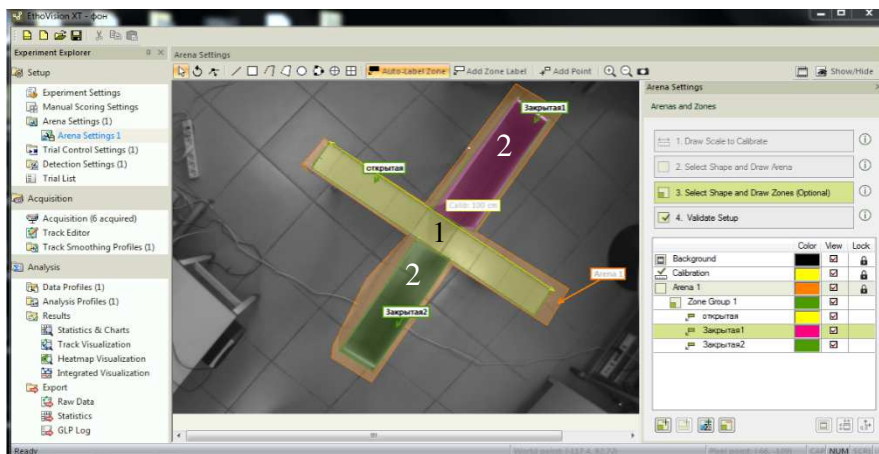


Рис. 2. Внешний вид арены крестообразного приподнятого лабиринта в программном пакете Noldus EthoVision.

Примечания: 1 – открытая зона (открытые рукава + центр), 2 – закрытая зона (закрытые рукава).

Спустя десять дней после описанных действий крысам группы 1 (возраст 7 месяцев) внутрибрюшинно вводили блокатор МАО-В селегилин в дозе 2,5 мг/кг и через 150 минут после введения блокатора проводили исследование поведенческой активности животных только в тесте «Открытое поле». Длительность блокады определялась согласно Borbe Н. [14] и наших предыдущих исследований [15].

Второй экспериментальный этап.

На втором исследовательском этапе использовались животные группы 2 по достижении ими возраста 12 месяцев. Сначала проводилось исследование поведенческой активности животных в тесте «Открытое поле»; затем через 10 дней животным внутрибрюшинно вводили блокатор МАО-В селегилин в дозе 2,5 мг/кг и через 150 минут после введения блокатора проводили исследование поведенческой активности животных в тесте «Открытое поле».

Третий экспериментальный этап.

На третьем исследовательском этапе использовались животные группы 3 по достижении ими возраста 24 месяца. Отметим, что до этого возраста дожило 8 крыс. Далее на 8 крысах проводилось исследование поведенческой активности в тесте «Открытое поле». Через 10 дней животным внутрибрюшинно вводили блокатор МАО-В селегилин в дозе 2,5 мг/кг и через 150 минут после введения блокатора проводили исследование поведенческой активности животных в тесте «Открытое поле».

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. В случае попарного сравнения зависимых выборок применялся, не смотря на нормальность распределения, Т-критерий Вилкоксона, в случае независимых массивов – Т-критерий Манна-Уитни; т.к. выборка $n=10$ и менее, все-таки, является недостаточно мощной для Т-критерия Стьюдента.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

В силу того, что исследование проводилось в несколько экспериментальных этапов и на каждом осуществлялся свой перечень исследовательских и действий анализа; считаем целесообразным изложить результаты согласно этим этапам анализа с рубрикацией каждого из них.

Анализ изначальных поведенческих показателей животных трех исследовательских групп.

Итак, в начале исследования было сформировано три группы животных одного возраста: группа 1 – 10 самцов возрастом 7 месяцев; группа 2 – 10 самцов возрастом 7 месяцев и группа 3 – 10 самцов возрастом 7 месяцев. Первоначально необходимо было оценить «стартовую» однотипность крыс всех трех выборок. Для этого поведенческие показатели животных были подвергнуты статистическому анализу по критериям Шапиро-Уилка, Барлета и Тьюки. В результате нормальное распределение подтвердилось для всех групп животных, как по значениям времени нахождения крыс в различных пространственных зонах тестовой установки, так и по ИТ. Также, применение критерия Барлета показало однородность дисперсии и

дисперсионный анализ с применением критерия Тьюки межгрупповых отличий по показателю пройденной дистанции и скорости передвижения крыс в тесте «Открытое поле» не выявил (рис. 3).

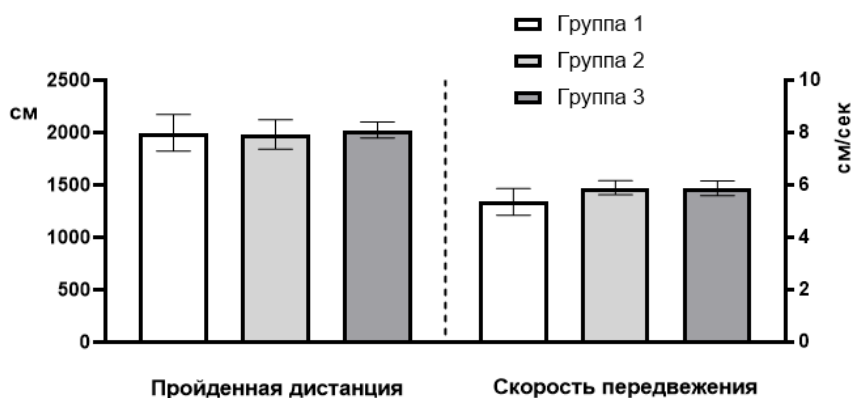


Рис. 3. Показатели пройденной дистанции и скорости передвижения крыс трех групп в тесте «Открытое поле».

Значение пройденной дистанции в группе 1 составило $1997,0 \pm 174,0$ см, скорости передвижения – $5,36 \pm 0,51$ см/сек; в группе 2 – $1982,0 \pm 140,1$ см и $5,89 \pm 0,27$ см/сек; в группе 3 – $2025,0 \pm 76,7$ см и $5,87 \pm 0,28$ см/сек.

Дисперсионному анализу с применением критерия Тьюки подвергся и показатель ИТ, который был рассчитан по тесту «Открытое поле». В результате этого анализа межгрупповых отличий в уровне тревожности не обнаружено (рис. 4).

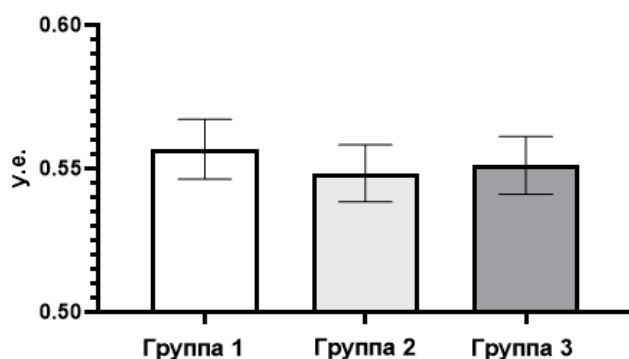


Рис. 4. Значение индекса тревожности крыс трех групп, рассчитанного по показателям теста «Открытое поле».

Показатель ИТ, который рассчитывался по тесту «Открытое поле» в группе 1 в среднем равнялся $0,56 \pm 0,01$ у.е.; в группе 2 – $0,54 \pm 0,01$ у.е.; в группе 3 – $0,55 \pm 0,012$ у.е.

На данном экспериментальном этапе мы решили провести сравнительный анализ ИТ, который рассчитан по тесту «Открытое поле» с ИТ, рассчитанным в

специализированном тесте по изучению уровня тревожности – «Крестообразный приподнятый лабиринт». Для этого животные всех трех групп спустя семь дней после тестирования в тесте «Открытое поле» тестировались в тесте «Крестообразный приподнятый лабиринт» по описанной в разделе методике в предшествующем разделе настоящей статьи.

Так, в тесте «Крестообразный приподнятый лабиринт» показатель ИТ в группе 1 в среднем равнялся $0,54 \pm 0,012$ у.е.; в группе 2 – $0,55 \pm 0,01$ у.е.; в группе 3 – $0,55 \pm 0,01$ у.е. (рис. 5).

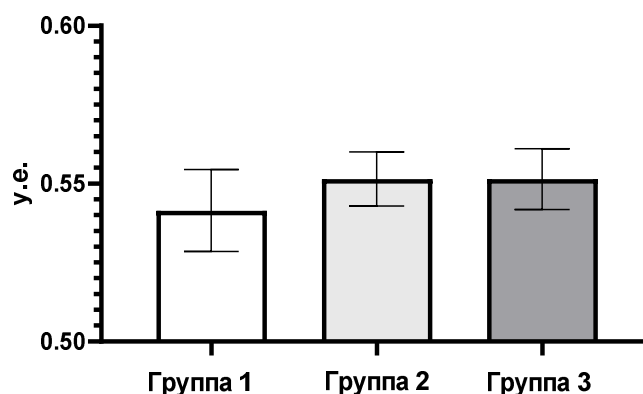


Рис. 5. Значение индекса тревожности крыс трех групп, рассчитанного по показателям теста «Крестообразный приподнятый лабиринт».

Далее был проведен сравнительный анализ значения ИТ, рассчитанного по тестам «Открытое поле» и «Крестообразный приподнятый лабиринт» (рис. 6). В результате проведенного сравнительного анализа никаких отличий обнаружено не было.

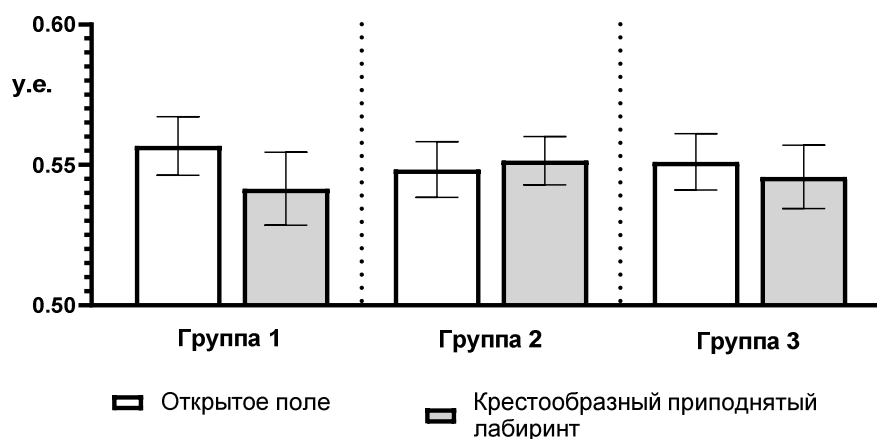


Рис. 6. Сравнение индекса тревожности крыс трех групп, рассчитанного по показателям теста «Открытое поле» и «Крестообразный приподнятый лабиринт».

Таким образом, животные всех групп в рамках своего изначального уровня двигательной активности и тревожности характеризовались однородностью, которая необходима для нивелирования артефакта «стартовых» отличий.

Также, было показано, что ИТ, который рассчитывался по поведенческим показателям животных в тесте «Открытое поле» и в тесте «Крестообразный приподнятый лабиринт» имеет одинаковое значение; поэтому на последующих экспериментальных этапах для оценки уровня тревожности животных мы ограничились тестом «Открытое поле».

Сравнение поведенческих показателей животных разных возрастных групп.

После первого исследовательского этапа животные группы 2 находились в стандартных условиях вивария до достижения возраста 12 месяцев. При достижении указанного возраста проводилось исследование поведенческих реакций животных в тесте «Открытое поле».

Крысы третьей группы находились в стандартных условиях вивария до достижения возраста 24 месяцев. При достижении указанного возраста, также, проводилось исследование поведенческих реакций животных в тесте «Открытое поле».

После, того, как были накоплены массивы данных поведенческих показателей в числовом виде, был осуществлен межгрупповой статистический анализ этих массивов. В результате было выявлено, что двигательная активность животных по показателю «пройденная дистанция» имеет линейную тенденцию к уменьшению, а «скорость передвижения» более консервативный показатель. Итак, у крыс (группа 1) возрастом 7 месяцев (результаты получены на первом экспериментальном этапе, который описан ранее по тексту) значение пройденной дистанции составило $1997,0 \pm 174,0$ см, скорости передвижения – $5,36 \pm 0,51$ см/сек. Крысы возрастом 12 месяцев за 5 минут нахождения в тестовом пространстве «Открытого поля» преодолели дистанцию в $1643,0 \pm 258,5$ см со средней скоростью передвижения $5,43 \pm 0,86$ см/сек без достоверного уровня отличий от соответствующих показателей крыс семимесячного возраста (рис. 7).

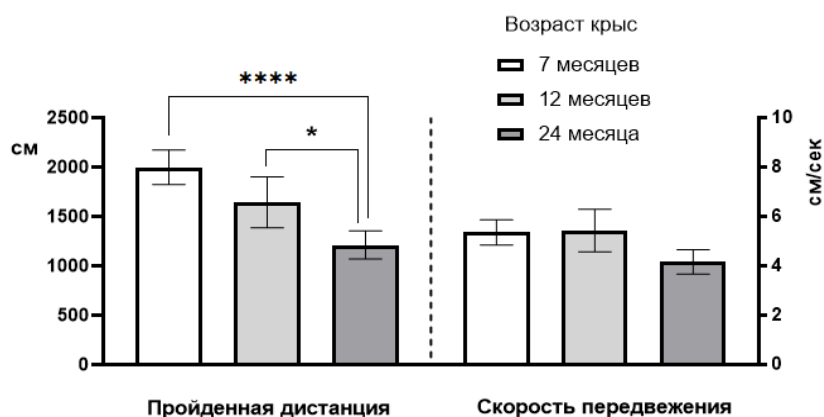


Рис. 7. Сравнение пройденной дистанции и скорости передвижения крыс разных возрастов в тесте «Открытое поле».

Примечания: * – отличия при $p < 0,05$, **** – отличия при $p < 0,0001$.

Крысы возрастом 24 месяца по показателю «пройденная дистанция» продемонстрировали значение в $1212,0 \pm 142,6$ см с достоверным уровнем отличий от соответствующего показателя семимесячных животных при $p < 0,0001$ и от годовалых крыс при $p < 0,05$ (рис. 7).

Средняя скорость передвижения крыс возрастом 24 месяца составила $4,16 \pm 0,49$ см/сек без достоверного уровня отличий от соответствующего показателя, как крыс семимесячного возраста, так и годовалых крыс (рис. 7).

Далее было проведено сравнения ИТ между крысами трех возрастных групп и было показано, что этот показатель линейно возрастает с возрастом животных (рис. 8).

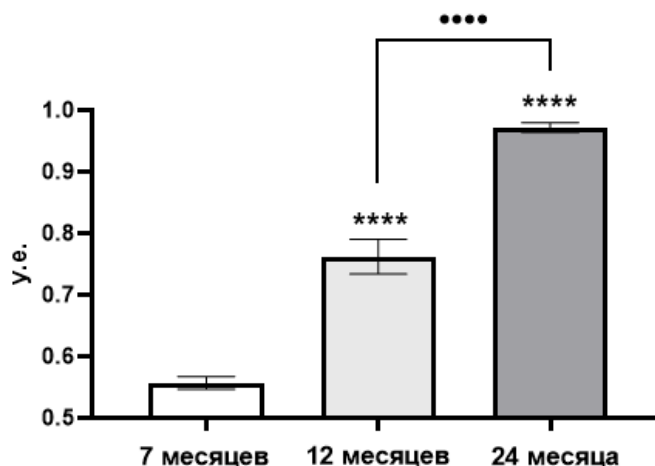


Рис. 8. Сравнение индекса тревожности крыс разных возрастов.

Примечания: **** – отличия при $p < 0,0001$ от индекса тревожности крыс возрастом 7 месяцев; **** – отличия при $p < 0,0001$.

В группе крыс возрастом 7 месяцев ИТ в среднем равнялся $0,56 \pm 0,01$ у.е., в группе животных возрастом 12 месяцев ИТ составил $0,76 \pm 0,03$ у.е. при уровне отличий от семимесячных крыс $p < 0,0001$. В группе крыс возрастом 24 месяца ИТ в среднем равнялся $0,97 \pm 0,01$ у.е. при уровне отличий от семимесячных крыс $p < 0,0001$ и от годовалых животных, также, при $p < 0,0001$.

Таким образом, экспериментально доказано, что с возрастом у крыс линейно снижается показатель пройденной дистанции и увеличивается уровень тревожности.

Сравнение эффектов блокады МАО-В у животных разных возрастных групп.

На последующем экспериментальном этапе изучались эффекты блокады МАО-В у крыс трех возрастных групп: 7 месяцев, 12 месяцев и 24 месяца. Было выяснено, что у животных возрастом 7 месяцев спустя 150 минут блокады МАО-В наблюдается достоверное увеличение пройденной дистанции от $1997,0 \pm 174,0$ см до

2112,0±168,4 см при $p<0,05$ (рис. 9). Все остальные показатели двигательной активности по всем возрастным группам оставались, по сути, неизменными.

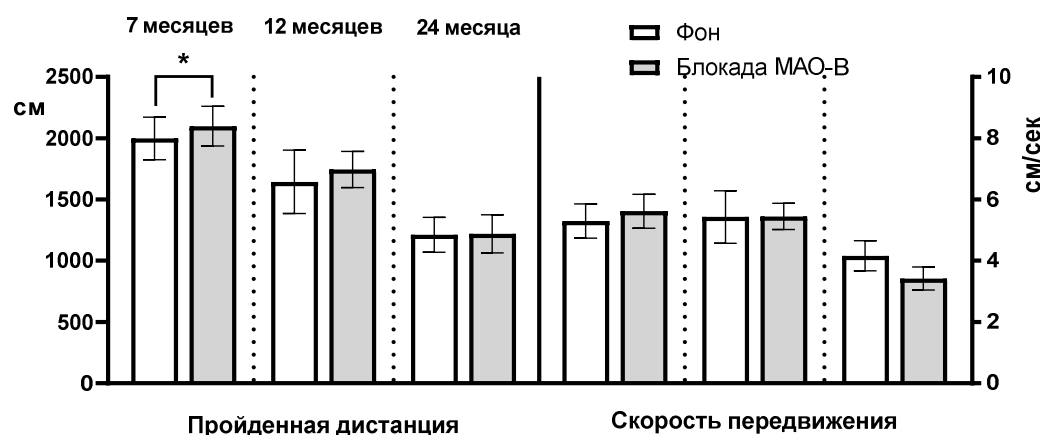


Рис. 9. Сравнение пройденной дистанции и скорости передвижения крыс в разных возрастных группах до (фон) и после блокады MAO-B.

Примечания: * – отличия при $p<0,05$.

По показателю ИТ до и после блокады MAO-B во всех возрастных группах животных был получен однонаправленный эффект: спустя 150 минут блокады MAO-B ИТ достоверно снижался у крыс возрастом 7 и 12 месяцев, но у животных возрастом 24 месяца это уменьшение не достигало достоверного уровня значимости (рис. 8). Так, у семимесячных крыс до блокады MAO-B ИТ составлял $0,56\pm0,01$ у.е., после блокады MAO-B – $0,48\pm0,015$ у.е. при $p<0,05$; у годовалых животных до – $0,76\pm0,03$ у.е., после – $0,66\pm0,01$ у.е. при $p<0,05$; у двухлетних животных до – $0,97\pm0,01$ у.е., после – $0,95\pm0,01$ у.е. при $p=0,078$ (рис. 10).

По результатам настоящего исследования убедительно показано, что с возрастом постепенно снижается уровень двигательной активности и увеличивается ИТ. Полученные данные совпадают, как с результатами других авторов [1, 2, 16], так и с данными наших предыдущих исследований [17], но и дополняют их. Так, как правило, для возрастного сравнения обычно используются животные возрастом 6–7 месяцев и 16–20 месяцев [2, 9, 17], т.е. крайних возрастных позиций: «молодые» / «старые». Нам удалось экспериментально подтвердить, что и в позиции «зрелые» (возраст крыс 12 месяцев) уже проявляется линейный вектор на снижение двигательной активности и повышение ИТ. При этом, снижение двигательной активности еще не достигает достоверного уровня значимости, а ИТ увеличивается достоверно. Следовательно, показатель двигательной активности у крыс линии Wistar более сохранен в возрастном аспекте, чем механизмы контроля психоэмоциональных характеристик. Мы, в первую очередь, связывает этот экспериментальный факт со стрессоустойчивостью животных: тест «Открытое поле», хотя и является слабо оверсивным тестом, но, все-таки, моделирует стресс

ситуацию, в которую помещаются экспериментальные животные. Значит с возрастом снижает устойчивость к стресс воздействиям, что совпадает с литературными данными [16, 18], но это снижение реализуется заметно раньше, чем начинает достоверно проявляться угнетение двигательной активности. Мы предполагаем, что стрессоустойчивость является более возрастозависимым показателем по сравнению с уровнем двигательной активности. Озвученное предположение требует дальнейшей экспериментальной верификации.

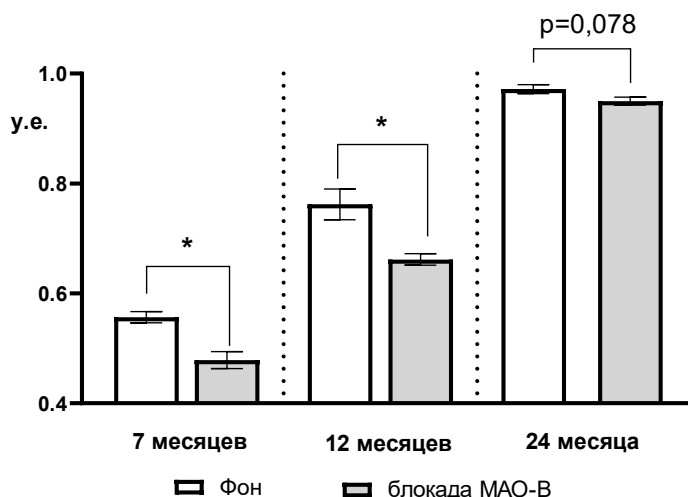


Рис. 10. Сравнение индекса тревожности крыс в разных возрастных группах до (фон) и после блокады МАО-В.

Примечания: * – отличия при $p < 0,05$.

Также, в настоящем исследовании были сформированы выборки животных с изначальным уровнем ИТ порядка 0,55 у.е., что можно отнести к среднему уровню тревожности и показатели двигательной активности, также, находились в диапазоне среднего уровня, по крайней мере, по использованной для отбора выборке животных. Поэтому обнаруженные экспериментальные закономерности справедливы для крыс линии Wistar со средним уровнем тревожности и двигательной активности. Считаем, что у крыс с другими индивидуально-типологическими характеристиками уровня тревожности и двигательной активности качественные характеристики возрастных изменений не будут демонстрировать выраженного уровня различий, но количественные могут заметно отличаться. Например, выраженность изменений или возрастной диапазон их проявления, но это предположение, также, требует экспериментальной проверки.

Отметим, что по нашим результатам ИТ, определенный в тестах «Открытое поле» и «Крестообразный приподнятый лабиринт» совпал и не демонстрировал достоверного уровня отличий, что еще раз подтверждает адекватность методики оценки ИТ в тесте «Открытое поле». Конечно, для более детального и

специализированного исследования проявлений тревожности остается тест «Крестообразный приподнятый лабиринт».

Касательно функциональной роли центрального дофамина, а мы связываем блокаду МАО-В с увеличением содержания центрального дофамина, по ИТ получен однозначный результат: с возрастом его значимость в контроле уровня тревожности снижается. Т.е. при старении активность дофаминергической системы уменьшается [11], что приводит к падению стрессоустойчивости и увеличению уровня тревожности. Отмеченная закономерность проявилась уже у крыс возрастом 12 месяцев.

По уровню двигательной активности получен не однозначный результат: следовало ожидать, что увеличение концентрации центрального дофамина окажет более выраженное влияние на возрастных крыс, но по экспериментальному факту, наоборот, отреагировали только «молодые» крысы возрастом 7 месяцев. Возможно, возрастные изменения в дофаминергической системе в первую очередь связаны не со снижением содержания центрального дофамина, а с падением плотности и чувствительности дофаминергических рецепторов. Отмеченному концепту соответствуют и результаты по возрастной динамике ИТ: с возрастом снижается эффективность влияния уровня центрального дофамина на ИТ.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, с возрастом у крыс линии Wistar наблюдается угнетение функциональной значимости дофаминергической системы, что выражается в снижении ее функциональной вовлеченности в контроль двигательного и психоэмоционального поведенческого фактора и эта закономерность проявляется линейно.

Работа выполнена на оборудовании ЦКП «Экспериментальная физиология и биофизика» и расходных материалах НКЦ «Технологии здоровья и реабилитации» в рамках инициативной темы № АААА-А21-121011990099-6.

Список литературы

1. Gerstorf D. Today's Older Adults Are Cognitively Fitter Than Older Adults Were 20 Years Ago, but When and How They Decline Is No Different Than in the Past. / Gerstorf D., Ram N., Drewelies J., Duezel S. [et al.] // Psychol Sci. – 2023. – 34(1). – P. 22–34. doi: 10.1177/09567976221118541. Epub 2022 Oct 25. PMID: 36282991.
2. Graber T. G. Measuring Exercise Capacity and Physical Function in Adult and Older Mice. / Graber T. G., Maroto R., Fry C. S., Brightwell C. R., Rasmussen B. B. // J Gerontol A Biol Sci Med Sci. – 2021 – 76(5): – 819–824. doi: 10.1093/gerona/glaa205. PMID: 32822475; PMCID: PMC8087272.
3. Пристром М. С. Старение физиологическое и преждевременное. Современный взгляд на проблему. / Пристром М. С., Пристром С. Л., Семенов И. И. // Международные обзоры: клиническая практика и здоровье. – 2017. – №. 5–6. – С. 40–64.
4. Кузнецова З. М. Двигательная активность как средство профилактики возрастных изменений / Кузнецова З. М., Максимова Е. Ф. // Педагогико-психологические и медико-биологические проблемы физической культуры и спорта. – 2007. – № 4 (5). – С. 28–38.

5. Buchman A. S. Loneliness and the rate of motor decline in old age: the rush memory and aging project, a community-based cohort study. / Buchman A. S., Boyle P. A., Wilson R. S. et al. // *BMC Geriatr* – 2010. – 10. – P. 77 <https://doi.org/10.1186/1471-2318-10-77>
6. Wrucke D. J. Neural and muscular contributions to the age-related differences in peak power of the knee extensors in men and women. / Wrucke D. J., Kuplic A., Adam M. D., Hunter S. K., Sundberg C. W. // *J Appl Physiol* (1985). – 2024 – 137(4) – P. 1021–1040. doi: 10.1152/jappphysiol.00773.2023. Epub 2024 Aug 29. PMID: 39205638; PMCID: PMC11486474.
7. Guo Y. Sex disparities of human neuromuscular decline in older humans. / Guo Y., Jones E. J., Smart T. F. [et al.] // *J Physiol*. – 2025 – 603(1) – P. 151–165. doi: 10.1113/JP285653. Epub 2024 Jun 10. PMID: 38857412; PMCID: PMC11702916.
8. Gonzalez M. C. Cognitive and Motor Decline in Dementia with Lewy Bodies and Parkinson's Disease Dementia. / Gonzalez M. C., Tovar-Rios D. A., Alves G. [et al.] // *Mov Disord Clin Pract*. – 2023 – 10(6) – P. 980–986. doi: 10.1002/mdc3.13752. PMID: 37332651; PMCID: PMC10272890.
9. Sagheddu C. Cognitive performance in aged rats is associated with differences in distinctive neuronal populations in the ventral tegmental area and altered synaptic plasticity in the hippocampus. / Sagheddu C., Stojanovic T., Kouhnavardi S. [et al.] // *Front Aging Neurosci*. – 2024 – 16 – 1357347. doi: 10.3389/fnagi.2024.1357347. PMID: 38469164; PMCID: PMC10926450.
10. Sanfeliu C. New insights in animal models of neurotoxicity-induced neurodegeneration. / Sanfeliu C., Bartra C., Suñol C., Rodríguez-Farré E. // *Front Neurosci*. – 2024 – 17 – 1248727. doi: 10.3389/fnins.2023.1248727. PMID: 38260026; PMCID: PMC10800989.
11. Soto I. Aging accelerates locomotor decline in PINK1 knockout rats in association with decreased nigral, but not striatal, dopamine and tyrosine hydroxylase expression. / Soto I., McManus R., Navarete W. [et al.] // *Exp Neurol*. – 2024 – 376 – 114771. doi: 10.1016/j.expneurol.2024.114771. Epub 2024 Apr 4. PMID: 38580154.
12. Tábi T. Selegiline: a molecule with innovative potential. / Tábi T., Vécsei L., Youdim M.B., Riederer P., Szökö 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.
13. 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. [et al.] // *Eur Neuropsychopharmacol*. – 2023 – 72 – P. 60–78. doi: 10.1016/j.euroneuro.2023.03.012. Epub 2023 Apr 21. PMID: 37087864.
14. Borbe H. O. Kinetic evaluation of MAO-B-activity following oral administration of selegiline and desmethyl-selegiline in the rat / Borbe H. O., Niebch G., Nickel B. // *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, 1990. Springer-Verlag, Wien – New York. – P. 131–137. DOI: 10.1007/978-3-7091-9113-2_18*
15. Изменение индекса депрессивности у низко-, средней высокодепрессивных крыс в зависимости от длительности блокады моноаминоксидазы-B / Д. Р. Хусаинов, К. Н. Туманянц, И. Д. Аудинов, В. Р. Иванова // *Ученые записки Крымского федерального университета имени В.И. Вернадского. Биология. Химия*. – 2024. – Т. 10, № 4. – С. 217–229. – DOI 10.29039/2413-1725-2024-10-4-217-229. – EDN BRJIRJ.
16. Gao X. Accelerated biological aging and risk of depression and anxiety: evidence from 424,299 UK Biobank participants. / Gao X., Geng T., Jiang M., Huang N., Zheng Y., Belsky D. W., Huang T. // *Nat Commun*. – 2023 – 14(1) – 2277. doi: 10.1038/s41467-023-38013-7.
17. Participation of dopaminergic system in the dynamics of behavioral reactions of aging rats of both sexes under daily testing in the open field / E. Birukova, D. Khusainov, A. Chajka [et al.] // *BIO Web of Conferences*. – 2021. – Vol. 30. – P. 06003. – DOI 10.1051/bioconf/20213006003. – EDN ONVIPE.
18. Srifuengfung M. Perioperative Anxiety and Depression in Older Adults: Epidemiology and Treatment. / Srifuengfung M., Abraham J., Avidan M. S., Lenze E. J. // *Am J Geriatr Psychiatry*. – 2023 – 31(11) – P. 996–1008. doi: 10.1016/j.jagp.2023.07.002. Epub 2023 Jul 8. PMID: 37482501; PMCID: PMC10592367.

CHANGES IN MOTOR ACTIVITY AND ANXIETY LEVELS OF RATS OF DIFFERENT AGES UPON BLOCKING MONOAMINE OXIDASE-B

Khusainov D. R., Aidinov I. D., Tumanyants K. N., Semykin V. A.

*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*

With age, there is a gradual decrease in motor activity in humans [1] and animals [2]. This is based on a whole list of natural causes: functional deterioration of blood circulation especially in the microcirculatory channel, decreased mobility of joints, decreased level of metabolic processes other age-related changes [3], hypodynamia and hypokinesia [4], senile loneliness [5] increase their influence. One of the most important factors of age-related suppression of motor activity is not only a decrease in the functional capabilities of muscles, but also in the plasticity and general functional capabilities of the central nervous system and its peripheral departments [6, 7]. Psychoemotional, cognitive age-related changes and disorders are essential [8]. It should be noted that age-related changes are characterised by a decrease in stress tolerance, an increase in anxiety and worry, and the development of prodepressive manifestations [3]. The dopaminergic system is of significant importance in all the above changes [9, 10]. Undeniable suppression of the activity of the dopaminergic system is shown in senile dementia, Parkinson's disease [11] in a number of other diseases [10]. The question of involvement of the dopaminergic system in senile changes remains debatable and the role of monoamine oxidase and central dopamine [12, 13], including in the age-related increase in the anxiety level of a conditionally healthy person, is particularly ambiguous. In connection with the above-mentioned, the following objective was set in the present study: to determine the changes in motor activity and anxiety level in 7-month-old, 12-month-old and 24-month-old rats when MAO-B was blocked.

The study was conducted in three experimental phases from 2022 to 2024.

The first experimental stage.

An experimental sample of 30 male Wistar rats (animal kennel 'Rappolovo') aged 7 months was formed for the study. At all stages of the experiment, the necessary requirements for animal housing were observed in terms of daylight hours (12/12 hours), temperature regime (20–24⁰ C), availability of drinking solutions, standardised dry fodder of LLC 'Belgorodskaya Korma' GOST 23469-2019 was used for feeding, standardised daily corn bedding for rodents from LLC 'Zilubag' was used. In addition, sterile conditions were maintained for solutions, syringes and all other items used.

The animals were divided into the following groups:

- group 1 – 10 species;
- group 2 – 10 species;
- group 3 – 10 species.

All groups were tested first in the 'Open field' test, 10 days later in the 'Cross-shaped elevated maze' test.

Motor activity and anxiety index (AI) of animals were evaluated in the 'Open field' test, and in the 'Raised cross-shaped maze' test – AI.

AI was calculated according to the formula $(t_{\text{total}} - t_{\text{open}})/t_{\text{total}}$, where t_{total} is the time of testing in the setup – 5 min, t_{open} is the total time spent in the open zones of the test setup. For the 'Open field', t_{open} is the total time in zones 1 (centre) and 2 (space near the centre – inner circle, Fig. 1); for 'Raised cross-shaped maze' test – t_{open} time in the centre and open arms (zone 1, Fig. 2). The semantic approach of this calculation is quite simple: the longer the animal stays in the open zones, the lower the level of anxiety. Consequently, if $t_{\text{open}} = t_{\text{total}}$, AI is minimal and equal to zero and, conversely, if $t_{\text{open}} = 0$ – AI is maximal and equal to one.

Ten days after the described actions, rats of group 1 (age 7 months) were intraperitoneally injected with the MAO-B blocker selegiline at a dose of 2.5 mg/kg and 150 minutes after the blocker administration the behavioural activity of the animals was studied only in the 'Open Field' test. The duration of blockade was determined according to Borbe H. [14] and our previous studies [15].

Second experimental phase.

At the second research stage, animals of group 2 were used when they reached the age of 12 months. First, the study of behavioural activity of animals in the 'Open field' test was carried out; then after 10 days animals were intraperitoneally injected with MAO-B blocker selegiline at a dose of 2.5 mg/kg and 150 minutes after the blocker injection the study of behavioural activity of animals in the 'Open field' test was carried out.

The third experimental stage.

At the third research stage, animals of group 3 were used when they reached the age of 24 months. Note that 8 rats survived to this age. Further, the study of behavioural activity in the 'Open Field' test was carried out on 8 rats. After 10 days, animals were intraperitoneally injected with MAO-B blocker selegiline at a dose of 2.5 mg/kg, and 150 minutes after the blocker administration, the behavioural activity of animals was studied in the 'Open Field' test.

Statistical analysis of all arrays was performed in the GraphPadPrism 8.0 programme using descriptive statistics, the Shapiro-Wilk criterion, the variance of the arrays was compared using the Barlet criterion, and for multiple comparisons the analysis of variance and Tukey test were used. In the case of pairwise comparison of dependent samples, the Wilcoxon T-criterion was used, despite the normality of the distribution, and in the case of independent arrays, the Mann-Whitney T-criterion was used.

It was shown that animals of all groups within their initial level of motor activity and anxiety were characterised by homogeneity, which is necessary for levelling the artifact of 'starting' differences. Also, it was shown that AI, which was calculated from the behavioural indicators of animals in the 'Open field' test and in the 'Cross-shaped elevated maze' test, has the same value; therefore, in the subsequent experimental stages we limited ourselves to the 'Open field' test to assess the level of anxiety of animals.

Comparison of behavioural performance of animals of different age groups.

Thus, in rats (group 1) aged 7 months (the results were obtained at the first experimental stage, which is described earlier in the text), the value of the travelled distance was 1997.0 ± 174.0 cm and the speed of movement was 5.36 ± 0.51 cm/sec. Rats aged 12 months for 5 minutes of being in the test space 'Open field' overcame the

distance of $1643,0 \pm 258,5$ cm with an average speed of movement $5,43 \pm 0,86$ cm/sec without a significant level of differences from the corresponding indicators of rats of seven months of age. The 24-month-old rats showed a value of $1212,0 \pm 142,6$ cm in terms of 'distance travelled' with a significant level of difference from the corresponding index of seven-month-old animals at $p < 0.0001$ and from one-year-old rats at $p < 0.05$ (Fig. 5).

The mean speed of movement of 24-month-old rats was 4.16 ± 0.49 cm/sec with no significant level of differences from the corresponding index of both seven-month-old rats and one-year-old rats at $p < 0.0001$ and from one-year-old rats at $p < 0.05$ (Fig. 5).

In the group of rats aged 7 months AI averaged 0.56 ± 0.01 units, in the group of animals aged 12 months AI was 0.76 ± 0.03 units at the level of differences from seven-month-old rats $p < 0.0001$. In the group of rats aged 24 months AI averaged 0.97 ± 0.01 u. at the level of differences from seven-month-old rats $p < 0.0001$ and from one-year-old animals, also, at $p < 0.0001$.

Thus, it is experimentally proved that with age in rats linearly decreases the index of the travelled distance and increases the level of anxiety.

Comparison of the effects of MAO-B blockade in animals of different age groups.

At the subsequent experimental stage, the effects of MAO-B blockade were studied in rats of three age groups: 7 months, 12 months and 24 months. It was found out that in 7-month-old animals after 150 minutes of MAO-B blockade there was a significant increase in the travelled distance from 1997.0 ± 174.0 cm to 2112.0 ± 168.4 cm at $p < 0.05$ (Fig. 7). All other indices of motor activity remained essentially unchanged in all age groups.

A unidirectional effect was obtained for AI before and after MAO-B blockade in all age groups of animals: after 150 minutes of MAO-B blockade, AI significantly decreased in 7- and 12-month-old rats, but in 24-month-old animals this decrease did not reach a significant level of significance (Fig. 8). Thus, in seven-month-old rats before MAO-B blockade, AI was 0.56 ± 0.01 units, after MAO-B blockade – 0.48 ± 0.015 units at $p < 0.05$; in one-year-old animals before – 0.76 ± 0.03 units, after – 0.66 ± 0.01 u. at $p < 0.05$; in two-year-old animals before – 0.97 ± 0.01 u., after – 0.95 ± 0.01 u. at $p = 0.078$ (Fig. 8).

Thus, with age in Wistar rats there is a suppression of the functional importance of the dopaminergic system, which is expressed in a decrease in its functional involvement in the control of motor and psychoemotional behavioural factors, and this pattern is linear.

Keywords: motor activity, anxiety index, monoamine oxidase, dopamine, age-related changes.

References

1. Gerstorf D., Ram N., Drewelies J., Duezel S., Eibich P., Steinhagen-Thiessen E., Liebig S., Goebel J., Demuth I., Villringer A., Wagner G. G., Lindenberger U., Ghisletta P. Today's Older Adults Are Cognitively Fitter Than Older Adults Were 20 Years Ago, but When and How They Decline Is No Different Than in the Past, *Psychol Sci.*, **34**(1), 22 (2023) doi: 10.1177/09567976221118541.
2. Graber T. G., Maroto R., Fry C. S., Brightwell C. R., Rasmussen B. B. Measuring Exercise Capacity and Physical Function in Adult and Older Mice, *J Gerontol A Biol Sci Med Sci.*, **76**(5), 819 (2021). doi: 10.1093/gerona/glaa205. PMID: 32822475; PMCID: PMC8087272.
3. Pristrom M. S., Pristrom S. L., Semenenkov I. I. Aging physiologic and premature. A modern view of the problem, *International Reviews: clinical practice and health*, **5-6**, 40 (2017).
4. Kuznetsova Z. M., Maksimova E. F. Motor activity as a means of prevention of age-related changes, *Pedagogico-psychological and medico-biological problems of physical culture and sport*, **4** (5), 28 (2007).

5. Buchman A. S., Boyle P. A., Wilson R. S. et al. Loneliness and the rate of motor decline in old age: the rush memory and aging project, a community-based cohort study. *BMC Geriatr*, **10**, 77 (2010). <https://doi.org/10.1186/1471-2318-10-77>
6. Wrucke D. J., Kuplic A., Adam M. D., Hunter S. K., Sundberg C. W. Neural and muscular contributions to the age-related differences in peak power of the knee extensors in men and women. *J Appl Physiol* (1985), **137**(4), 1021 (2024) doi: 10.1152/japplphysiol.00773.2023.
7. Guo Y., Jones E. J., Smart T. F., Altheyab A., Gamage N., Stashuk D. W., Piasecki J., Phillips B. E., Atherton P. J., Piasecki M. Sex disparities of human neuromuscular decline in older humans. *J Physiol*. **603**(1), 151 (2025) doi: 10.1113/JP285653.
8. Gonzalez M. C., Tovar-Rios D. A., Alves G., Dalen I., Williams-Gray C. H., Camacho M., Forsgren L., Bäckström D., Lawson R. A., Macleod A. D., Counsell C. E., Paquet C., DeLena C., D'Antonio F., Pilotto A., Padovani A., Blanc F., Falup-Pecurariu C., Lewis S. J. G., Rejdak K., Papuc E., Hort J., Nedelska Z., O'Brien J., Bonanni L., Marquié M., Boada M., Pytel V., Abdelnour C., Alcolea D., Beyer K., Tysnes O. B., Aarsland D., Maple-Grødem J. Cognitive and Motor Decline in Dementia with Lewy Bodies and Parkinson's Disease Dementia. *Mov Disord Clin Pract.*, **10**(6), 980 (2023) doi: 10.1002/mdc3.13752.
9. Sagheddu C., Stojanovic T., Kouhnavardi S., Savchenko A., Hussein A. M., Pistis M., Monje F. J., Plasenzotti R., Aufy M., Studenik C. R., Lubec J., Lubec G. Cognitive performance in aged rats is associated with differences in distinctive neuronal populations in the ventral tegmental area and altered synaptic plasticity in the hippocampus. *Front Aging Neurosci.*, **16**, 1357347 (2024) doi: 10.3389/fnagi.2024.1357347. PMID: 38469164; PMCID: PMC10926450.
10. Sanfeliu C., Bartra C., Suñol C., Rodríguez-Farré E. New insights in animal models of neurotoxicity-induced neurodegeneration. *Front Neurosci.*, **17**, 1248727 (2024) doi: 10.3389/fnins.2023.1248727.
11. Soto I., McManus R., Navarrete W., Kasanga E. A., Doshier K., Nejtek V. A., Salvatore M. F. Aging accelerates locomotor decline in PINK1 knockout rats in association with decreased nigral, but not striatal, dopamine and tyrosine hydroxylase expression. *Exp Neurol.*, **376**, 114771. (2024) doi: 10.1016/j.expneurol.2024.114771. Epub 2024 Apr 4. PMID: 38580154.
12. Tábi T., Vécsei L., Youdim M. B., Riederer P., Szökö É. Selegiline: a molecule with innovative potential. *J Neural Transm (Vienna)*, **127**(5), 831 (2020) doi: 10.1007/s00702-019-02082-0.
13. 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.
14. 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, 131 (Springer-Verlag, Wien – New York, July 7-10, 1990.). DOI: 10.1007/978-3-7091-9113-2_18
15. Khusainov D. R., Tumanyants K. N., Aidinov I. D., Ivanova V. R. Changes in the index of depression in low-, medium- and high-depressed rats depending on the duration of monoamine oxidase-B blockade, *Scientific Notes of V.I. Vernadsky Crimean Federal University. Biology. Chemistry*, **10**, **4**, 217 (2024). DOI 10.29039/2413-1725-2024-10-4-217-229. – EDN BRJIRJ.
16. Gao X., Geng T., Jiang M., Huang N., Zheng Y., Belsky D. W., Huang T. Accelerated biological aging and risk of depression and anxiety: evidence from 424,299 UK Biobank participants. *Nat Commun.*, **14**(1), 2277. (2023) doi: 10.1038/s41467-023-38013-7. Erratum in: *Nat Commun.* **14**(1), 5970 (2023) doi: 10.1038/s41467-023-41786-6. PMID: 37080981; PMCID: PMC10119095.
17. Birukova E., Khusainov D., Chajka A. [et al.] 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) DOI 10.1051/bioconf/20213006003. – EDN ONVIPE.
18. Srifuengfung M., Abraham J., Avidan M. S., Lenze E. J. Perioperative Anxiety and Depression in Older Adults: Epidemiology and Treatment. *Am J Geriatr Psychiatry*, **31**(11), 996 (2023) doi: 10.1016/j.jagp.2023.07.002. Epub 2023 Jul 8. PMID: 37482501; PMCID: PMC10592367

УДК 616.379-008.64: 57.084.1

DOI 10.29039/2413-1725-2025-11-2-281-302

МЕТАБОЛИЧЕСКИЕ НАРУШЕНИЯ У КРЫС С АЛЛОКСАН-ИНДУЦИРОВАННЫМ ДИАБЕТОМ

Чуян Е. Н., Ливенцов С. Ю., Дворецкая Н. И.

*Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Крымский федеральный университет им. В. И. Вернадского», Симферополь, Республика Крым, Россия
E-mail: elena-chuyan@rambler.ru*

Сахарный диабет является глобальной медико-социальной проблемой, требующей разработки новых подходов к изучению его патогенеза и лечения. Данное исследование посвящено анализу особенностей биохимических сдвигов у крыс линии *Wistar* (n=28) при аллоксановом диабете через два месяца после его индукции (внутрибрюшинно трижды по 100 мг/кг через сутки в суммарной дозе 300 мг/кг). Изменения биохимических показателей сыворотки крови крыс свидетельствуют о существенном нарушении углеводного, жирового, белкового и энергетического обменов и развитии воспалительного процесса, что может быть следствием нарушения функций и структуры не только поджелудочной железы, но и почек, печени, кровеносных сосудов и других органов. Установлены признаки органного поражения, включая деструктивные изменения в мышечной ткани, нарушение функций печени и ранние проявления диабетической нефропатии.

Ключевые слова: сахарный диабет; аллоксан-индуцированный диабет; биохимические показатели крови крыс; углеводный, жировой, белковый, энергетический обмены.

ВВЕДЕНИЕ

Сахарный диабет (СД) представляет собой одно из наиболее распространённых неинфекционных заболеваний, сопровождающееся хронической гипергликемией, обусловленной недостаточной секрецией инсулина или развитием резистентности к его действию. Распространение этого заболевания в настоящее время носит характер пандемии, и, согласно прогнозам, к середине XXI века количество больных СД превысит 700 миллионов человек [1]. Этиология инсулинозависимого диабета (СД 1 типа) полностью не изучена. Разрушение β -клеток при СД происходит медленно и постепенно, а механизм и последовательность патогенетических процессов до конца не выяснены. Однако если дефицит инсулина становится близким к абсолютному (при котором разрушается около 85 % β -клеток), то развиваются тяжелые метаболические нарушения и наступает клиническая стадия заболевания, а хроническая гипергликемия приводит к развитию окислительного и нитрозативного стрессов, вторичных осложнений в виде различных видов микро- и макроангиопатий, способствуя поражению

сердечно-сосудистой системы, почек, печени, нервной системы и других органов, что приводит к нетрудоспособности и инвалидизации населения [2–4].

Для исследования этиологии и патогенеза СД, а также разработки новых терапевтических подходов к его лечению широко применяются негенетические экспериментальные модели, основанные на повреждении островкового аппарата поджелудочной железы химическими агентами, в которых используются гидрофильные β -клеточные глюкозные аналоги, такие как аллоксан, стрептозотозин, хлорозотозин, ципрогептадин и др. [5–7]. Одним из наиболее часто используемых диабетогенных соединений для моделирования экспериментального диабета у лабораторных животных считается аллоксан (2, 4, 5, 6 - тетраоксипиримидин, 5, 6 - диоксиурацил), благодаря доступности и высокой эффективности. Его действие связано со структурным сходством с глюкозой и способностью селективно разрушать β -клетки островков Лангерганса, моделируя состояние, сходное с СД 1 типа [8–10].

В многочисленных исследованиях установлено, что на фоне введения аллоксана у лабораторных животных развиваются патологические изменения разной степени тяжести – от частичного нарушения секреции инсулина до тотального некроза β -клеток поджелудочной железы, что препятствует регулирующему влиянию инсулина на метаболизм углеводов, белков и липидов и сопровождается патологиями почек, печени и других органов, а, следовательно, высокой летальностью животных [6, 11–13]. Проявления экспериментальной патологии во многом зависят от выбранной дозы соединения, пути его введения, частоты и временного интервала между инъекциями, вида, линии и возраста лабораторных животных, длительности исследования и некоторых других факторов, что позволяет моделировать раннюю или позднюю стадии СД. Поэтому представляется целесообразным разрабатывать собственные протоколы моделирования экспериментального аллоксан-индуцированного диабета в соответствии с поставленными целями исследования.

В наших исследованиях показано, что дробное введение аллоксана в суммарной дозе 300 мг/кг (троекратно по 100 мг/кг через сутки) приводит к наиболее выраженным метаболическим нарушениям, зарегистрированным на 30-е сутки после введения суммарной дозы соединения, на фоне статистически значимого снижения летальности крыс по сравнению с традиционным однократным введением аллоксана в дозах 150 и 200 мг/кг [13]. Известно, что после введения препарата у лабораторных животных развиваются нарушения обменных процессов, связанные с развитием СД, однако отдалённые последствия аллоксан-индуцированного диабета остаются малоизученными, что ограничивает возможность использования этой модели для исследования эффективности антидиабетических соединений в хронических экспериментах.

В связи с этим целью настоящего исследования явился анализ особенностей биохимических сдвигов у крыс линии *Wistar* при аллоксановом диабете через два месяца после его индукции.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Экспериментальная часть исследования выполнена на базе Центра коллективного пользования научным оборудованием «Экспериментальная физиология и биофизика» кафедры физиологии человека и животных и биофизики Института биохимических технологий, экологии и фармации Крымского федерального университета имени В. И. Вернадского (ФГАОУ ВО «КФУ им. В. И. Вернадского»).

Эксперименты с животными выполнялись в соответствии с ГОСТ Р 53434-2009 от 02.12.2009, правилами лабораторной практики при проведении доклинических исследований, этическими стандартами, утвержденными правовыми актами Российской Федерации, ГОСТ 33215-2014 «Руководство по содержанию и уходу за лабораторными животными. Правила оборудования помещений и организации процедур», Директивой 2010/63/EU Европейского парламента и совета Европейского союза по охране животных, «European Convention for the Protection of Vertebrate Animals Used for Experimental and other Scientific Purposes (ETS 123)», Strasbourg, 1986, рекомендациями Комиссии по биоэтике ФГАОУ ВО «КФУ им. В.И. Вернадского» (протокол №5 от 19.05.2022).

В работе использовались половозрелые самцы крыс линии *Wistar* (n=28), полученные из питомника лабораторных животных «Рапполово» (ФГБУ «Петербургский институт ядерной физики им. Б.П. Константинова» НИЦ «Курчатовский институт»). Содержание животных осуществлялось в условиях вивария при температуре 18–22°C и естественном цикле смены освещения на подстилке на основе кукурузных початков (ООО «Зилубаг», Россия). Крысы имели свободный доступ к воде и сбалансированному гранулированному корму ЛБК-120 (ЗАО «Госненский комбикормовый завод», Россия). Животные не имели видимых патологий, физических отклонений или травм, не участвовали ранее в экспериментах, демонстрировали типичное для здоровых особей поведение. Перед началом исследования все особи прошли двухнедельный карантин и адаптацию к экспериментальным условиям, включая процедуру привыкания к контакту с человеком (хэндлинг). Средняя масса тела крыс в эксперименте составляла $257,60 \pm 24,64$ г, средний возраст – $120,00 \pm 12,00$ дней.

Перед началом эксперимента все животные были рандомным образом распределены на две группы: контрольную (К; n=10) и экспериментальную (Алл; n=18).

Модель аллоксан-индуцированного диабета создавали путём внутрибрюшинного введения крысам из экспериментальной группы (Алл) раствора аллоксан-моногидрата ($C_4H_2N_2O_4 \cdot H_2O$; «Диаэм», Россия) внутрибрюшинно трижды по 100 мг/кг в физиологическом растворе (0,2 мл) с интервалом в сутки, что обеспечивало суммарную дозу 300 мг/кг [13, 14]. Животные контрольной группы получали эквивалентный объём физиологического раствора (0,2 мл) в те же сроки.

В ходе исследования измеряли массу животных, поскольку она характеризует общее физиологическое состояние организма. Для этого всех животных взвешивали на весах AND DL-120 (Япония) перед введением аллоксана, а также на 7, 14, 21, 28, 35, 42, 49, 56, 61 сутки наблюдения.

Для анализа динамики гипергликемии, которая является характерным признаком СД, в эти же сроки наблюдения определяли концентрацию глюкозы (ммоль/л) в крови, отобранной из надреза кончика хвоста, с использованием тест-анализатора уровня сахара в крови (АйЧек (iCheck), Тайвань).

На 61-й день эксперимента в 10:00 утра проводили эвтаназию животных согласно требованиям, изложенным в «Международных рекомендациях по проведению медико-биологических исследований с использованием животных» (1997) методом декапитации на гильотине («НПК Открытая наука», Россия). Образцы крови, полученные из шейных вен, собирали в вакуумные пробирки с разделительным гелем для выделения сыворотки.

В сыворотке крови, которую получали путем двукратного центрифугирования (по 10 минут при 1300 g, 25°C) исследовали показатели, утвержденные ВОЗ и являющиеся критериями диагностики СД и других нарушений гликемии [15, 16].

Для оценки **углеводного обмена** в сыворотке крови определяли концентрации глюкозы (ммоль/л) с использованием метода Триндера [17], гликированного гемоглобина (HbA1c, %) – методом ионообменной жидкостной хроматографии [18], инсулина – хемилюминесцентным методом [19].

Оценка **липидного обмена** проводилась на основании содержания общего холестерина (ОХС, ммоль/л) и триглицеридов (ТГ, ммоль/л), измеренных модифицированным методом Триндера по Roeschlau [20, 21]. Уровни холестерина липопротеидов низкой (ЛПНП, ммоль/л) и высокой плотности (ЛПВП, ммоль/л) определяли с применением холестериноксидазной реакции и количественного метода Триндера [17, 22]. На основании полученных данных рассчитывали индекс атерогенности по формуле:

$$\text{ИА} = (\text{ОХС} - \text{ЛПВП}) / \text{ЛПВП}.$$

Для оценки **белкового обмена** измеряли концентрацию общего белка (ОБ, г/л) биуретовым методом [23], альбумина (г/л) в реакции с бромкрезоловым зеленым [24], мочевой кислоты (мкмоль/л) – уреазно-пероксидазным двухреагентным методом [25], мочевины (ммоль/л) – уреазным кинетическим ферментативным методом, а креатинина (мкмоль/л) – кинетическим методом Яффе без депротеинизации [24].

Лабораторное исследование активности ключевых **метаболических ферментов**, участвующих в биохимических процессах организма, включало анализ концентрации лактатдегидрогеназы (ЛДГ) оптимизированным кинетическим методом Генри с пируватом [26, 27], альфа-амилазы ферментативным фотометрическим тестом [28], креатинкиназы (КФК) – методом иммуоингибирования [27], гамма-глутамилтрансферазы (ГГТ) – у ультрафиолетовым методом [28], аланинаминотрансферазы (АЛТ) и аспаратаминотрансферазы (АСТ) – с применением УФ-метода без добавления пиридоксальфосфата [29], щелочной фосфатазы (ЩФ) – кинетическим фотометрическим методом [30]. Результаты были представлены в международных единицах активности ферментов (Ед/л).

Показатели **пигментного обмена** печени оценивали по уровню общего и прямого билирубина, определяемых фотометрическим методом с использованием 2,4-дихлоранилина [31]. Концентрации билирубина выражались в мкмоль/л.

Содержание С-реактивного белка (СРБ, мг/л) в сыворотке крови определяли методом высокочувствительной иммунотурбидиметрии, основанным на измерении конечной точки реакции антиген–антитело, при чувствительности метода около 0,13 мг/л и диапазоне измерений от 0 до 140 мг/л [32, 33].

Для статистической обработки данных и визуализации результатов использовали программы STATISTICA версии 12 (Statsoft, США) и Microsoft Excel 2010 (Microsoft Corporation, США). Проверку распределения данных на соответствие нормальному закону выполняли с применением критерия Шапиро–Уилка. Поскольку в большинстве случаев распределение не соответствовало нормальному, сравнение групп проводили с использованием непараметрического критерия Манна–Уитни. В таблицах, графиках и тексте данные представлены в формате медианы и квартильного размаха (Me (Q25:Q75)). Для описания различий между группами использовали процентные изменения, рассчитываемые по медианным значениям соответствующих групп. В исследовании критический уровень значимости статистических гипотез принимался равным 0,05.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

При моделировании СД в эксперименте путем введения аллоксана смертность среди животных составляет обычно от 30 до 60 % [34]. В нашем исследовании расчет уровня смертности у крыс после введения диabetогенных доз аллоксана показал, что она составила 33,33 %. В контрольной группе гибель животных зарегистрирована не была.

Известно, что развитие СД 1 типа сопровождается снижением *массы тела*. Полученные результаты показали (рис. 1), что к концу эксперимента масса тела контрольных крыс существенно возросла (на 44,23 % относительно исходного уровня; $p=0,009$), тогда как масса тела экспериментальных животных снизилась на 12,80 % относительно исходного уровня и на 42,89 % по сравнению с значением этого показателя в контрольной группе крыс ($p=0,023$), что согласуется с результатами наших предыдущих исследований [13].

Развитие аллоксан-индуцированного диабета привело к изменению *углеводного обмена* у крыс. Концентрация глюкозы в периферической крови крыс контрольной группы на протяжении всего срока наблюдения (61 сутки) колебалась в пределах физиологической нормы: от 3,9 (3,3; 4,5) до 4,7 (4,6; 5,1) ммоль/л. При этом у крыс экспериментальной группы наблюдалось резкое повышение уровня глюкозы, достигавшее максимума на 7 – 14 сутки – 22,0 (19,7; 27,1) – 21,7 (18,85; 26,45) ммоль/л. В дальнейшем, начиная с 21-х суток наблюдения, зарегистрирована тенденция к снижению значений этого показателя, однако уровень глюкозы вышел на плато, продолжая достоверно превышать показатели контрольной группы на всём протяжении наблюдения (рис. 2), а на 61 сутки эксперимента гликемия в сыворотке крови составила 21,20 (19,40; 24,40) ммоль/л, превышая значения контрольной группы на 443,59 % ($p<0,001$) (табл. 1), что указывает на нарушение утилизации глюкозы клетками и развитие стойкого диабетического состояния [35–37].

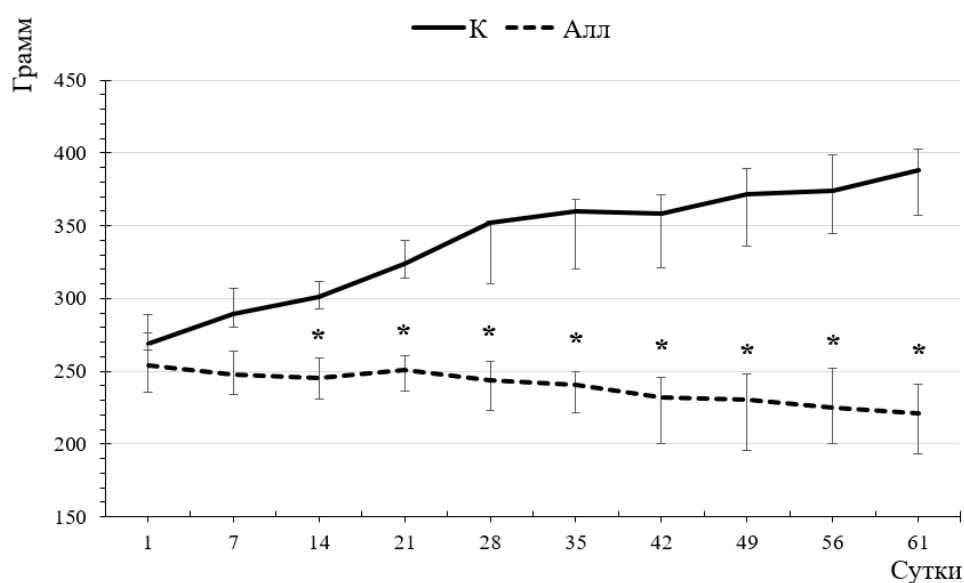


Рис. 1. Динамика массы тела (г) крыс контрольной (К) и экспериментальной (Алл) групп в течение всего срока наблюдения.

Примечание: на графике представлены значения в виде медианы и нижнего и верхнего квартилей (Me ($Q_{25}; Q_{75}$)); * статистически значимое отличие по критерию Манна-Уитни относительно значений показателей у крыс контрольной группы ($p < 0,05$).

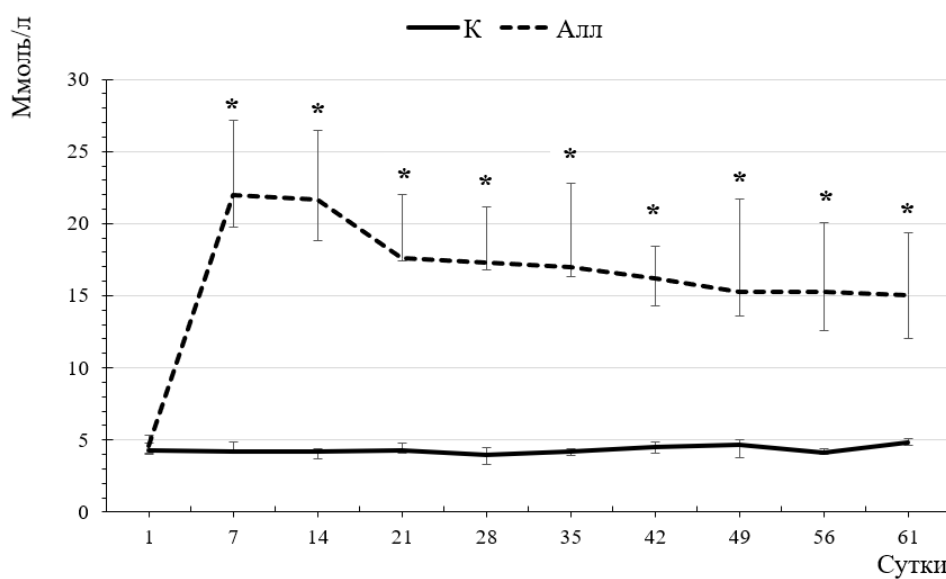


Рис. 2. Динамика концентрации глюкозы (ммоль/л) в периферической крови крыс контрольной (К) и экспериментальной (Алл) групп в течение всего срока наблюдения.

Примечание: то же, что на рис. 1.

Таблица 1

Изменение показателей углеводного обмена в сыворотке крови крыс в условиях развития аллоксан-индуцированного диабета (Ме (Q1:Q3))

Показатели \ Группа	Контроль (1) n=10	Аллоксан (2) n=18
Глюкоза (ммоль/л)	3,90 (3,70; 3,95)	21,20 (19,40;24,40) $p_{1,2}<0,001$
Гликированный гемоглобин (%)	4,40 (4,00;4,60)	6,90 (6,90;7,80) $p_{1,2}<0,001$
Инсулин (мкМЕ/мл)	0,70 (0,65;0,70)	0,30 (0,20;0,0) $p_{1,2}<0,001$

Примечание: n – количество животных в группе; $p_{1,2}$ – уровень значимости отличий между 1 и 2 группами животных по критерию Манна-Уитни.

Содержание гликированного гемоглобина в крови является биомаркером развития и течения СД, отражает длительность и степень гипергликемии. Считается, что этот показатель является более точным гликемическим индикатором, чем концентрация глюкозы в крови, поскольку более устойчив к стрессу и не зависит от приема пищи [38]. Уровень гликированного гемоглобина (HbA1c) у животных экспериментальной группы на 61-е сутки был достоверно выше значений контрольной группы на 56,82 % ($p<0,001$) (табл. 2).

Длительное состояние гипергликемии запускает в организме процессы гликирования белков, активизируются процессы неферментативного гликозилирования мембран эритроцитов и белков цитозоля. Повышение уровня HbA1c влияет на эффективность кислородтранспортной функции эритроцитов, поскольку HbA1c имеет повышенное сродство к O_2 , что затрудняет его возврат в клетки микроциркуляторного русла, и способствует развитию тканевой гипоксии [3, 38].

Таким образом, полученные данные подтверждают развитие стойкого и длительного гипергликемического состояния у крыс экспериментальной группы. Известно, что основным механизмом развития гипергликемии при аллоксан-индуцированном диабете является разрушение β -клеток островкового аппарата поджелудочной железы, что вызывает снижение синтеза и секреции в кровь инсулина [5, 39].

На 61-е сутки наблюдения у экспериментальных животных было выявлено достоверное снижение уровня инсулина на 57,14 % ($p<0,001$) по сравнению с контрольной группой (табл. 1). Эти данные согласуются с результатами других авторов [40–44] и отражают развитие выраженной инсулинопении. Поскольку инсулин играет роль ингибитора глюконеогенеза, то дефицит инсулина при СД вызывает интенсификацию этого процесса. Кроме того, выведение глюкозы из организма происходит с необходимым для этого процесса количеством воды и электролититов, в результате чего в организме наступает обезвоживание за счет образования кетонных тел (ацетоацетата и β -гидроксипутирата), которые

зарегистрированы у крыс с аллоксан-индуцированным диабетом в наших предыдущих исследованиях [13] и потери емкости бикарбонатной буферной системы крови с индукцией кетоацидоза [45].

Таблица 2

Изменение биохимических показателей белкового обмена в сыворотке крови крыс в условиях развития аллоксан-индуцированного диабета (Ме (Q1:Q3))

Группа	Контроль (1) n=10	Аллоксан (2) n=18
Показатели		
Общий белок (г/л)	81,00 (78,50; 85,00)	60,00 (58,00; 63,00) $p_{1,2}<0,001$
Мочевина (ммоль/л)	7,60 (7,50; 8,15)	11,30 (10,50; 11,60) $p_{1,2}<0,001$
Креатинин (мкмоль/л)	78,00 (76,00; 81,50)	38,50 (36,00; 40,00) $p_{1,2}<0,001$
Мочевая кислота (мкмоль/л)	257,00 (218,50; 257,50)	377,00 (321,00; 399,00) $p_{1,2}<0,001$
Альбумин (г/л)	42,00 (41,00; 43,00)	33,00 (32,00; 34,00) $p_{1,2}<0,001$

Примечание: то же, что и в табл. 1.

Таким образом, развитие аллоксан-индуцированного диабета приводит к стойкому нарушению углеводного обмена, а инсулинопения препятствует регулирующему влиянию гормона на метаболизм не только глюкозы, но и белков и липидов.

Развитие аллоксан-индуцированного диабета в течение двух месяцев существенно отразилось на биохимических показателях, характеризующих белковый обмен.

Ранее нами были описаны изменения белкового обмена у крыс с аллоксан-индуцированным диабетом спустя 31 сутки после введения препарата [13]. Настоящее исследование подтвердило эти данные и показало, что выявленные изменения сохраняются у крыс в течение двух месяцев после введения суммарной дозы аллоксана (табл. 2). Зарегистрировано снижение содержания общего белка (на 25,93 %) на фоне значительного повышения уровня мочевины (на 48,66 %) по сравнению со значениями данных показателей у крыс контрольной группы ($p<0,001$), что характерно при развитии СД [46–48]. Выявленная гипопроотеинемия может быть связана как с обезвоживанием организма, на что указывалось выше, так и с повышенным распадом белков, о чем свидетельствует снижение концентрации креатинина в сыворотке крови (на 50,64 %; $p<0,001$), поскольку его концентрация в моче и сыворотке крови коррелирует с оценкой мышечной массы. Выявлена также связь между снижением уровня креатинина в сыворотке крови с гиперфилтрацией почечных клубочков и с повышенным метаболическим риском СД [47, 48].

Выявлено, что у животных с аллоксан-индуцированным диабетом уровень мочевой кислоты в сыворотке крови, спустя два месяца после введения препарата, был повышен на 46 % ($p < 0,001$) по сравнению с контрольной группой (табл. 2). Мочевая кислота является конечным продуктом обмена пуриновых оснований и в физиологических концентрациях обладает антиоксидантными свойствами, однако при избыточном накоплении может приобретать прооксидантные свойства и усиливать оксидативный стресс. Гиперурикемия свидетельствует о нарушении пуринового обмена, нарушении её экскреции почечными канальцами и может быть следствием диабетического кетоацидоза [49]. У животных экспериментальной группы наблюдалось достоверное снижение концентрации альбумина, основного плазменного белка, регулирующего онкотическое давление, поддерживающего кислотно-щелочной баланс и обладающего антиоксидантной активностью, на 21,43 % ($p < 0,001$) по сравнению с контрольной группой (табл. 2), что указывает на наличие альбуминурии – маркера повреждения почек, связанного с нарушением фильтрационной функции и ранними проявлениями диабетической нефропатии [50–52].

Таким образом, на фоне гипергликемии и дефицита инсулина у крыс экспериментальной группы произошло нарушение белкового обмена, что связано с повышенным распадом тканевых белков, нарушением пуринового обмена и проявлениями диабетической нефропатии.

Через два месяца после индукции СД у животных произошли изменения показателей, характеризующие *липидный обмен* (табл. 3).

Таблица 3

Изменение биохимических показателей липидного обмена в сыворотке крови крыс в условиях развития аллоксан-индуцированного диабета (Me (Q1:Q3))

Группа Показатели	Контроль (1) n=10	Аллоксан (2) n=18
Холестерин (ммоль/л)	1,54 (1,48; 1,59)	2,22 (2,15; 2,44) $p_{1,2} < 0,001$
Триглицериды (ммоль/л)	1,10 (1,05; 1,16)	2,10 (1,71; 2,33) $p_{1,2} < 0,001$
ЛПВП (ммоль/л)	0,85 (0,84; 0,92)	0,31 (0,30; 0,35) $p_{1,2} < 0,001$
ЛПНП (ммоль/л)	0,20 (0,16; 0,22)	1,48 (1,40; 1,50) $p_{1,2} < 0,001$

Примечание: то же, что и в табл. 1.

У крыс с аллоксан-индуцированным диабетом, содержание общего холестерина и триглицеридов достоверно возросло на 44,16 % и 90,91 % соответственно относительно показателей в контрольной группе ($p < 0,001$), что свидетельствует о выраженной гиперхолестеринемии и согласуется с литературными данными о

влиянии аллоксан-индуцированного диабета на уровень этих показателей [13, 35, 36, 53].

Избыточное образование триглицеридов в гепатоцитах вследствие массивного поступления свободных жирных кислот в печень приводит к развитию стеатоза, а также секреции повышенного количества триглицеридов в составе липопротеинов очень низкой, а затем и низкой плотности, способствующих накоплению продуктов их перекисного окисления и в итоге к повреждению гепатоцитов и к их некрозу [54].

Изменения также коснулись и фракций холестерина в составе липопротеидов: уровень ЛПВП, играющих важную роль в транспорте холестерина из периферических тканей в печень, снизился на 63,53 % относительно значения показателя контрольной группы ($p < 0,001$), а концентрация ЛПНП, напротив, возросла на 640 % ($p < 0,001$) относительно значений у животных в контроле. Установлено, что наличие глюкозы в среде окисления ЛПНП приводит к интенсификации их свободнорадикального окисления вследствие продукции супероксидных анион радикалов в процессе аутоокисления глюкозы [55]. В результате изменения соотношения основных фракций холестерина у крыс с аллоксановым диабетом индекс атерогенности составил 6,00 (5,93;6,62), что в 7,6 раз выше, чем у крыс в контрольной группе ($p < 0,001$) и указывает на наличие у животных с аллоксановым диабетом атеросклеротических изменений сосудистого русла и высокий риск развития диабетической ангиопатии [56, 57].

Результатом гипергликемии, избыточного накопления продуктов неферментативного гликозилирования в клетках, а также нарушения белкового и липидного обменов является истощение энергетических ресурсов, причем глубина сдвигов энергопродуцирующего аппарата коррелирует с тяжестью метаболических нарушений, что подчеркивает тесную связь между энергетическими и пластическими нарушениями. Действительно, у животных с аллоксан-индуцированным диабетом выявлено существенное изменение активности ферментов сыворотки крови (рис. 3). Так, содержание КФК в сыворотке крови, одного из ключевых ферментов, участвующих в обеспечении энергетических процессов, особенно в мышечной и нервной тканях, снизилось на 71,15 % ($p < 0,001$).

Содержание альфа-амилазы в сыворотке крови крыс с аллоксановым диабетом снизилось на 61,35 % ($p < 0,001$) по сравнению с контролем, поскольку на фоне хронической гипергликемии, оксидативного стресса и воспаления при СД 1 типа разрушаются не только β -клетки поджелудочной железы, но страдает и экзокринная часть органа [58, 59]. Кроме того, аутоиммунные процессы при СД могут вызывать образование аутоантител к α -амилазе, что дополнительно снижает её активность. Таким образом, уменьшение содержания α -амилазы при СД1 обусловлено как структурными изменениями в поджелудочной железе, так и аутоиммунными механизмами, что отражает нарушение экзокринной функции органа [60].

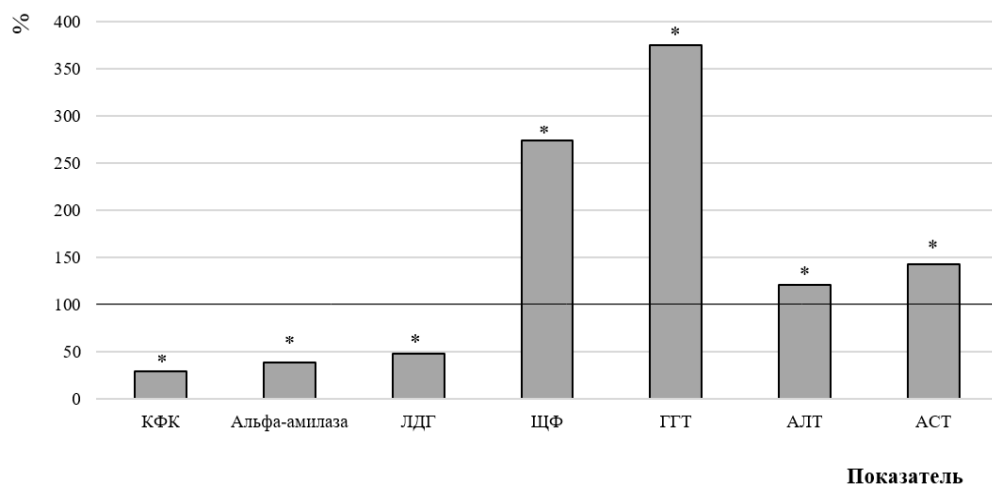


Рис. 3. Изменение показателей ферментного обмена в сыворотке крови крыс в условиях развития аллоксан-индуцированного диабета (в % относительно значений у животных контрольной группы, принятых за 100 %).

Развитие СД вызывает нарушения функциональной и ферментативной активности печени, в результате чего из ее ткани высвобождается большое количество ферментов внутриклеточной локализации. Печень является одним из центральных органов, участвующих в регуляции метаболических процессов, и при развитии инсулинозависимого сахарного диабета в ней наблюдаются выраженные изменения, связанные с усилением липолиза, глюконеогенеза, а также с ростом активности ферментов, вовлечённых в катаболизм и синтез глюкозы [61]. В условиях инсулинорезистентности печень активирует синтез глюкозы с использованием субстратов глюконеогенеза – лактата, аминокислот и глицерина, при этом одновременно усиливается гликогенолиз и снижается активность глюконеогенеза, что в совокупности приводит к устойчивому повышению уровня глюкозы в крови [62].

У животных с аллоксан-индуцированным диабетом, спустя два месяца после введения препарата, зафиксировано статистически значимое повышение активности АЛТ на 57,87 % ($p=0,005$), АСТ на 43,1 % ($p=0,001$), ЩФ в 2,7 раза по сравнению с контрольной группой ($p<0,001$), ГГТ на 275 % ($p<0,001$) по сравнению с контрольной группой. АЛТ участвует в глюкозо-аланиновом цикле, способствуя образованию пирувата, предшественника глюконеогенеза, и глутамата, необходимого для цикла мочевины. Основная локализация АЛТ приходится на гепатоциты, а его повышение в плазме крови является маркером повреждения печёночных клеток. АСТ, в отличие от АЛТ, помимо печени содержится практически во всех органах и принимает участие в функционировании малат-аспаратного шунта, способствуя образованию оксалоацетата, играющего

ключевую роль в цикле трикарбоновых кислот (Кребса), что отражает нарушения энергетического обмена как в печени, так и в мышечной и сердечной тканях.

ЩФ локализуется в мембранах желчных канальцев и участвует в процессах выделения желчи, катализируя отщепление фосфатных групп [63]. Рост активности этого фермента при СД может быть обусловлен развитием холестатических явлений вследствие нарушения экскреторной функции печени, что сопровождается усилением синтеза фермента в гепатоцитах [64]. ГГТ представляет собой мембраносвязанный фермент, преимущественно локализованный в эпителии желчных протоков и почечных канальцев, который играет важную роль в антиоксидантной защите клеток, участвуя в транспорте аминокислот за счёт переноса γ -глутамильного остатка с глутатиона [65]. Повышение активности данного фермента рассматривается как индикатор оксидативного стресса, возникающего в условиях стеатогепатоза, характерного для диабетических нарушений обмена веществ [66].

На фоне указанных изменений зарегистрировано снижение содержания в сыворотке крови ЛДГ на 51,99 % ($p=0,025$) по сравнению с контрольной группой (рис. 3), которая катализирует обратимое превращение пирувата в лактат в процессе анаэробного гликолиза, и её активность служит маркером использования углеводов в условиях недостатка кислорода. Снижение уровня ЛДГ может отражать угнетение этого пути утилизации глюкозы, а также переход клеток на альтернативные пути получения энергии, включая β -окисление жирных кислот и кетогенез, что характерно для инсулинозависимого диабета [61].

На фоне описанных изменений активности ферментов у животных с индуцированным диабетом отмечено снижение уровня общего билирубина на 29,63 % ($p<0,001$) по сравнению с контролем (табл. 4), что может отражать нарушение процессов образования и метаболизма билирубина в условиях углеводного дисбаланса. При этом изменения содержания прямого и непрямого билирубина также статистически значимо отличались ($p<0,001$).

Таблица 4

Изменение билирубина в сыворотке крови крыс при развитии аллоксан-индуцированного диабета (Ме (Q1:Q3))

Группа	Контроль (1) n=10	Аллоксан (2) n=18
Показатели		
Билирубин общий (мкмоль/л)	2,70 (2,55; 3,10)	1,90 (1,80; 2,00) $p_{1,2}<0,001$
Билирубин прямой (мкмоль/л)	1,30 (1,20; 1,35)	1,12 (0,90; 1,30) $p_{1,2}<0,001$
Билирубин не прямой (мкмоль/л)	1,60 (1,30; 1,90)	0,70 (0,50; 1,10) $p_{1,2}<0,001$

Примечание: то же, что и в табл. 1.

Билирубин является конечным продуктом катаболизма гема в системном кровотоке, который образуется под действием гем-оксидазы (НМОХ), фермента, который расщепляет циклический тетрапиррольный гем на биливердин, монооксид углерода и двухвалентное железо. В обзоре [67] представлена подробная информация об экспериментальных и клинических доказательствах связи между НМОХ, билирубином и различными патологиями, в которых установлено, что уровень билирубина в сыворотке крови отрицательно коррелирует с факторами риска, такими как артериальная гипертензия, СД, метаболический синдром и ожирение. Эти данные не только показывают защитное действие билирубина как такового, но и продуктов катаболического пути гемолиза, таких как биливердин и монооксид углерода, а также ключевых ферментов этого пути (гем-оксидазы и биливердин-редуктазы). Также было показано, что билирубин существенно влияет на систему комплемента со всеми возможными защитными последствиями [68]. В соответствии с этими данными, существуют исследования, которые продемонстрировали отрицательную взаимосвязь между уровнем билирубина в сыворотке крови и уровнем С-реактивного белка [69], что согласуется с результатами, полученными в настоящем исследовании (рис. 4) и ещё раз подчёркивает защитную роль билирубина в патогенезе хронических заболеваний, в том числе СД.

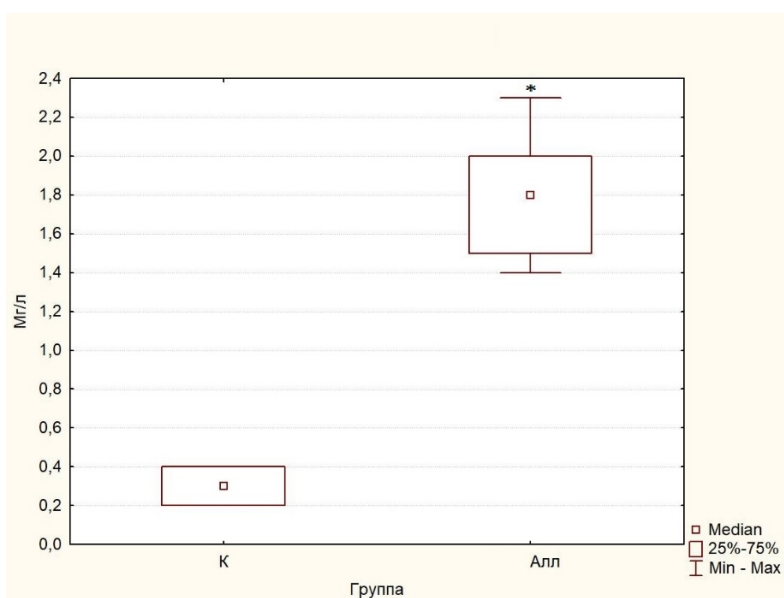


Рис. 4. Изменение С-реактивного белка (мг/л) в плазме крови крыс контрольной (К) и экспериментальной (Алл) групп.

Содержание С-реактивного белка, который синтезируется гепатоцитами, спустя два месяца после введения суммарной дозы аллоксана, увеличилось в 6 раз по

сравнению с контролем ($p < 0,001$), что указывает на выраженное воспаление. Гипергликемия в крови стимулирует выработку избыточного количества свободных радикалов, в том числе активных форм кислорода и активных форм азота, которые вызывают окислительный стресс, воспалительную реакцию, характеризующуюся повышением уровня С-реактивного белка в крови [70–72].

Таким образом, развитие аллоксан-индуцированного диабета сопровождается выраженными нарушениями функции печени, что проявляется активацией глюконеогенеза, повышением активности ферментов АЛТ и АСТ, свидетельствующих о повреждении гепатоцитов и нарушении аминокислотного обмена. Достоверный рост активности ГГТ и ЩФ указывает на развитие оксидативного стресса, нарушение антиоксидантной защиты и возможные холестатические изменения, ассоциированные с жировой инфильтрацией печени. Совокупность полученных данных отражает глубокую метаболическую перестройку в гепатоцитах при диабете, связанную как с дефицитом инсулина, так и с хронической гипергликемией, ведущие к избыточному захвату глюкозы гепатоцитами и последующему ее фосфорилированию [73]. Значимые патологические изменения печеночной ткани при СД 1 подтверждены в экспериментальных моделях [74] и клинических исследованиях [75].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведённое исследование показало, что дробное внутрибрюшинное введение аллоксана в суммарной дозе 300 мг/кг формирует у экспериментальных животных устойчивую и воспроизводимую модель СД 1 типа с умеренной летальностью (33,33 %), прогрессирующей потерей массы тела и выраженными метаболическими нарушениями, которые сохраняются в течение двух месяцев, а, следовательно, позволяют использовать данную модель в хронических экспериментах с целью поиска новых терапевтических подходов к лечению этого заболевания и его осложнений. Данная экспериментальная модель достоверно воспроизводит ключевые звенья патогенеза инсулинозависимого диабета тяжелой степени и может быть рекомендована для проведения длительных экспериментальных исследований, тестирования лекарственных средств и оценки эффективности подходов, направленных на коррекцию метаболических и органических нарушений при СД.

Выявленные изменения биохимических показателей сыворотки крови крыс свидетельствуют о существенном нарушении углеводного, жирового, белкового и энергетического обменов, развитии воспалительного процесса и оксидативного стресса, что может быть следствием нарушения функций и структуры не только поджелудочной железы, но и печени, почек, кровеносных сосудов и других органов. Установлены признаки органного поражения в мышечной ткани, нарушение функции печени и ранние проявления диабетической нефропатии.

Полученные результаты дополняют современные представления о механизмах развития СД, глубине метаболических сдвигов в условиях экспериментального аллоксанового диабета и могут служить основой для дальнейших исследований в области этиологии и патогенеза печеночной патологии при СД.

Работа выполнена в рамках программы исследований № АААА-А21-121011990099-6 «Физиологические механизмы биологического действия факторов разной природы и интенсивности» ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет имени В. И. Вернадского».

Список литературы

1. Sun H. IDF diabetes atlas: global, regional and country-level diabetes prevalence estimates for 2021 and projections for 2045 / H. Sun, P. Saeedi, S. Karuranga [et al.] // *Diabetes Res. Clin. Pract.* – 2022. – Vol. 183. – P. 109–119.
2. Stanifer J. W. Prevalence, risk factors, and complications of diabetes in the Kilimanjaro region: a population-based study from Tanzania / J. W. Stanifer, C. R. Cleland, G. J. Makuka [et al.] // *PLoS One.* – 2016. – Vol. 11, No. 10. – P. e0164428.
3. Дедов И. И. Сахарный диабет в Российской Федерации: распространенность, заболеваемость, смертность, параметры углеводного обмена и структура сахароснижающей терапии по данным федерального регистра сахарного диабета, статус 2017 г. / И. И. Дедов, М. В. Шестакова, О. К. Викулова [и др.] // *Сахарный диабет.* – 2018. – Т. 21, № 3. – С. 6–17.
4. Jwad M. Types of diabetes and their effect on the immune system / M. Jwad, H. Yousif Al-Fatlawi, P. D. Student // *J. Adv. Pharm. Pract.* – 2022. – Vol. 4, No. 1. – P. 21–30.
5. Lenzen S. The mechanisms of alloxan- and streptozotocin-induced diabetes / S. Lenzen // *Diabetologia.* – 2008. – Vol. 51. – P. 216–226.
6. Пальчикова Н. А. Гормонально-биохимические особенности алloxановой и стрептозототиновой моделей экспериментального диабета / Н. А. Пальчикова, Н. В. Кузнецова, О. И. Кузьминова, В. Г. Селятицкая // *Бюл. СО РАМН.* – 2013. – Т. 33, № 6. – С. 18–24.
7. Zakaria Z. Z. Animal models in type 2 diabetes mellitus research: pros and cons / Z. Z. Zakaria, M. N. Ahmad, N. A. Qinna // *Jordan J. Agric. Sci.* – 2021. – Vol. 17. – P. 425–440. – DOI: 10.35516/jjas.v17i4.
8. Gati M. A. Physiological and histological study of experimental diabetes mellitus by alloxan / M. A. Gati // *Int. J. Adv. Res.* – 2016. – Vol. 4, No. 3. – P. 1814–1818.
9. Бафаев Ж. Т. Особенности типологических свойств животных в клиническом течении экспериментальной модели алloxанового диабета / Ж. Т. Бафаев, А. А. Мавланов, З. Н. Хамидова // *Новый день в медицине.* – 2022. – Т. 1, № 39. – С. 257–263.
10. Rashmi P. Rodent models for diabetes / P. Rashmi, A. Urmila, A. Likhit [et al.] // *3 Biotech.* – 2023. – Vol. 13. – P. 80. – DOI: 10.1007/s13205-023-03488-0.
11. Elsner M. Importance of the GLUT2 glucose transporter for pancreatic beta cell toxicity of alloxan / M. Elsner, M. Tiedge, B. Guldbakke [et al.] // *Diabetologia.* – 2002. – Vol. 45, No. 11. – P. 1542–1549.
12. Radenković M. Experimental diabetes induced by alloxan and streptozotocin: the current state of the art / M. Radenković, M. Stojanović, M. Prostran // *J. Pharmacol. Toxicol. Methods.* – 2016. – Vol. 78. – P. 13–31.
13. Чуян Е. Н. Особенности изменения биохимических показателей крови крыс в условиях разных экспериментальных моделей алloxан-индуцированного диабета / Е. Н. Чуян, С. Ю. Ливенцов, Н. И. Дворецкая // *Учёные записки КФУ им. В. И. Вернадского. Серия: Биология. Химия.* – 2025. – Т. 11 (77), № 1. – С. 226–249.
14. Данилова И. Г. Способ моделирования алloxанового диабета / И. Г. Данилова, И. Ф. Гетте: Патент на изобретение № 2534411; заявл. 27.11.2014; опубл. 27.11.2014. – Бюл. № 33.
15. Care D. American Diabetes Association. 2. Classification and Diagnosis of Diabetes: Standards of Medical Care in Diabetes–2019 // *Diabetes Care.* – 2019. – Vol. 42, Suppl. 1. – P. S13–S28. – DOI: 10.2337/dc19-S002.
16. Дедов И. И. Алгоритмы специализированной медицинской помощи больным сахарным диабетом / Под ред. И. И. Дедова, М. В. Шестаковой, А. Ю. Майорова. – 9-й вып. // *Сахарный диабет [Интернет].* – 2019. – Т. 22, № 1S. – DOI: 10.14341/DM221S1.
17. Barcham D. An improved color reagent for the determination of blood glucose by the oxidase system / D. Barcham, P. Trinder // *Analyst.* – 1972. – Vol. 97, No. 151. – P. 142–145.

18. Little R. R. Standardization of HbA1c Measurement / R. R. Little, C. L. Rohlfing, D. B. Sacks // Clin. Chem. – 2007. – Vol. 53, No. 6. – P. 810–817. – DOI: 10.1373/clinchem.2007.091967.
19. Sacks D. B. Insulin assays and reference values / D. B. Sacks // Diabetes Metab. – 2007. – Vol. 33, No. 5. – P. 459–464. – DOI: 10.1016/S1262-3636(07)80059-5.
20. Allain C. Enzymatic determination of total serum cholesterol / C. Allain, L. Poon, G. Chan [et al.] // Clin. Chem. – 1974. – Vol. 20, No. 4. – P. 470–475.
21. Roeschlau P. Enzymatische Bestimmung des Gesampt-Cholesterins in Serum / P. Roeschlau, E. Bernt, W. A. Gruber // Clin. Chem. Clin. Biochem. – 1974. – Vol. 12, No. 5. – P. 226–227.
22. Nauk M. Measurement of high-density-lipoprotein cholesterol / M. Nauk, D. Wiebe, G. Warnick // Handbook of Lipoprotein Testing. – 2nd ed. – Washington DC: AACC Press, 2001. – P. 221–244.
23. Cornall A. G. Determination of serum proteins by means of the biuret reaction / A. G. Cornall, C. J. Bardawill, M. M. David // J. Biol. Chem. – 1949. – Vol. 177, No. 2. – P. 751–766.
24. Burtis C. A. Tietz Textbook of Clinical Chemistry and Molecular Diagnostics / C. A. Burtis, E. R. Ashwood, D. E. Bruns. – 5th ed. – St. Louis: Elsevier, 2012.
25. Fossati P. Use of 3,5-dichloro-2-hydroxybenzenesulfonic acid/4-aminophenazone chromogenic system in direct enzymic assay of uric acid in serum and urine / P. Fossati, L. Prencipe, G. Berti // Clin. Chem. – 1980. – Vol. 26, No. 2. – P. 227–231.
26. Henry R. J. Revised spectrophotometric methods for the determination of glutamic-oxalacetic transaminase, glutamic-pyruvic transaminase, and lactic acid dehydrogenase / R. J. Henry, N. Chiamori, O. J. Golub, S. Berkman // Am. J. Clin. Pathol. – 1960. – Vol. 34. – P. 381–398. – DOI: 10.1093/ajcp/34.4_ts.381.
27. Stein W. Creatine kinase (total activity), creatine kinase isoenzymes and variants / W. Stein // In: Clinical Laboratory Diagnostics: Use and Assessment of Clinical Laboratory Results. – Frankfurt: TH-Books Verlagsgesellschaft, 1998. – P. 71–80.
28. Долгов В. В. Клиническая лабораторная диагностика. Национальное руководство. Том 1 / В. В. Долгов, В. В. Меньшиков. – М.: ГЭОТАР-Медиа, 2013.
29. Moss D. W. Clinical enzymology / D. W. Moss, A. R. Henderson // In: Tietz Textbook of Clinical Chemistry. – 3rd ed. – Philadelphia: WB Saunders Company, 1999. – P. 617–721.
30. Fachbach F. Age-dependent reference limits of several enzymes in plasma at different measuring temperatures / F. Fachbach, B. Zawta // Klin. Lab. – 1992. – Vol. 38. – P. 555–561.
31. Guder W. G. The quality of diagnostic samples / W. G. Guder, B. Zawta [et al.]. – 1st ed. – Darmstadt: GIT Verlag, 2001. – P. 14–15.
32. Claus D. R. Radioimmunoassay of human C-reactive protein and levels in normal sera / D. R. Claus, A. P. Osmand, H. Gewurz // J. Lab. Clin. Med. – 1976. – Vol. 87. – P. 120–128.
33. Hind C. R. H. The role of serum C-reactive protein (CRP) measurement in clinical practice / C. R. H. Hind, M. B. Pepys // Int. Med. – 1984. – Vol. 5. – P. 112–151.
34. Ярмолинская М. И. Экспериментальные модели сахарного диабета 1-го типа / М. И. Ярмолинская, Н. Ю. Андреева, Е. И. Абашова, Е. В. Мишарина // Журнал акушерства и женских болезней. – 2019. – Т. 68. № 2. – С. 109–118.
35. Эльбекьян К. С. Особенности протекания аллоксан-индуцированного сахарного диабета у экспериментальных крыс / К. С. Эльбекьян, А. Б. Ходжаян, Ф. А. Биджиева [и др.] // Медицинский вестник Северного Кавказа. – 2019. – Т. 14, № 1.2. – С. 264–267.
36. Биджиева Ф. А. Биохимические особенности аллоксан-индуцированного сахарного диабета / Ф. А. Биджиева // Медицинский алфавит. – 2018. – Т. 31, № 2. – С. 12–14.
37. Fajarwati I. Administration of alloxan and streptozotocin in Sprague Dawley rats and the challenges in producing diabetes model / I. Fajarwati, D. D. Solihin, T. Wresdiyati, I. Batubara // IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci. – 2023. – Vol. 1174, No. 1. – P. 012035.
38. Maleki V. The effect of resveratrol on advanced glycation end products in diabetes mellitus: a systematic review / V. Maleki [et al.] // Arch. Physiol. Biochem. – 2020. – Vol. 126, No. 6. – P. 1–10.
39. Яшанова М. И. Валидность моделей экспериментального диабета для изучения окислительного стресса / М. И. Яшанова, Т. Г. Щербатюк, В. Ю. Николаев // Журн. медико-биологических исследований. – 2019. – Т. 7, № 1. – С. 66–78. – DOI: 10.17238/issn2542-1298.2019.7.1.66.
40. Джафарова Р. Э. Сравнительное исследование различных моделей аллоксан-индуцированного сахарного диабета / Р. Э. Джафарова // Казанский медицинский журнал. – 2013. – № 6.

41. Игнатчик Д. А. Влияние аллоксана и стрептозотоцина на уровень инсулина и систему глутатиона в тканях животных [Электронный ресурс] / Д. А. Игнатчик // Актуальные проблемы современной медицины и фармации 2020: сб. тез. докл. LXXIV Междунар. науч.-практ. конф. студентов и молодых ученых, 15–17 апр. Минск, 2020 г. / Под ред. А. В. Сикорского, В. Я. Хрыщановича. – Минск: БГМУ, 2020. – С. 146.
42. Ломаева С. В. Особенности обмена биополимеров соединительной ткани в печени крыс с аллоксановым диабетом / С. В. Ломаева, И. Ф. Гетте, Т. С. Булавинцева [и др.] // Бюл. сиб. медицины. – 2013. – Т. 12, № 6. – С. 38–42.
43. Михайличенко В. Ю. Эффект трансплантации культуры клеток поджелудочной железы при аллоксановом сахарном диабете у крыс в эксперименте / В. Ю. Михайличенко, С. С. Столяров // Междунар. журн. прикладных и фундаментальных исследований. – 2015. – № 9. – С. 670–672.
44. Данилова И. Г. Цитокиновая регуляция регенераторных процессов в поджелудочной железе при аллоксановом сахарном диабете у крыс и его коррекции соединением ряда 1,3,4-тиадиазина и липоевой кислотой / И. Г. Данилова, В. В. Емельянов, И. Ф. Гетте [и др.] // Мед. иммунология. – 2018. – Т. 20, № 1. – С. 35–44.
45. Kitabchi A. E. Thirty years of personal experience in hyperglycemic crises: diabetic ketoacidosis and hyperglycemic hyperosmolar state / A. E. Kitabchi, G. E. Umpierrez, J. N. Fisher, M. B. Murphy, F. B. Stentz // J. Clin. Endocrinol. Metab. – 2008. – Vol. 93. – P. 1541–1552. – DOI: 10.1210/jc.2007-2577.
46. Harita N. Lower serum creatinine is a new risk factor of type 2 diabetes: the Kansai healthcare study / N. Harita, T. Hayashi, K. K. Sato [et al.] // Diabetes Care. – 2009. – Vol. 32. – P. 424–426.
47. Lorenzo C. Risk of type 2 diabetes among individuals with high and low glomerular filtration rates / C. Lorenzo, S. D. Nath, A. J. Hanley [et al.] // Diabetologia. – 2009. – Vol. 52. – P. 1290–1297.
48. Hjeltnes J. Low serum creatinine is associated with type 2 diabetes in morbidly obese women and men: a cross-sectional study / J. Hjeltnes, J. Røislien, N. Nordstrand [et al.] // BMC Endocr. Disord. – 2010. – Vol. 10. – P. 6.
49. Мадянов И. В. Мочевая кислота и сахарный диабет. Промежуточные итоги многолетних исследований / И. В. Мадянов // Здоровье Чувашии. – 2017. – № 2. – С. 59–64.
50. Шестакова М. В. Сахарный диабет и хроническая болезнь почек: возможности прогнозирования, ранней диагностики и нефропротекции в XXI веке / М. В. Шестакова // Терапевт. архив. – 2016. – Т. 88, № 6. – С. 84–88.
51. Лебедева Н. О. Маркеры доклинической диагностики диабетической нефропатии у пациентов с сахарным диабетом 1 типа / Н. О. Лебедева, О. К. Видулова // Сахарный диабет. – 2012. – № 2. – С. 38–45.
52. Климонтов В. В. Хроническая болезнь почек при сахарном диабете / В. В. Климонтов, А. И. Корбут // Терапевт. архив. – 2020. – № 5. – С. 58–58.
53. Mistry J. Antidiabetic activity of mango peel extract and mangiferin in alloxan-induced diabetic rats / J. Mistry, M. Biswas, S. Sarkar [et al.] // Futur. J. Pharm. Sci. – 2023. – Vol. 9. – P. 22.
54. Kleiner D. E. Histology of nonalcoholic fatty liver disease and nonalcoholic steatohepatitis in adults and children / D. E. Kleiner, H. R. Makhlof // Clin. Liver Dis. – 2016. – Vol. 20, No. 2. – P. 293–312.
55. Lankin V. Z. The initiation of the free radical peroxidation of low density lipoproteins by glucose and its metabolite methylglyoxal: a common molecular mechanism of vascular wall injury in atherosclerosis and diabetes / V. Z. Lankin, G. G. Konovalova, A. K. Tikhaze [et al.] // Mol. Cell. Biochem. – 2014. – Vol. 395. – P. 241–252.
56. Van L. S. High-density lipoprotein at the interface of type 2 diabetes mellitus and cardiovascular disorders / L. S. Van [et al.] // Curr. Pharm. Des. – 2010. – Vol. 16. – P. 1504–1516.
57. Андрейченко И. А. Информативность изменений биохимических параметров сыворотки крови при сахарном диабете 2-го типа / И. А. Андрейченко, С. Д. Галкин // Вестн. новых мед. технологий. – 2011. – № 4. – С. 184–186.
58. Kusmartseva I. Temporal analysis of amylase expression in control, autoantibody-positive, and type 1 diabetes pancreatic tissues / I. Kusmartseva, M. Beery, H. Hiller [et al.] // Diabetes. – 2020. – Vol. 69, No. 1. – P. 60–66. – DOI: 10.2337/db19-0554.
59. Ross J. J. Exocrine pancreatic enzymes are a serological biomarker for type 1 diabetes staging and pancreas size / J. J. Ross, C. H. Wasserfall, R. Bacher [et al.] // Diabetes. – 2021. – Vol. 70, No. 4. – P. 944–954. – DOI: 10.2337/db20-0995.

60. Endo T. Amylase α -2A autoantibodies: novel marker of autoimmune pancreatitis and fulminant type 1 diabetes / T. Endo, S. Takizawa, S. Tanaka [et al.] // *Diabetes*. – 2009. – Vol. 58, No. 3. – P. 732–737. – DOI: 10.2337/db08-0493.
61. Eprintsev A. T. Expression levels and activity of rat liver lactate dehydrogenase isoenzymes in alloxan diabetes / A. T. Eprintsev, I. R. Bondareva, N. V. Selivanova // *Biochem. (Moscow), Suppl. Series B: Biomedical Chemistry*. – 2022. – Vol. 16, No. 3. – P. 210–215.
62. Сатторова М. А. Эуфорбин-3 и Глабра на течение патологического процесса аллоксан-индуцированного сахарного диабета / М. А. Сатторова, М. А. Мустафакулов // *Modern Educational System and Innovative Teaching Solutions*. – 2024. – Т. 1, № 1. – С. 202–210.
63. Мусатов О. В. Активность щелочной фосфатазы сыворотки крови в зависимости от вида операции при ранах печени, селезёнки и почки в эксперименте / О. В. Мусатов, С. А. Журнаджан, А. В. Коханов // *Астраханский мед. журн.* – 2017. – Т. 12, № 2. – С. 63–69.
64. Бутолин Е. Г. Изменение содержания минеральных веществ в костной ткани у крыс с экспериментальным диабетом / Е. Г. Бутолин [и др.] // *Вестн. Удмуртского ун-та. Сер. Биология. Науки о Земле*. – 2017. – Т. 27, № 3. – С. 332–337.
65. Терентьева М. Г. Изменение активности гамма-глутамилтрансферазы в тканях печени у крольчат в разные фазы постнатального онтогенеза / М. Г. Терентьева, Н. В. Мардарьева, Н. В. Щипцова // *Вестн. Ульяновской гос. сельскохозяйств. акад.* – 2021. – № 3 (55). – С. 151–155.
66. Собирова Д. Р. Роль и взаимодействие креатинфосфокиназы и гамма-глутамилтранспептидазы в развитии сахарного диабета и их значение в патогенезе бронхолёгочных заболеваний / Д. Р. Собирова. – 2024.
67. Vitek L. The role of bilirubin in diabetes, metabolic syndrome, and cardiovascular diseases / L. Vitek // *Front. Pharmacol.* – 2012. – Vol. 3. – P. 55.
68. Basiglio C. L. Complement activation and disease: protective effects of hyperbilirubinaemia / C. L. Basiglio, S. M. Arriaga, F. Pelusa [et al.] // *Clin. Sci.* – 2010. – Vol. 118. – P. 99–113.
69. Hwang H. J. Relationship between bilirubin and C-reactive protein / H. J. Hwang, S. W. Lee, S. H. Kim // *Clin. Chem. Lab. Med.* – 2011. – Vol. 49. – P. 1823–1828.
70. Richardson S. J. The prevalence of enteroviral capsid protein Vp1 immunostaining in pancreatic islets in human type 1 diabetes / S. J. Richardson, A. Willcox, A. J. Bone, A. K. Foulis, N. G. Morgan // *Diabetologia*. – 2009. – Vol. 52. – P. 1143–1151.
71. Asmat U. Diabetes mellitus and oxidative stress – a concise review / U. Asmat, K. Abad, K. Ismail // *Saudi Pharm. J.* – 2016. – Vol. 24, No. 5. – P. 547–553.
72. Suryadinata R. V. Effectiveness of lime peel extract (*Citrus aurantifolia* Swingle) against C-reactive protein levels in alloxan-induced Wistar rats / R. V. Suryadinata, A. Lorensia, K. Sefania // *Glob. Med. Health Commun.* – 2021. – Vol. 9, No. 1. – P. 23–28.
73. Ferrer J. C. Control of glycogen deposition / J. C. Ferrer, C. Favre, R. R. Gomis, J. M. Fernández-Novell, M. García-Rocha, N. de la Iglesia [et al.] // *FEBS Lett.* – 2003. – Vol. 546, No. 1. – P. 127–132. – DOI: 10.1016/S0014-5793(03)00565-9.
74. Jiang S. Hepatic functional and pathological changes of type 1 diabetic mice in growing and maturation time / S. Jiang, X. Tang, K. Wang, Y. Liang, Y. Qian, C. Lu [et al.] // *J. Cell. Mol. Med.* – 2019. – Vol. 23, No. 8. – P. 5794–5807. – DOI: 10.1111/jcmm.14504.
75. Буеверов А. О. Поражение печени при сахарном диабете 1-го типа / А. О. Буеверов, А. В. Зилов // *Рос. журн. гастроэнтерологии, гепатологии, колопроктологии*. – 2021. – Т. 31, № 2. – С. 7–13. – DOI: 10.22416/1382-4376-2021-31-2-7-13.

METABOLIC DISORDERS IN RATS WITH ALLOXAN-INDUCED DIABETES

Chuyan E. N., Liventsov S. Yu., Dvoretzkaya N. I.

*Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education «Crimean Federal University named after V. I. Vernadsky», Simferopol, Republic of Crimea, Russia
E-mail: elena-chuyan@rambler.ru*

Diabetes mellitus is a global medical and social problem that requires the development of new approaches to studying its pathogenesis and treatment. This study is devoted to analyzing the features of biochemical shifts in Wistar rats (n=28) with alloxan-induced diabetes two months after its induction (administered intraperitoneally three times at 100 mg/kg, with a total dose of 300 mg/kg). This experimental model reliably reproduces the key mechanisms of the pathogenesis of severe insulin-dependent diabetes and can be recommended for long-term experimental studies, drug testing, and evaluating the effectiveness of approaches aimed at correcting metabolic and organ dysfunctions in diabetes mellitus.

Changes in the biochemical parameters of rat blood serum indicate significant disturbances in carbohydrate, lipid, protein, and energy metabolism, the development of inflammatory processes, and oxidative stress, which may result from impaired function and structure not only of the pancreas but also of the kidneys, liver, blood vessels, and other organs. Signs of organ damage have been identified, including destructive changes in muscle tissue, impaired liver function, and early manifestations of diabetic nephropathy. The obtained results expand current understanding of the mechanisms of diabetes development, the extent of metabolic disturbances under experimental diabetes conditions, and may serve as a basis for further studies on the etiology and pathogenesis of liver pathology in diabetes.

Keywords: diabetes mellitus; alloxan-induced diabetes; biochemical blood parameters in rats; carbohydrate, lipid, protein, and energy metabolism.

References

1. Sun H., Saeedi P., Karuranga S. IDF diabetes atlas: global, regional and country-level diabetes prevalence estimates for 2021 and projections for 2045, *Diabetes Res. Clin. Pract.*, **183** (2022).
2. Stanifer J. W., Cleland C. R., Makuka G. J. [et al.] Prevalence, risk factors, and complications of diabetes in the Kilimanjaro region: a population-based study from Tanzania, *PLoS One*. (2016).
3. Dedov I. I., Shestakova M. V., Vikulova O. K. Saharnyj diabet v Rossijskoj Federacii: rasprostranennost', zaboлеваemost', smertnost', parametry uglevodnogo obmena i struktura saharosnizhayushchej terapii po dannym federal'nogo registra saharного diabeta, status 2017 g., *Saharnyj diabet*, **21**, 3 (2018).
4. Jwad M., Yousif Al-Fatlawi H., Student P. Types of diabetes and their effect on the immune system, *J. Adv. Pharm. Pract.*, **4**, 1 (2022).
5. Lenzen S. The mechanisms of alloxan- and streptozotocin-induced diabetes, *Diabetologia*, 51 (2008).
6. Pal'chikova N. A., Kuznecova N. V., Kuz'mínova O. I., Selyatickaya V. G. Gormonal'no-biohimicheskie osobennosti alloksanovoj i streptozotocinovoj modelej eksperimental'nogo diabeta, *Byul. SO RAMN*, **33**, 6 (2013).
7. Zakaria Z. Z., Ahmad M. N., Qinna N. A. Animal models in type 2 diabetes mellitus research: pros and cons, *Jordan J. Agric. Sci.*, **17** (2021).

8. Gati M. A. Physiological and histological study of experimental diabetes mellitus by alloxan, *Int. J. Adv. Res.*, **4**, 3 (2016).
9. Bafaev Zh. T., Mavlanov A. A., Hamidova Z. N. Osobennosti tipologicheskikh svoystv zhivotnykh v klinicheskom techenii eksperimental'noj modeli alloksanovogo diabeta, *Novyj den' v medicine*, **1**, 39 (2022).
10. Rashmi P., Urmila A., Likhit A. [et al.] Rodent models for diabetes, *3 Biotech*, **13** (2023).
11. Elsnier M., Tiedge M., Guldbakke B. Importance of the GLUT2 glucose transporter for pancreatic beta cell toxicity of alloxan, *Diabetologia*, **45**, 11 (2002).
12. Radenković M., Stojanović M., Prostran M. Experimental diabetes induced by alloxan and streptozotocin: the current state of the art, *J. Pharmacol. Toxicol. Methods*, **78** (2016).
13. Chuyan E. N., Livencov S. Yu., Dvoreckaya N. I. Osobennosti izmeneniya biohimicheskikh pokazatelej krovi krys v usloviyah raznykh eksperimental'nykh modelej alloksan-inducirovannogo diabeta, *Uchyonye zapiski KFU im. V. I. Vernadskogo. Seriya: Biologiya. Himiya*, **11** (77), 1 (2025).
14. Danilova I. G., Gette I. F. *Sposob modelirovaniya alloksanovogo diabeta*, Patent № 2534411, 2014.
15. Care D. American Diabetes Association. Classification and Diagnosis of Diabetes: Standards of Medical Care in Diabetes–2019, *Diabetes Care*, **42**, Suppl. 1 (2019).
16. Dedov I. I., Shestakova M. V., Majorov A. Yu., Vikulova O. K., Galstyan G. R., Kuraeva T. L. [et al.] Algoritmy specializirovannoj medicinskoj pomoshchi bol'nym saharnym diabetom, *Saharnyj diabet*, **22**, 1S (2019).
17. Barcham D., Trinder P. An improved color reagent for determination of blood glucose by oxidase system, *Analyst*, **97**, 151 (1972).
18. Little R. R., Rohlfing C. L., Sacks D. B. Standardization of HbA1c Measurement, *Clin. Chem.*, **53**, 6 (2007).
19. Sacks D. B. Insulin assays and reference values, *Diabetes Metab.*, **33**, 5 (2007).
20. Allain C., Poon L., Chan G. [et al.] Enzymatic determination of total serum cholesterol, *Clin. Chem.*, **20**, 4 (1974).
21. Roeschlau P., Bernt E., Gruber W. A. Enzymatische Bestimmung des Gesampt-Cholesterins in Serum, *Clin. Chem. Clin. Biochem.*, **12**, 5 (1974).
22. Nauk M., Wiebe D., Warnick G. Measurement of high-density-lipoprotein cholesterol, *Handbook of Lipoprotein Testing, 2nd ed.*, AACC Press, Washington DC (2001).
23. Cornall A. G., Bardawill C. J., David M. M. Determination of serum proteins by biuret reaction, *J. Biol. Chem.*, **177**, 2 (1949).
24. Burtis C. A., Ashwood E. R., Bruns D. E. Tietz Textbook of Clinical Chemistry and Molecular Diagnostics, 5th ed., Elsevier, St. Louis (2012).
25. Fossati P., Prencipe L., Berti G. Use of 3,5-dichloro-2-hydroxybenzenesulfonic acid/4-aminophenazone chromogenic system for uric acid assay, *Clin. Chem.*, **26**, 2 (1980).
26. Henry R. J., Chiamori N., Golub O. J., Berkman S. Revised spectrophotometric methods for transaminases and lactate dehydrogenase, *Am. J. Clin. Pathol.*, **34** (1960).
27. Stein W. Creatine kinase (total activity), isoenzymes and variants, *Clinical Laboratory Diagnostics*, TH-Books, Frankfurt (1998).
28. Dolgov V. V., Men'shikov V. V. *Klinicheskaya laboratornaya diagnostika*. Nacional'noe rukovodstvo. Tom 1. (M.: GEOTAR-Media, 2013).
29. Moss D. W., Henderson A. R. *Clinical enzymology*, In: *Tietz Textbook of Clinical Chemistry*, 3rd ed. – (Philadelphia: WB Saunders Company, 1999).
30. Fachbach F., Zawta B. Age-dependent reference limits of several enzymes in plasma at different measuring temperatures, *Klin. Lab.*, **38** (1992).
31. Guder W. G., Zawta B. [et al.] *The quality of diagnostic samples*. – 1st ed. (Darmstadt: GIT Verlag, 2001).
32. Claus D. R., Osmand A. P., Gewurz H. Radioimmunoassay of human C-reactive protein and levels in normal sera, *J. Lab. Clin. Med.*, **87** (1976).
33. Hind C. R. H., Pepys M. B. The role of serum C-reactive protein (CRP) measurement in clinical practice, *Int. Med.*, **5** (1984).
34. Yarmolinskaya M. I., Andreeva N. Yu., Abashova E. I., Misharina E. V. Eksperimental'nye modeli saharnogo diabeta 1-go tipa, *Zhurnal akusherstva i zhenskikh boleznej*, **68**, №2 (2019).

35. El'bek'yan K. S., Hodzhayan A. B., Bidzhieva F. A. [i dr.] Osobennosti protekaniya alloksan-inducirovannogo saharnogo diabeta u eksperimental'nyh kryss, *Medicinskij vestnik Severnogo Kavkaza*, **14**, **1,2** (2019).
36. Bidzhieva F. A. Biohimicheskie osobennosti alloksan-inducirovannogo saharnogo diabeta, *Medicinskij alfavit*, **31**, **2** (2018).
37. Fajarwati I., Solihin D. D., Wresdiyati T., Batubara I. Administration of alloxan and streptozotocin in Sprague Dawley rats and challenges in producing diabetes model, *IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci.*, **1174**, **1** (2023).
38. Maleki V. [et al.] The effect of resveratrol on advanced glycation end products in diabetes mellitus: a systematic review, *Arch. Physiol. Biochem.*, **126**, **6** (2020).
39. Yashanova M. I., Shcherbatyuk T. G., Nikolaev V. Yu. Validnost' modelej eksperimental'nogo diabeta dlya izucheniya oksidativ'nogo stressa, *Zhurn. mediko-biologicheskikh issledovanij*, **7**, **1** (2019).
40. Dzhafarova R. E. Sravnitel'noe issledovanie razlichnykh modelej alloksan-inducirovannogo saharnogo diabeta, *Kazanskij medicinskij zhurnal*, **6** (2013).
41. Ignatchik D. A. Vliyanie alloksana i streptozotocina na uroven' insulina i sistemu glutationa v tkanyah zhivotnykh [Elektronnyj resurs], Aktual'nye problemy sovremennoj mediciny i farmacii 2020: sb. tez. dokl. LXXIV Mezhdunar. nauch.-prakt. konf. studentov i molodyh uchenykh, 15–17 apr. Minsk, 2020. (Minsk: BGMU, 2020).
42. Lomaeva S. V., Gette I. F., Bulavinceva T. S. Osobennosti obmena biopolimerov soedinitel'noj tkani v pecheni kryss s alloksanovym diabetom, *Byul. sib. mediciny*, **12**, **6** (2013).
43. Mihajlichenko V. Yu., Stolyarov S. S. Effekt transplantacii kul'tury kletok podzheludochnoj zhelezy pri alloksanovom saharnom diabete u kryss v eksperimente, *Mezhdunar. zhurn. prikladnykh i fundamental'nykh issledovanij*, **9** (2015).
44. Danilova I. G., Emel'yanov V. V., Gette I. F. Citokinovaya reguljaciya regeneratornykh processov v podzheludochnoj zheleze pri alloksanovom saharnom diabete u kryss i ego korrekcii soedineniem ryada 1,3,4-tiadiazina i lipoevoj kislotoj, *Med. immunologiya*, **20**, **1** (2018).
45. Kitabchi A. E., Umpierrez G. E., Fisher J. N., Murphy M. B., Stentz F. B. Thirty years of personal experience in hyperglycemic crises: diabetic ketoacidosis and hyperglycemic hyperosmolar state, *J. Clin. Endocrinol. Metab.*, **93** (2008).
46. Harita N., Hayashi T., Sato K. K. Lower serum creatinine is a new risk factor of type 2 diabetes: the Kansai healthcare study, *Diabetes Care*, **32** (2009).
47. Lorenzo C., Nath S. D., Hanley A. J. Risk of type 2 diabetes among individuals with high and low glomerular filtration rates, *Diabetologia*, **52** (2009).
48. Hjeltnes J., Røislien J., Nordstrand N. Low serum creatinine is associated with type 2 diabetes in morbidly obese women and men: a cross-sectional study, *BMC Endocr. Disord.*, **10** (2010).
49. Madyanov I. V. Mochevaya kislota i saharnyj diabet. Promezhutochnye itogi mnogoletnih issledovanij, *Zdravoohranenie Chuvashii*, **2** (2017).
50. Shestakova M. V. Saharnyj diabet i hronicheskaya bolezni' pohek: vozmozhnosti prognozirovaniya, rannej diagnostiki i nefroprotekcii v XXI veke, *Terapevt. arhiv*, **88**, **6** (2016).
51. Lebedeva N. O., Vikulova O. K. Markery doklinicheskoi diagnostiki diabeticheskoi nefropatii u pacientov s saharnym diabetom 1 tipa, *Saharnyj diabet*, **2** (2012).
52. Klimontov V. V., Korbuto A. I. Hronicheskaya bolezni' pohek pri saharnom diabete, *Terapevt. arhiv*, **5** (2020).
53. Mistry J., Biswas M., Sarkar S. Antidiabetic activity of mango peel extract and mangiferin in alloxan-induced diabetic rats, *Futur. J. Pharm. Sci.*, **9** (2023).
54. Kleiner D. E., Makhlouf H. R. Histology of nonalcoholic fatty liver disease and nonalcoholic steatohepatitis in adults and children, *Clin. Liver Dis.*, **20**, **2** (2016).
55. Lankin V. Z., Konovalova G. G., Tikhaze A. K. The initiation of the free radical peroxidation of low density lipoproteins by glucose and its metabolite methylglyoxal: a common molecular mechanism of vascular wall injury in atherosclerosis and diabetes, *Mol. Cell. Biochem.*, **395** (2014).
56. Van L. S. High-density lipoprotein at the interface of type 2 diabetes mellitus and cardiovascular disorders, *Curr. Pharm. Des.*, **16** (2010).
57. Andrejchenko I. A., Galkin S. D. Informativnost' izmenenij biohimicheskikh parametrov syvorotki krovi pri saharnom diabete 2-go tipa, *Vestn. novykh med. tekhnologij*, **4** (2011).

58. Kusmartseva I., Beery M., Hiller H. Temporal analysis of amylase expression in control, autoantibody-positive, and type 1 diabetes pancreatic tissues, *Diabetes*, **69**, 1 (2020).
59. Ross J. J., Wasserfall C. H., Bacher R. Exocrine pancreatic enzymes are a serological biomarker for type 1 diabetes staging and pancreas size, *Diabetes*, **70**, 4 (2021).
60. Endo T., Takizawa S., Tanaka S. Amylase α -2A autoantibodies: novel marker of autoimmune pancreatitis and fulminant type 1 diabetes, *Diabetes*, **58**, 3 (2009).
61. Eprintsev A. T., Bondareva I. R., Selivanova N. V. Expression levels and activity of rat liver lactate dehydrogenase isoenzymes in alloxan diabetes, *Biochem. (Moscow), Suppl. Ser. B: Biomed. Chem.*, **16**, 3 (2022).
62. Sattorova M. A., Mustafakulov M. A. Euforbin-3 i Glabra na techenie patologicheskogo processa alloxan-inducirovannogo saharnogo diabeta, *Modern Educational System and Innovative Teaching Solutions*, **1**, 1 (2024).
63. Musatov O. V., Zurnadzhan S. A., Kohanov A. V. Aktivnost' shchelochnoj fosfatazy syvorotki krovi v zavisimosti ot vida operacii pri ranah pecheni, selezyonki i pochki v eksperimente, *Astrahanskij med. zhurn.*, **12**, 2 (2017).
64. Butolin E. G. [i dr.] Izmenenie soderzhaniya mineral'nyh veshchestv v kostnoj tkani u krys s eksperimental'nym diabetom, *Vestn. Udmurtskogo un-ta. Ser. Biologiya. Nauki o Zemle*, **27**, 3 (2017).
65. Terent'eva M. G., Mardar'eva N. V., Shchipova N. V. Izmenenie aktivnosti gamma-glutamyltransferazy v tkanyah pecheni u krol'chat v raznye fazy postnatal'nogo ontogeneza, *Vestn. Ul'yanovskoj gos. sel'skhoz. akad.*, **3** (55) (2021).
66. Sobirova D. R. Rol' i vzaimodejstvie kreatinfosfokinazy i gamma-glutamyltranspeptidazy v razvitiі saharnogo diabeta i ih znachenie v patogeneze bronhologicheskix zabolevanij (2024).
67. Vitek L. The role of bilirubin in diabetes, metabolic syndrome, and cardiovascular diseases, *Front. Pharmacol.*, **3** (2012).
68. Basiglio C. L., Arriaga S. M., Pelusa F. [et al.] Complement activation and disease: protective effects of hyperbilirubinaemia, *Clin. Sci.*, **118** (2010).
69. Hwang H. J., Lee S. W., Kim S. H. Relationship between bilirubin and C-reactive protein, *Clin. Chem. Lab. Med.*, **49** (2011).
70. Richardson S. J., Willcox A., Bone A. J., Foulis A. K., Morgan N. G. The prevalence of enteroviral capsid protein Vp1 immunostaining in pancreatic islets in human type 1 diabetes, *Diabetologia*, **52** (2009).
71. Asmat U., Abad K., Ismail K. Diabetes mellitus and oxidative stress – a concise review, *Saudi Pharm. J.*, **24**, 5 (2016).
72. Suryadinata R. V., Lorensia A., Sefania K. Effectiveness of lime peel extract (*Citrus aurantifolia* Swingle) against C-reactive protein levels in alloxan-induced Wistar rats, *Glob. Med. Health Commun.*, **9**, 1 (2021).
73. Ferrer J. C., Favre C., Gomis R. R., Fernández-Novell J. M., García-Rocha M., de la Iglesia N. [et al.] Control of glycogen deposition, *FEBS Lett.*, **546**, 1 (2003).
74. Jiang S., Tang X., Wang K., Liang Y., Qian Y., Lu C. [et al.] Hepatic functional and pathological changes of type 1 diabetic mice in growing and maturation time, *J. Cell. Mol. Med.*, **23**, 8 (2019).
75. Bueverov A. O., Zilov A. V. Porazhenie pecheni pri saharnom diabete 1-go tipa, *Ros. zhurn. gastroenterologii, gepatologii, koloproktologii*, **31**, 2 (2021).

УДК 591.5:579.222+57.084

DOI 10.29039/2413-1725-2025-11-2-303-312

ВЛИЯНИЕ ПРОБИОТИЧЕСКОГО МИКРОБНОГО КОНСОРЦИУМА НА ТРЕВОЖНОСТЬ КРЫС С АЛЛОКСАН-ИНДУЦИРОВАННЫМ САХАРНЫМ ДИАБЕТОМ

Ярмлюк Н. С., Джелдубаева Э. Р., Ржевская В. С., Туманянц К. Н., Аединова Д. З.

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

В работе представлено экспериментальное исследование влияния пробиотического микробного консорциума (ПМК) на уровень тревожности у крыс с аллоксан-индуцированным сахарным диабетом. Тревожность оценивалась с использованием поведенческого теста «приподнятый крестообразный лабиринт», являющегося методом оценки эмоционального состояния лабораторных животных. Результаты показали, что введение аллоксана вызывает достоверное увеличение индекса тревожности на всех сроках наблюдения, что свидетельствует о развитии нейropsychологических нарушений на фоне диабета. Применение ПМК приводило к частичному снижению тревожности у экспериментальных животных, что связано с нейропротекторным, противовоспалительным и антиоксидантным действием пробиотиков, опосредованным через ось «кишечник–мозг».

Ключевые слова: пробиотический микробный консорциум, аллоксан-индуцированный сахарный диабет, индекс тревожности, крысы.

ВВЕДЕНИЕ

Сахарный диабет (СД) представляет собой группу хронических метаболических заболеваний, характеризующихся не только гипергликемией, но и развитием вторичных неврологических и психоэмоциональных нарушений [1]. В наших предыдущих работах показано, что у крыс с аллоксановым диабетом статистически значимо уменьшается продолжительность поведенческих реакций (общей активности, стереотипного движения, средней скорости, общей пройденной дистанции и пр.) в тесте «инфракрасный актиметр» по сравнению с контрольной группой [2]. Как показано в ряде других исследований, у пациентов и экспериментальных животных с диабетом значительно повышается уровень тревожности и депрессивноподобного поведения [2, 3].

Известно, что одной из причин психоэмоциональных расстройств при диабете считается хронический воспалительный процесс и нарушение функции оси «микробиом–кишечник–мозг» [4]. Ряд исследований продемонстрировали, что микробиота кишечника играет важную роль при СД второго типа [5]. В работе L. Zhang и соавт. [6] показано, что симптомы у пациентов с СД можно улучшить,

модифицировав микробиоту кишечника, что помогает обратить вспять нарушение толерантности к глюкозе и уровня глюкозы натощак при преддиабете. Изменения в составе кишечной микробиоты оказывают влияние на синтез нейротрансмиттеров, иммунную регуляцию и барьерную функцию кишечника, что в свою очередь связано с формированием тревожных и депрессивных состояний [7].

По мнению многих авторов, тревожность, как компонент психоэмоционального стресса, может влиять на возникновение СД второго типа [8], приводя к развитию метаболического синдрома [9, 10] и инсулинорезистентности [11, 12], а также может предшествовать развитию депрессии [2], что подчеркивает важность выявления тревожных расстройств.

Применение пробиотических микробных консорциумов (ПМК) рассматривается как перспективный метод коррекции нарушений поведения и эмоционального фона при метаболических заболеваниях. По данным исследований введение пробиотиков способствует нормализации микробиоты, снижению воспаления и улучшению показателей эмоционального состояния у животных с экспериментальным диабетом [13, 14].

Однако влияние ПМК на уровень тревожности при аллоксан-индуцированном диабете остаётся недостаточно изученным. Нет исследований оценки уровня тревожности с помощью валидных поведенческих тестов, таких как приподнятый крестообразный лабиринт (ПКЛ) – метода, который широко применяется для количественной оценки тревожного поведения у лабораторных животных [15]. Большинство работ посвящено исследованию пробиотиков в моделях СД второго типа, в то время как особенности поведенческих изменений при инсулинодефицитных состояниях требуют дальнейшего изучения.

В связи с вышеизложенным, целью данного исследования было изучение тревожности крыс при введении ПМК в модели аллоксан-индуцированного СД.

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». Эксперимент был выполнен на белых половозрелых крысах-самцах линии *Wistar*, специально выведенные для лабораторных исследований. Общая выборка составила 30 здоровых крыс-самцов массой 260–300 г., со средней двигательной активностью, которые, согласно литературным данным [16], составляют большинство в популяции и, соответственно, у них развивается наиболее типичная реакция на любое воздействие.

Экспериментальные животные были разделены на три группы по 10 особей в каждой (рис. 1). Крысы первой группы «Контроль» (К) содержались в стандартных условиях вивария. Животным второй (Ал) и третьей (Ал+Пб) групп моделировали

СД путем трехкратного внутрибрюшинного введения аллоксана, растворенного в физиологическом растворе, в количестве по 10 мг/100 г через 24 часа трехкратно [17]. В ходе исследования для выявления СД осуществлялся мониторинг уровня глюкозы в крови из надреза на хвосте крыс с помощью глюкометра «iCheck». Крысам третьей группы давали 1 % раствор ПМК, который вводили животным интрагастрально, используя оральный зонд для кормления мелких грызунов. Кратность введения ПМК один раз в сутки на протяжении 21 дня в виде 1 % раствора в дозе 81gKOE/мл, которая в пересчете на массу тела крысы соответствует максимальной дозе 3 мл [18]. Крысам первой (К) и второй (Ал) групп вводили эквивалентный объем питьевой воды.

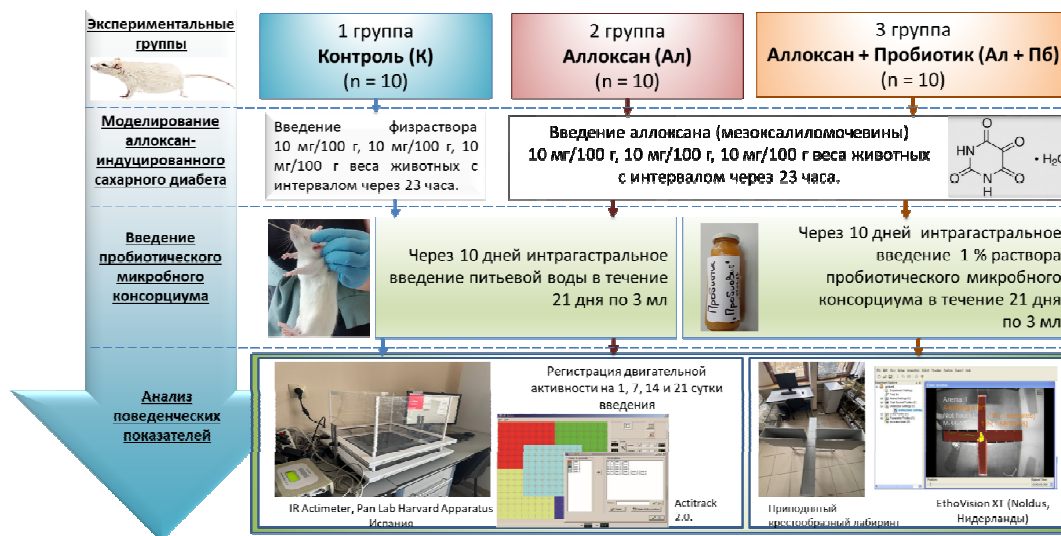


Рис 1. Схема проведения эксперимента.

Все манипуляции с крысами в ходе исследования проводились в соответствии с требованиями разработки и реализации доклинических исследований, а также с соблюдением этических норм и требований по гуманному отношению к подопытным животным.

Синтез исследуемого ПМК проводился на кафедре ботаники и физиологии растений и биотехнологии ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет имени В. И. Вернадского» под руководством Ржевской В. С. В состав микробного консорциума вошли следующие 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 использованные штаммы депонированы во Всероссийской коллекции микроорганизмов (ВКМ). Биологическая концентрация бактерий ПМК составила $1,3 \cdot 10^9$ КОЕ.

Исследование тревожности проводили в поведенческом тесте «Приподнятый крестообразный лабиринт» (ПКЛ), являющийся одной из наиболее информативных методик, которая может точно оценить нейротропные эффекты травмирующих факторов окружающей среды. В нашем исследовании ПКЛ представляет собой конструкцию, которая состоит из центральной площадки, а также двух «открытых рукавов» и двух «закрытых рукавов» с открытым верхом размерами 50х50 см, расположенных перпендикулярно друг другу. Высота над полом составляет 1 м.

В начале эксперимента каждое животное помещали в центр лабиринта, лицом к одному из открытых рукавов. Поведенческая активность крысы регистрировалась в течение 3 минут с помощью видеосистемы.

Автоматизированный анализ поведения осуществлялся с использованием программы EthoVision XT (Noldus, Нидерланды), которая автоматически анализирует данные, в том числе время пребывания, количество заходов животного в открытые и закрытые рукава, а также длительность нахождения в центральной зоне.

Для количественной оценки тревожности рассчитывали индекс тревожности (ИТ) по формуле [15]:

$$\text{ИТ} = \frac{\text{время в закрытых рукавах, с}}{\text{общее время теста (180 с)}}$$

Низкий индекс тревожности (ближе к 0) свидетельствует о снижении уровня тревожности и большей исследовательской активности.

Статистическая обработка данных проводилась с использованием прикладного программного документа «GraphPad Prism 8» (GraphPad Software, Inc., США) и «Microsoft Excel 2016» (Microsoft Corp., США). Оценка достоверного уровня различий между экспериментальными группами проводилась с применением непараметрического критерия Краскелла-Уолиса. Достоверными показателями считаются показатели меньше $p < 0,05$.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Анализ результатов исследования показал, что на протяжении всего эксперимента отмечается увеличение ИТ во всех экспериментальных группах (рис. 2). Так, во второй группе (Ал) на 1-е сутки отмечается увеличение ИТ на 35,6 % ($p < 0,001$) по сравнению с контролем, что указывает на значительный рост тревожности. Это может быть связано с острым стрессовым ответом организма на введение аллоксана, а также с возникновением гипергликемии и нейротоксического эффекта. На 7-е сутки ИТ вырос на 38,0 % ($p < 0,001$), относительно контрольных значений, что свидетельствует о продолжающихся нарушениях в организме. К этому моменту у крыс могут появляться более выраженные метаболические нарушения, такие как дисфункция центральной нервной системы. На 14-е и 21-е сутки изучаемый показатель увеличился на 16,6 % ($p < 0,01$) и 28,0 % ($p < 0,01$) соответственно по сравнению с контрольной группой, что может коррелировать с хроническим воздействием аллоксана и накоплением повреждений в организме.

При этом следует отметить, что наибольший ИТ отмечается на 7-е сутки, а наименьший на 14-е (рис. 2).

Данные результаты у крыс второй группы в модели аллоксанового диабета согласуются с литературными данными, где показано, что аллоксан имеет выраженное повреждающее действие на β -клетки поджелудочной железы, вызывая гипергликемию, окислительный стресс и нарушения работы центральной нервной системы [19, 1]. Как отмечено в исследованиях Yiğit S. и соавт. [3], гипергликемия способствует нарушению целостности гематоэнцефалического барьера, активации воспалительных каскадов и дефициту нейротрансмиттеров, что ведёт к усилению тревожности. Немаловажными факторами являются вызванная гипергликемия и недостаток инсулина, которые могут привести к дефициту энергии в клетках мозга, что также способствует повышению тревожности.

Таким образом, наши данные подтверждают существующие литературные сведения о патогенетической роли гипергликемии и окислительного стресса в развитии тревожных расстройств при диабете. Хроническая гипергликемия, окислительный стресс и нейротоксическое действие аллоксана приводят к стойкому нарушению эмоционального состояния крыс, выражающемуся в повышении тревожности.

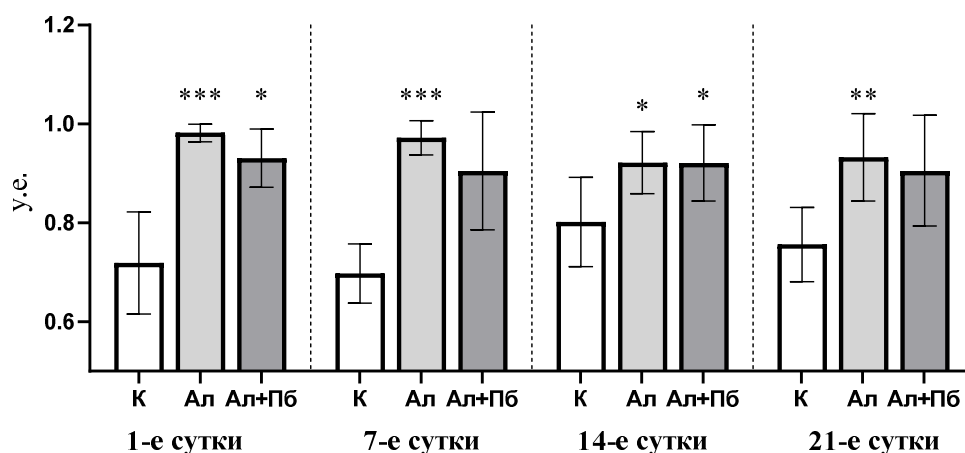


Рис. 2. Изменение индекса тревожности крыс с аллоксан-индуцированным диабетом и при дополнительном введении пробиотического микробного консорциума в тесте «Приподнятый крестообразный лабиринт».

Примечание: * – достоверность различий по критерию Данна относительно значений контрольной группы (* – $p < 0,05$; ** – $p < 0,01$; *** – $p < 0,001$)

При дополнительном введении ПКМ в модели аллоксанового диабета у животных третьей группы (Ал+Пб) на 1-е сутки наблюдается увеличение ИТ на 27,3 % ($p < 0,05$) относительно значений в контрольной группе, что в свою очередь меньше на 8,3 %, чем в группе Ал, что говорит о защитном эффекте ПКМ, которому удастся частично компенсировать негативное влияние аллоксана. На 7-е и 21-е

сутки отмечается лишь тенденция к увеличению ИТ на 32,3 % и 24,0 % соответственно относительно показателей контрольной группы. Следовательно, отмечается стабилизация уровня тревожности, но она все еще остается на более высоком уровне по сравнению с контролем. На 14-е сутки введения ПМК отмечается наибольшее увеличение ИТ в третьей группе животных на 20,5 % ($p < 0,01$) относительно данных контрольной группы. Это указывает на продолжающееся отрицательное воздействие аллоксана, но с меньшей силой, чем во второй группе (рис. 2). Это согласуется с данными Ghahremani Z. и соавт. [13], согласно которым пробиотики способны снижать уровень тревожности за счёт нормализации оси «кишечник–мозг», уменьшения уровня провоспалительных цитокинов и коррекции нейротрансмиссивного обмена. Именно восстановление микробного баланса является ключевым механизмом снижения тревожности, поскольку изменения в микробиоме кишечника обусловлено активацией воспалительных путей и нарушением синтеза серотонина и гамма-аминомасляной кислоты [7]. Показано, что ПМК способствует восстановлению кишечной микробиоты, снижению уровня системного воспаления и улучшению функциональной активности нейрональных сетей, вовлечённых в регуляцию эмоций [14, 4]. ПМК могут восстанавливать баланс кишечной микробиоты, что может способствовать уменьшению уровня тревожности, так как дисбиоз зачастую связан с повышенной тревожностью и депрессией.

Мозг и кишечник взаимодействуют в двустороннем режиме посредством иммунных, неврологических и эндокринных путей, что называется ось кишечник–головной мозг. Недавние исследования микробиоты кишечника как посредника в этом взаимодействии предоставили растущее количество научных доказательств того, что микробиота кишечника влияет на стресс и эмоциональные реакции, а также на расстройства, связанные со стрессом [20]. Между кишечником и мозгом существуют хорошо изученные двусторонние каналы связи, включающие нервные, эндокринные и воспалительные механизмы. Связь по этим каналам может регулироваться изменениями проницаемости кишечной стенки и гематоэнцефалического барьера [21, 22]. Пробиотики могут улучшать работу гематоэнцефалического барьера и снижать нейровоспаление, что защищает нейроны от повреждений. Это очень важно при диабете, так как гипергликемия и окислительный стресс могут отрицательно влиять на нервные клетки.

Таким образом, ПМК обладает антиоксидантными, противовоспалительными и нейропротекторными свойствами, что помогает частично возмещать отрицательное воздействие аллоксана. Это проявлялось в большей предпочтительности находиться в «открытых рукавах» и центре крестообразного лабиринта, что объясняет меньший уровень тревожности у крыс группы Ал+Пб по сравнению с крысами в группе Ал.

Исследования в данной области имеют важное значение, так как они свидетельствуют о том, что ПМК оказывают умеренно анксиолитическое действие, благодаря взаимосвязи между кишечником и головным мозгом. Понимание этих взаимосвязей открывает новые перспективы для разработки стратегий лечения, основанных на модуляции состава и функций микробиома.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведено исследование уровня тревожности у крыс при введении пробиотического микробного консорциума в модели аллоксан-индуцированного диабета. Моделирование аллоксан-индуцированного сахарного диабета у крыс приводит к значительному и стойкому повышению уровня тревожности, что подтверждается достоверным увеличением индекса тревожности на всех сроках наблюдения по сравнению с контрольной группой.

Введение пробиотического микробного консорциума животным с аллоксановым диабетом частично нивелировало тревожные расстройства – наблюдается умеренное снижение индекса тревожности по сравнению с диабетической группой, что свидетельствует о модулирующем действии ПМК на поведение. Полученные данные согласуются с современными представлениями о влиянии микробиоты кишечника на психоэмоциональное состояние через ось «микробиом–кишечник–мозг», подтверждающими способность пробиотиков снижать уровень тревожности и нейровоспаления.

Таким образом, полученные результаты свидетельствуют о перспективности применения пробиотических микробных консорциумов как средства поведенческой коррекции тревожных нарушений при диабете первого типа.

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

Список литературы

1. Strachan M. W. J. Cognitive function, depression, and quality of life in patients with type 1 diabetes / M. W. J. Strachan I. J., Deary, F. M. E. Ewing, B. M. Frier // Diabetes Care. – 2011. – Vol. 24, № 4. – P. 775–778.
2. Ярмолук Н. С. Влияние пробиотического микробного консорциума на поведенческие реакции крыс с аллоксаниндуцированным сахарным диабетом / Н. С. Ярмолук, Э. Р. Джелдубаева, В. С. Ржевская [и др.] // Ученые записки Крымского федерального университета имени В. И. Вернадского. Биология. Химия. – 2025. – Т. 11, № 1. – С. 260–272.
3. Yiğit S. Effects of diabetes mellitus on anxiety and depression levels / S. Yiğit, E. Yiğit, M. Bozkurt // Neurosciences (Riyadh). – 2019. – Vol. 24, № 2. – P. 103–107.
4. Cryan J. F. Mind-altering microorganisms: the impact of the gut microbiota on brain and behavior / J. F. Cryan, T. G. Dinan // Nature Reviews Neuroscience. – 2012. – Vol. 13. – P. 701–712.
5. Halmos T. Physiological patterns of intestinal microbiota. The role of dysbacteriosis in obesity, insulin resistance, diabetes and metabolic syndrome / T. Halmos, I. Suba // Orv Hetil. – 2016. – V. 157, № 5. – P. 13–22.
6. Zhang L. Microbiota and Type 2 Diabetes Mellitus: Association, Mechanism, and Translational Applications / L. Zhang, J. Chu, W. Hao [et al.] // Mediators Inflamm. – 2021. – V. 7. – P. 16–18.
7. Dinan T. G., Gut–brain axis in 2016: Brain–gut–microbiota axis — mood, metabolism and behaviour / T. G. Dinan, J. F. Cryan // Nature Reviews Gastroenterology & Hepatology. – 2017. – V. 14. – P. 69–70.
8. Гарганеева Н. П. Психосоциальные факторы, тревожные и депрессивные расстройства у пациентов с ишемической болезнью сердца: проблемы коморбидности и прогнозирования /

- Н. П. Гарганеева, Н. А. Корнетов, М. Ф. Белокрылова // Российский кардиологический журнал. – 2020. – Т. 25, № 9. – С. 26–32.
9. Petrlova B. Depressive disorders and the matabolic syndrome of the insulin resistance / B. Petrlova, H. Rosolva, Z. Al // Semin. – 2004. – V. 4. – P. 161–165.
 10. Skilton M. R., Associations between anxiety, depression, and the metabolic syndrome / M. R. Skilton, P. Moulin, J. L. Terra [et al.] // Biol. Psychiatry. – 2007. – V. 62. – P. 251–1257.
 11. Bjorntorp P. Metabolic Implications of Body Fat Distribution / P. Bjorntorp // Diabetes Care. – 1991. – V. 14, № 12. – P. 1132–1143.
 12. Boyle S. Depressive Symptoms, Race, and Glucose Concentrations / S. Boyle R. Surwit [et al.] // Diabetes Care. – 2007. – V. 3. – P. 567–578.
 13. Ghahremani Z. The protective effect of probiotic supplementation on depression, anxiety and stress in diabetes mellitus patients. A randomized double-blind clinical trial / Z. Ghahremani, M. Shabani, M. Ghanbarabadi [et al.] // Journal of Functional Foods. – 2021. – V. 85. – P. 104635.
 14. Sanchez M. Probiotics and prebiotics in the management of depressive symptoms: A systematic review / M. Sanchez, C. Darimont, V. Drapeau // Nutrients. – 2017. – V. 9, № 11. – P. 1220.
 15. Хусаинов Д. Р. 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.
 16. Чуян Е. Н. Влияние миллиметровых волн нетепловой интенсивности на развитие гипокинетического стресса у крыс с различными индивидуальными особенностями: Автореф. дис. канд. биол. наук. / Чуян Е. Н. – Симферополь, 1992. – С. 25.
 17. Данилова И. Г. Способ моделирования аллоксанового диабета / И. Г. Данилова, И. Ф. Гетте: Патент на изобретение № 2534411; заявл. 27.11.2014; опубл. 27.11.2014. – Бюл. № 33.
 18. 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.
 19. Szkudelski T. The mechanism of alloxan and streptozotocin action in B cells of the rat pancreas / Szkudelski T. // Physiological Research. – 2001. – V. 50. – P. 537–546.
 20. Izuno S. Role of Gut Microbiota in the Pathophysiology of Stress-Related Disorders: Evidence from Neuroimaging Studies / S. Izuno, K. Yoshihara, N. Sudo // Ann Nutr Metab. – 2021. – V. 77. – P. 4–10.
 21. Osadchiy V. The Gut-Brain Axis and the Microbiome: Mechanisms and Clinical Implications / V. Osadchiy, C. R. Martin, E. A. Mayer // Clin Gastroenterol Hepatol. – 2019. – Vol. 17, № 2. – P. 322–332.
 22. Sanchez M. Probiotics and prebiotics in the management of depressive symptoms: A systematic review / M. Sanchez, C. Darimont, V. Drapeau // Nutrients. – 2017. – V. 9, № 11. – P. 1220.

EFFECT OF PROBIOTIC MICROBIAL CONSORTIUM ON ANXIETY IN RATS WITH ALLOXAN-INDUCED DIABETES MELLITUS

Yarmolyuk N. S., Dzheldubaeva E. R., Rzhetskaya V. S., Tumanyants K. N., Aedinova D. Z.

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

Diabetes mellitus is a chronic metabolic disorder that involves not only impaired glucose metabolism but also the development of secondary psychoemotional disturbances, including increased anxiety. Recently, growing attention has been paid to the role of the gut microbiota and the «gut–brain axis» in the pathogenesis of neurological complications of diabetes.

The aim of this study was to evaluate the effect of a probiotic microbial consortium composed of strains of *Lactobacillus spp.*, *Enterococcus faecium*, and *Brettanomyces bruxellensis* on the anxiety level of rats with alloxan-induced diabetes mellitus. The diabetic model was reproduced by intraperitoneal administration of alloxan. Anxiety levels were assessed using the elevated plus maze behavioral test on days 1, 7, 14, and 21 after induction of alloxan-induced diabetes. The anxiety index was calculated based on the time the animals spent in the open arms of the maze.

The obtained results demonstrated that in the diabetic model group, the anxiety index was significantly elevated at all observation points compared to the control group, indicating the development of a sustained anxiety-like state. Administration of the probiotic microbial consortium to diabetic rats led to a decrease in anxiety index values across all time points compared to the untreated diabetic group, suggesting partial recovery of emotional status. These findings imply that the probiotic microbial consortium may possess anxiolytic properties mediated through anti-inflammatory effects, correction of microbial dysbiosis, and restoration of gut–brain axis functionality.

Thus, the probiotic microbial consortium can be considered a promising tool for the complex correction of psychoemotional disorders in insulin-deficient forms of diabetes, as well as a preventive approach to anxiety-related conditions associated with neuroinflammation and microbiota imbalance.

Keywords: probiotic microbial consortium, alloxan-induced diabetes mellitus, anxiety index, rats.

References

1. Strachan M. W. J., Deary I. J., Ewing F. M. E., Frier B. M. Cognitive function, depression, and quality of life in patients with type 1 diabetes, *Diabetes Care*, **24**, **4**, 775 (2011).
2. Yarmolyuk N. S., Dzheldubaeva E. R., Rzhetskaya V. S., Tumanyants K. N., Aedinova D. Z. Effect of probiotic microbial consortium on behavioral reactions of rats with alloxan-induced diabetes mellitus, *Scientific Notes of V. I. Vernadsky Crimean Federal University. Biology. Chemistry*, **11**, **1**, 260 (2025).
3. Yiğit S., Yiğit E., Bozkurt M. Effects of diabetes mellitus on anxiety and depression levels, *Neurosciences (Riyadh)*, **24**, **2**, 103 (2019).
4. Cryan J. F., Dinan T. G. Mind-altering microorganisms: the impact of the gut microbiota on brain and behavior, *Nature Reviews Neuroscience*, **13**, 701 (2012).
5. Halmos T., Suba I. Physiological patterns of intestinal microbiota. The role of dysbacteriosis in obesity, insulin resistance, diabetes and metabolic syndrome, *Orv Hetil.*, **157**, **5**, 13 (2016).
6. Zhang L., Chu J., Hao W., et al. Microbiota and Type 2 Diabetes Mellitus: Association, Mechanism, and Translational Applications, *Mediators Inflamm.*, **7**, 16 (2021).
7. Dinan T.G., Cryan J. F. Gut–brain axis in 2016: Brain–gut–microbiota axis – mood, metabolism and behaviour, *Nature Reviews Gastroenterology & Hepatology*, **14**, 69 (2017).
8. Garganeeva N. P., Kornetov N. A., Belokrylova M. F. Psychosocial factors, anxiety and depressive disorders in patients with ischemic heart disease: problems of comorbidity and prognosis, *Russian Cardiology Journal*, **25**, **9**, 26 (2020).
9. Petrlova B., Rosolva H., Al Z. Depressive disorders and the metabolic syndrome of the insulin resistance, *Semin.*, **4**, 161 (2004).
10. Skilton M. R., Moulin P., Terra J. L. et al. Associations between anxiety, depression, and the metabolic syndrome, *Biol. Psychiatry*, **62**, 251 (2007).
11. Bjorntorp P. Metabolic Implications of Body Fat Distribution, *Diabetes Care.*, **14**, **12**, 1132 (1991).
12. Boyle S., Surwit R. et al. Depressive Symptoms, Race, and Glucose Concentrations, *Diabetes Care*, **3**, 567 (2007).

13. Ghahremani Z., Shabani M., Ghanbarabadi M. et al. The protective effect of probiotic supplementation on depression, anxiety and stress in diabetes mellitus patients. A randomized double-blind clinical trial, *Journal of Functional Foods.*, **85**, 104635 (2021).
14. Sanchez M., Darimont C., Drapeau V. Probiotics and prebiotics in the management of depressive symptoms: A systematic review, *Nutrients.*, **9**, **11**, 1220. (2017).
15. Khusainov D. R., Lukyantseva A. N., Tribat N. S. [et al.] Six-day dynamics of anxiety index of highly anxious male rats under MAO-B blockade, *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*, **15**, **6**, 29 (2023).
16. Chuyan E. H. *Influence of millimeter waves of non-thermal intensity on the development of hypokinetic stress in rats with different individual characteristics*: Author's abstract of Cand. of Biological Sciences, 25. (Simferopol, 1992).
17. Danilova I. G., Gette I. F. *Method of modeling alloxan diabetes*, Patent for invention No. 2534411; avt. 27.11.2014; publ. 27.11.2014. Bulletin No. 33.
18. *Manual on experimental (preclinical) study of new pharmacological substances*, Under the general editorship of Corresponding Member of the Russian Academy of Medical Sciences, Prof. R. U. Khabriev. - 2 ed., revision and supplement, 832 p. (Moscow: JSC "Publishing House "Medicine", 2005).
19. Szkudelski T. The mechanism of alloxan and streptozotocin action in B cells of the rat pancreas, *Physiological Research.*, **50**, 537 (2001).
20. Izuno S., Yoshihara K., Sudo N. Role of Gut Microbiota in the Pathophysiology of Stress-Related Disorders: Evidence from Neuroimaging Studies, *Ann Nutr Metab.*, **77**, 4 (2021).
21. Osadchiy V., Martin C. R., Mayer E. A. The Gut-Brain Axis and the Microbiome: Mechanisms and Clinical Implications, *Clin Gastroenterol Hepatol.*, **17**, **2**, 322 (2019).
22. Sanchez M., Darimont C., Drapeau V. Probiotics and prebiotics in the management of depressive symptoms: A systematic review, *Nutrients.*, **9**, **11**, 1220. (2017).

УДК 612:339

DOI 10.29039/2413-1725-2025-11-2-313-324

ВЕРБАЛЬНЫЕ И КОЖНО-ГАЛЬВАНИЧЕСКИЕ РЕАКЦИИ НА ПРЕДЪЯВЛЕНИЯ КРЫМСКИХ ЭФИРНЫХ МАСЕЛ

Ярош О. Б.

Институт экономики и управления ФГАОУ ВО «Крымский Федеральный университет
им. В. И. Вернадского», Симферополь, Республика Крым, Россия
E-mail: iarosh.olga.cfu@gmail.com

В работе проводится анализ потребительских реакций на крымские эфирные масла на основе показателей вербальной оценки и кожно-гальванической реакции испытуемых. Исследование охватило 7 видов масел, полученными из таких растений как: лаванда узколистная (*Lavandula angustifolia* Mill.), иссоп лекарственный (*Hyssopus officinalis* L.), шалфей лекарственный (*Salvia officinalis* L.), полынь таврическая (*Artemisia taurica* Willd.), шалфей мускатный (*Salvia sclarea* L.), роза (*Rosa* L.), кориандр посевной (*Coriandrum sativum* L.). Результаты показали, что наиболее положительно воспринимались респондентами ароматы розы и лаванды, в то время как шалфей мускатный получил наименьшие оценки. Данные кожно-гальванической реакции показали значительные расхождения в потребительских реакциях на эфирные масла, особенно у иссопа лекарственного. Также подтверждаются гендерные различия в восприятии ароматов. Полученные данные могут быть полезны для прогнозирования успешности продаж эфирных масел на рынке.

Ключевые слова: эфирные масла Крыма, кожно-гальваническая реакция, химический состав, нейромаркетинг, аромамаркетинг.

ВВЕДЕНИЕ

Эфирные масла представляют собой сложные химические соединения, характеризующиеся сильным запахом. Они образуются ароматическими растениями как вторичные метаболиты. Как правило, эфирные масла получают методами паровой или гидродистилляции, разработанными еще в средние века. Ароматические растения обычно произрастают в районах с умеренным и тёплым климатом. Одним из таких регионов является Республика Крым. Существуют комплексные многолетние исследования по поводу перспектив развития эфиромасличного хозяйства региона [1], где отмечаются перспективные площади возделывания эфиромасличных культур. Так, на полуострове выращивается в промышленных масштабах традиционные эфироносы: кориандр посевной (*Coriandrum sativum* L.), лаванда узколистная (*Lavandula angustifolia* Mill.), роза эфиромасличная (*Rosa* L.), шалфей мускатный (*Salvia sclarea* L.), шалфей лекарственный (*Salvia officinalis* L.), полынь таврическая (*Artemisia taurica* Willd.).

Основным источником эфирных масел является надземная часть данных растений. В работе Р. Тимиргалиевой [2] указывается на то, что как правило

содержание и выход эфирных масел весьма незначителен и зависит от количества выращенной культуры, поэтому нет достоверных статистических сведений об объеме собственного именно крымского производства эфирных масел и количества произведенных из них продуктов переработки. Обширные исследования перспектив применения эфирных масел в практике лечения обобщены в монографии М. Гришина [3], где рассматривается история и практика применения ароматов в курортно-рекреационной отрасли Крыма, методы выращивания эфирносов. В работе приводится тот факт, что к 1989 г эфиромасличная отрасль полуострова давала вклад в ВРП Крыма в размере около 10 %. Заметим, что в настоящее время подобные цифры вклада в региональный продукт дает только оптовая и розничная торговля. За последние 35 лет отрасль претерпела серьезные изменения, связанные с сокращением площадей под эфиромасличные культуры, а также переориентацией рынка на внутренний спрос. Несмотря на обширный накопленный потенциал исследований перспектив развития эфиромасличного хозяйства с точки зрения его сельскохозяйственного производства, анализа биологических компонентов эфирных масел и глубоких исследований направленных на изучение терапевтического потенциала крымских эфирных масел, по прежнему остаются экономические вопросы, связанные с потребительским восприятием данной продукции, что является основополагающим для продвижения на рынок косметических продуктов на основе эфирных масел.

Целью данной работы является рассмотрение потребительских предпочтений к крымским эфирным маслам на основе субъективной вербальной оценки и объективных данных кожно-гальванической реакции.

Оценка предпочтений потребителей является базовым элементом в маркетинге косметических продуктов. Использование электрофизиологических методов при сенсорной оценке эфирных масел позволяет получить данные о реакциях человека, которые впоследствии можно использовать при прогнозировании успешности продаж тех или иных видов эфирных масел и производных из них на рынке.

С точки зрения биологии и научных подходов к изучению данных процессов проблемы гендерных различий при восприятии запахов изучаются уже почти 100 лет и накоплен обширный научный материал, указывающий на то, что женщины более восприимчивы в тестах на обнаружение, идентификацию и запоминание запахов [5]. Зачастую это объясняется изменениями в обонянии у женщин, связанными с гормонами. Первые работы, посвященные данным различиям, были опубликованы в 1899 г. [6] и указывали на гендерные различия в восприятии запаха камфары. В 1950-х годах Л. Маньен [7] провел на себе эксперимент по введению тестостерона и экстрадиола и сообщил, что последний гормон повысил его сенсорную чувствительность.

Анализ механизмов, восприятия запахов показал, что за различия, наблюдаемые в показателях обонятельного восприятия у представителей разных полов, были ответственны андрогены и эстрогены, кроме этого сильная зависимость была связана со стадиями репродуктивного цикла у женщин. Отдельные ученые [5] приходят к выводу о том, что это связано со сложными связями между функциональными свойствами обонятельной системы человека и

нейроэндокринными факторами. Кроме этого, из литературы известно, что даже воображение запаха при отсутствии ольфакторной стимуляции, также приводит к активации мозга [8]. При этом, очевидные различия по гендерному принципу в разрезе отдельных видов эфирных масел не всегда проявляются. Это связано с тем, что у женщин [9] большая чувствительность к широкому спектру соединений включая ацетон, 1-бутанол, 2-метил, 3-меркаптобутанол, цитраль, этанол, 1-гексанол, сероводород, 1-октанол, пентилацетат, фенил этанол, пиридин и м-ксилол [11]. Половые различия для некоторых из указанных соединений, а также для ряда стероидов были отмечены в исследованиях у детей до наступления полового созревания, что подразумевает дефицит зависимости от сопутствующих половых гормонов. При этом отсутствие гендерных различий было зарегистрировано в отдельных исследованиях [12] для запахов цианистого водорода, сафрала, пиридина и фенил этанола. В литературе отмечается тот факт, что существуют различия в задачах оценки психологических характеристик запахов: интенсивные, приятные, раздражающие, знакомые. Запоминаемость запахов является типичной задачей для памяти и требует кодирования стимула, его сохранения и воспоминания. На эти факторы влияют такие факторы как пол, возраст и функции обонятельной системы. По данным исследований, опубликованных в работе [13], когда человек чувствует запах, например, лаванды, то что он запоминает это не запах как таковой, который ранее был закодирован в долговременной памяти и воспоминание о том, что он чувствовал этот запах. Поэтому незнакомые запахи семантически сложнее декодировать. Кроме этого, отмечается половая дифференциация в восприятии запахов, это объясняется большей зависимостью женщин от подсказок. Подобное исследование было проведено М. Ларсоном и коллегами [14] после контроля вербальной узнаваемости воспоминаний о запахах.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Основные инструменты, позволяющие оценить потребительские реакции, можно разделить на три основные категории: поведенческие, биометрические и нейрофизиологические. Первая категория инструментов позволяет анализировать вербальные оценки действия испытуемого и включает такие методы как наблюдение и опрос. Вторая группа инструментов дает возможность изучать биологические реакции на различные маркетинговые стимулы за счет экспериментов по отслеживанию движения глаз (айтрекинга), анализа электрокардиограммы, лицевого кодирования и измерения кожно-гальванической реакции (КГР). Третья группа – нейрофизиологические инструменты, которые измеряют активность мозга на маркетинговые стимулы, к ним относятся электроэнцефалография и функциональная магнито-резонансная томография.

Данное исследование было проведено на базе Лаборатории нейромаркетинга и поведенческой экономики Крымского федерального университета им. В. И. Вернадского. Материалами данного исследования являются 8 видов эфирных масел, из которых семь представлены крымскими ароматами, полученными из таких растений как: лаванда узколистая (*Lavandula angustifolia*

Mill.), иссоп лекарственный (*Hyssopus officinalis* L.), шалфей лекарственный (*Salvia officinalis* L.), полынь таврическая (*Artemisia taurica* Willd.), шалфей мускатный (*Salvia sclarea* L.), роза (*Rosa* L.), кориандр посевной (*Coriandrum sativum* L.) [10]. Один вид исследуемого масла был выбран как нейтральный – это масло жожоба (*Simmondsia chinensis*) в связи с практическим отсутствием выраженного запаха. Реакции на него измерялись в качестве фоновых при изучении кожно-гальванической реакции.

Экспериментальный дизайн был основан на ольфакторном тестировании эфирных масел, предъявляемых в случайном порядке, без указания на аромат. В эксперименте принимали участие 36 человек (18 женщин и 18 мужчин) возрастом 18–25 лет. Обонятельные характеристики эфирных масел исследовались на основе вербальных отзывов по 5-ти бальной шкале Лайкерта и показателей КГР. Запись данных КГР проводилась по 15 секунд при предъявлении каждого вида эфирного масла. Ознакомление с ароматами испытуемых осуществлялось на основе их предъявления на блоттере на расстоянии 20 см от носа.

Для адаптации первым предъявляемым ароматов всегда было масло жожоба, остальные ароматы предъявлялись в случайном порядке с интервалом 15 секунд.

В ходе эксперимента изучалась КГР по методике, указанной в работах [4, 16]. Были рассчитаны следующие показатели:

- максимальная амплитуда фазической КГР, которая указывает на силу эмоционального возбуждения;
- оценка латентного периода (с) от момента предъявления эфирного масла до возникновения реакции КГР;
- оценка времени нарастания КГР (с), которая определяется как интервал между началом КГР и ее пиком;
- площадь значимых реакций фазической КГР по каждому из экспериментальных образцов эфирного масла, данная метрика является важнейшей с точки зрения понимания значимости стимула для испытуемого.

Перед статистическим анализом данные были предварительно обработаны для понижения частоты дискретизации и устранения артефактов, связанных с движениями. Измерения КГР касались изучения только фазической ее составляющей. Извлеченные метрики и полученные данные затем анализировались в среде SPSS 23.

В зависимости от содержания атомов углерода, водорода, молекул кислорода, а также стереометрического строения углеводородов, которые являются составляющими эфирных масел, их принято классифицировать на следующие пять групп: ациклические монотерпены (линалоол, гераниол, цитронеллол), моноциклические монотерпены (ментол, цинеол), бициклические монотерпены (камфара, пинен), сесквитерпены (азулен, сантоин), ароматические соединения (тимол).

К маслам с высоким содержанием монотерпеновых сложных эфиров относят линалилацетат, который содержится в масле шалфея мускатного и лаванды. Такие кетоны, как пинокамфон и α -туйон в значительном количестве представлены в эфирных маслах иссопа лекарственного и полыни таврической, а фенольная группа

тимолов преобладает в эфирном масле шалфея лекарственного. Распределение крымских эфирных масел по соответствующим группам визуализировано на рисунке 1, где оно нами показано с учетом функциональной группы и типа терпеновой основы. На основе анализа литературы [1–3, 15] мы можем предложить собственную схему классификации химического состава крымских эфирных масел в зависимости от их химической группы, логика ее построения была основана на работе, выполненной Д. Хиллом [19].

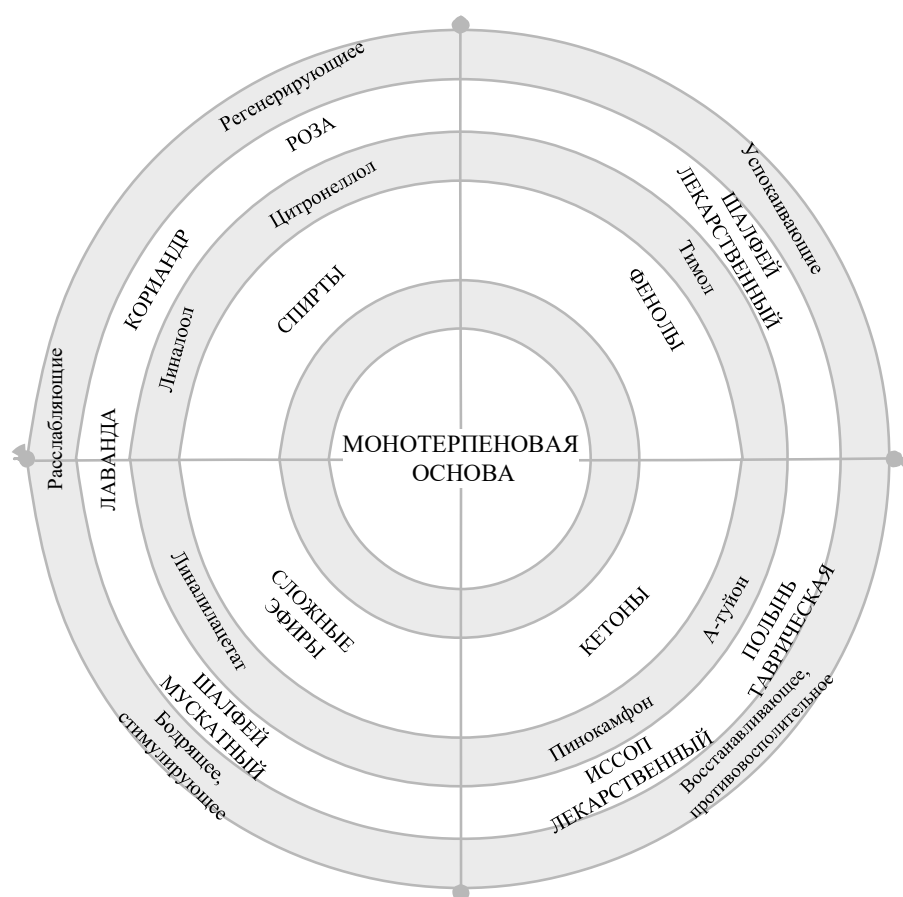


Рис. 1. Схема химического состава крымских эфирных масел.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

На первом этапе приводятся данные обработки вербальных оценок, выставленных по шкале Лайкерта. В таблице 1 приведены средние величины оценки ароматов мужчинами, женщинами и испытуемыми всей группы. В целом, по

всем видам эфирных масел, как это отмечено и другими авторами [5] более положительно их оценивают женщины.

Таблица 1

Вербальная оценка крымских эфирных масел

Название масла эфирного	Мужчины	Женщины	В среднем по группе
Лаванда узколистная (<i>Lavandula angustifolia</i> Mill.)	2,3	4,3*	3,3
Иссоп лекарственный (<i>Hyssopus officinalis</i> L.)	2,8	2,8	2,8
Шалфей лекарственный (<i>Salvia officinalis</i> L.)	2,8	3,0	2,9
Полынь таврическая (<i>Artemisia taurica</i> Willd)	2,5	2,5	2,5
Шалфей мускатный (<i>Salvia sclarea</i> L)	2,0	2,8	2,4
Роза (<i>Rosa</i> L)	3,3	4,8*	4,0
Кориандр посевной (<i>Coriandrum sativum</i> L)	3,0	3,8	3,4
Среднее	2,7	3,4*	3,0

Примечание: * различия достоверны на уровне $p < 0,05$.

В среднем женщины более высоко оценивали практически все из предложенных образцов эфирных масел. Самые сильные различия в вербальных оценках были по эфирному маслу лаванды узколистной.

Согласно нашим первичным данным наиболее положительно в обеих группах воспринимался аромат розы, в то время как запах шалфея мускатного получил наименьшую среднюю оценку. Различия в вербальных оценках для всей группы эфирных масел между мужчинами и женщинами по U-критерию Манна–Уитни достоверны при $p < 0,05$.

Поиск ответа о причинах данных результатов вероятно находится в плоскости понимания особенностей химического состава данных ароматов и скорости их восприятия. Известно, что скорость испарения эфирных масел зависит от их молекулярной структуры, массы и полярности, чем они меньше, тем быстрее оно происходит. С этой точки зрения быстрее всего испаряются в порядке убывания: сложные эфиры, спирты, кетоны, фенолы из рассматриваемых групп. Так, сложные эфиры имеют самую низкую молекулярную массу, например, линалилацетат, который является сложный эфиром и присутствует в большом количестве в эфирном масле лаванды. Он испаряется быстро, создавая лёгкие верхние ноты аромата. Спирты, к которым относится линалоол и цитранеол, имеют гидроксильную группу (-ОН), она может образовывать водородные связи, что немного замедляет их испарение. Кетоны, к которым относятся пинокамфон, а-туйон имеют более высокую молекулярную массу и полярную карбонильную

группу (C=O), чем фенолы, имеющие гидроксильную группу (-OH), связанную с ароматическим кольцом, что делает их более полярными и способными к образованию водородных связей, данный процесс соответственно значительно замедляет их испарение [15].

Аромат розы (*Rosa* L), в большей степени связан с группой спиртов, которые быстрее воспринимаются, чем фенолы, к которым относится большая часть состава шалфея лекарственного. Поэтому сложные эфиры и спирты создают первые, лёгкие ноты аромата, которые ощущаются сразу после нанесения эфирного масла, а средние и базовые ноты формируют кетоны и фенолы, которые «отвечают» за более устойчивые и глубокие ароматы. Проверка гипотезы о разнице в восприятии эфирных масел в зависимости от их химической группы была проведена на основе факторного анализа, где методом главных компонент изучалась валентность вербальной реакции на крымские эфирные масла (табл. 2).

Факторный анализ показал, что два фактора, включающие эфирные масла кориандра (*Coriandrum sativum* L) и розы (*Rosa* L) имеют значения, превосходящие 1,0. Первый фактор (эфирное масло кориандра) объясняет 42,64 % суммарной дисперсии, а второй фактор (эфирное масло розы) – 83,39 %. Исходя из этого можно объяснить отобранные факторы по степени факторной нагрузки: так по таблице 2 можно увидеть, что переменная «кориандр» сильнее всего коррелирует с фактором 1, а именно, величина корреляции составляет 0,89, а переменная «полынь» с фактором 2 (0,98) и т.д.

Таблица 2

Результаты факторного анализа валентности восприятия эфирных масел

Название эфирного масла	Фактор	
	Группа 1	Группа 2
Кориандр посевной (<i>Coriandrum sativum</i> L.)	0,89	-0,08
Роза (<i>Rosa</i> L.)	0,87	0,07
Полынь таврическая (<i>Artemisia taurica</i> Willd.)	-0,02	0,98
Шалфей лекарственный (<i>Salvia officinalis</i> L.)	0,12	0,92
Лаванда узколистная (<i>Lavandula angustifolia</i> Mill.)	0,87	-0,08
Иссоп лекарственный (<i>Hyssopus officinalis</i> L.)	-0,01	0,96
Шалфей мускатный (<i>Salvia sclarea</i> L.)	0,87	0,47

Примечание: Метод выделения факторов: метод главных компонент.

Метод вращения: варимакс с нормализацией Кайзера. Вращение сошлось за три итерации.

Результаты факторного анализа показали, что на основе анализа валентности восприятия эфирные масла можно разделить по восприятию на две группы.

Первая группа потребительских положительных оценок включает такие ароматы эфирных масел, как: кориандр, роза, лаванда узколистная, шалфей

мускатный, которые относятся к спиртам и сложным эфирам. Общность данных химических групп связана с тем, что они играют ключевую роль в формировании аромата. Так, эфирное масло розы, относящееся к классу соединений – спирты имеет свежий, цветочный или травянистый запах, в то время как сложные эфиры, преобладающие в эфирном масле шалфея мускатного, дают более сладкие и фруктовые ароматы. Сложные эфиры образуются в результате реакции между спиртами и карбоновыми кислотами. Таким образом, спирты являются предшественниками сложных эфиров. Терапевтические свойства обеих групп направлены на противовоспалительное и успокаивающее действие [3]. Общее для данных групп является также то, что и спирты, и сложные эфиры относительно безопасные компоненты эфирных масел, что открывает широкие перспективы их применения в косметике и ароматерапии.

Вторая группа включает такие эфирные масла как полынь таврическая и иссоп лекарственный, состав которых сильнее выражен в химической группе кетонов и фенолов. Данные классы соединений имеют выраженное антимикробное, противовоспалительное и антиоксидантное действие, они могут стимулировать нервную систему и улучшать кровообращение [3]. При этом, данная группа имеет потенциальную токсичность, особенно в высоких концентрациях. Так, туйон, входящий в группу кетонов в больших дозах может вызывать судороги, а фенолы в свою очередь оказывать раздражающее воздействие на кожу и слизистые оболочки. При этом оба класса соединений, находящиеся в составе эфирных масел, в ароматерапии активно используются, поскольку кетоны имеют свежий травянистый или мятный запах, а фенолы обладают, как правило, пряными насыщенными нотами [15].

Вероятно, именно с особенностями указанных классов соединений связаны потребительские вербальные оценки крымских эфирных масел. Для проверки данной гипотезы нами был проведен на втором этапе исследования физиологический эксперимент по анализу запахов кожно-гальванической реакции.

Результаты средних значений показателей КГР приведены в таблице 3.

Полученные результаты показывают, что максимальная амплитуда КГР среди представленных образцов эфирных масел фиксируется у иссопа лекарственного, а наименьшее значение у шалфея мускатного. Самые значимые реакции по площади КГР наблюдались на иссоп лекарственный, вероятно это связано со сложностью восприятия запаха, поскольку эмоциональная реакция на него сильно выражена, в то время как запах лаванды узколистной, как наиболее узнаваемый, был воспринят более положительно. Заметим, что аромат лаванды часто используется в нейромаркетинговых исследованиях [17, 18] для инициации приятных эмоций.

Статистически значимые различия по критерию U Манна-Уитни в реакциях КГР между мужчинами и женщинами отмечены по таким показателям как: максимальная амплитуда по стимулам ($p < 0,01$) и площадь значимых реакций КГР по каждому стимулу ($p < 0,02$), оценка латентного периода ($p < 0,05$). Статистически значимых различий между представителями разных полов не выявлено по такому показателю как оценка времени нарастания ($p < 0,13$). Данная оценка проводилась с учетом поправки Бонферрони.

Таблица 3

Результаты оценки кожно-гальванической реакции (КГР) на крымские эфирные масла

Название эфирного масла	Максимальная амплитуда КГР (у.е.)	Оценка латентного периода (с)	Оценка времени нарастания (с)	Площадь значимых КГР (у.е.)
Лаванда узколистная (<i>Lavandula angustifolia</i> Mill.)	60,3	3	1,8	2379,1
Иссоп лекарственный (<i>Hyssopus officinalis</i> L.)	139,5	1,7	2,8	5231
Шалфей лекарственный (<i>Salvia officinalis</i> L.)	120,3	1,8	2	3886,8
Полынь таврическая (<i>Artemisia taurica</i> Willd)	93	1,8	2,2	3960,5
Шалфей мускатный (<i>Salvia sclarea</i> L.)	55,3	1,7	1,8	2232,1
Роза (<i>Rosa</i> L.)	68,3	2	1,8	3167,5
Кориандр посевной (<i>Coriandrum sativum</i> L.)	85	1,1	3,2	3327,3

Заметим, что ограничением данного исследования являлось то, что ольфакторная стимуляция велась непродолжительный период времени – всего 15 с на каждый образец. В случае более длительной стимуляции, можно было бы изучить тонический компонент КГР [20] и выявить более четкую валентную коннотацию запахов.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Данные КГР не всегда совпадают с данным вербальных протоколов, поскольку респонденты не всегда демонстрируют схожие с их ответами физиологические реакции. Это связано с тем, что вербальная оценка направлена на выявление положительного или отрицательного сенсорного восприятия запаха эфирных масел, а с помощью КГР измеряется сила эмоционального возбуждения.

Обобщая полученные результаты исследования можно увидеть, что самые сильные отрицательные эмоции и высокую реакцию КГР можно было наблюдать на эфирное масло иссопа лекарственного, также отрицательные оценки и низкая реакция КГР фиксировалась на масло шалфея мускатного; положительные вербальные оценки и высокая реакция КГР была на масло розы, кроме этого положительные вербальные оценки масла лаванды узколистной сочетались с низкой реакцией на КГР. В связи с чем, значительные перспективы при использовании в

косметических целях и аромамаркетинге имеют эфирные масла розы и лаванды узколистной.

Проведённое исследование показывает, что существуют гендерные различия в восприятии эфирных масел и вызванных ими эмоций. С учетом того факта, что запахи могут модулировать эмоции и настроения, их применение в аромамаркетинге открывает широкие перспективы при продажах именно крымской продукции. Измерение валентности восприятия эфирных масел может играть значительную роль в дальнейших исследованиях, связанных с воздействием на настроение, изучением ассоциаций и личных предпочтений респондентов. Вероятно, понимание связей между запахами, настроениями и эмоциями лежит в плоскости химического состава эфирных масел и их воздействия на организм человека.

Список литературы

1. Научный и инновационный потенциал развития производства и переработки эфиромасличных и лекарственных растений Евразийского экономического союза / Под ред. В. С. Паштецкого. – Симферополь: ИТ «АРИАЛ», 2021. – 428 с.
2. Комплексный механизм управления развитием эфиромасличного производства в Республике Крым / Тимиргалеева Р. Р., Паштецкий В. С., Вердыш М. В. [и др.]. – Симферополь: ИТ «АРИАЛ», 2023. – 216 с.
3. Гришин М. Н. Целебные ароматы Крыма / Гришин М. Н., Кащенко Г. Ф. – Симферополь: КФУ, 2022. – 271 с.
4. Ярош О. Б. Методика обработки показателей кожно-гальванической реакции в нейромаркетинговых исследованиях / О. Б. Ярош // Ученые записки Крымского федерального университета имени В. И. Вернадского. Биология. Химия. – 2024. – Т. 10, № 1. – С. 262–275. – DOI 10.29039/2413-1725-2024-10-1-262-275. – EDN RNLMO.
5. Doty R. L. Sex differences and reproductive hormone influences on human odor perception / R. L. Doty, C. E. Leslie // *Physiology & Behavior*. – 2009. – Vol. 97, № 2. – P. 213–228. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.physbeh.2009.02.032>.
6. Toulouse E. Mesure de l'odorat chez l'homme et chez la femme / E. Toulouse, N. Vaschide // *C R Soc Biol*. – 1899. – Vol. 51. – P. 381–383.
7. Le Magnen J. Les phenomenes olfacto-sexuels chez l'homme / J. Le Magnen // *C R Acad Sci Biol*. – 1952. – Vol. 6. – P. 125–160.
8. Levy L. M. Odor memory induces brain activation as measured by functional MRI / L. M. Levy, R. I. Henkin, C. S. Lin, A. Hutter, D. Schellinger // *J Comp Assist Tomography*. – 1999. – Vol. 23. – P. 487–498.
9. Vierling J. S. Variations in olfactory sensitivity to exaltolide during the menstrual cycle / J. S. Vierling, J. Rock // *J Appl Physiol*. – 1967. – Vol. 22. – P. 311–315.
10. Черепанов С. К. Сосудистые растения России и сопредельных государств / С. К. Черепанов. – СПб.: Мир и семья, 1995. – 995 с.
11. Corwin J. Workplace, age, and sex as mediators of olfactory function: data from the National Geographic Smell Survey / J. Corwin, M. Loury, A. N. Gilbert // *J Gerontol B Psychol Sci Soc Sci*. – 1995. – Vol. 50. – P. 179–186.
12. Koelega H. S. Extraversion, sex, arousal and olfactory sensitivity / H. S. Koelega // *Acta Psychol*. – 1970. – Vol. 34. – P. 51–66.
13. White T. L. Olfactory memory: the long and the short of it / T. L. White // *Chem Senses*. – 1998. – Vol. 23. – P. 433–441.
14. Larsson M. Sex differences in recollective experience for olfactory and verbal information / M. Larsson, M. Lovden, L. G. Nilsson // *Acta Psychol*. – 2003. – Vol. 112. – P. 89–103.

15. Ткаченко К. Г. Эфирномасличные растения и эфирные масла: достижения и перспективы, современные тенденции изучения и применения / К. Г. Ткаченко // Вестник Удмуртского университета. Серия «Биология. Науки о Земле». – 2011. – № 1. – С. 88–100.
16. Boucsein W. Electrodermal activity: Second edition / W. Boucsein. – New York: Springer Science, 2012. DOI: 10.1007/978-1-4614-1126-0.
17. Vernet-Maury E. Basic emotions induced by odorants: a new approach based on autonomic pattern results / E. Vernet-Maury, O. Alaoui-Ismaïli, A. Dittmar, G. Delhomme, J. Chanel // Journal of the Autonomic Nervous System. – 1999. – Vol. 75, № 2. – P. 176–183. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0165-1838\(98\)00168-4](https://doi.org/10.1016/S0165-1838(98)00168-4).
18. Warrenburg S. Effects of fragrance on emotions: moods and physiology / S. Warrenburg // Chemical Senses. – 2005. – Vol. 30, Suppl. 1. – P. i248–i249. DOI: <https://doi.org/10.1093/chemse/bjh208>.
19. Хилл Д. Эфирные масла Doterra: руководство по химии. Режим доступа: <https://media.doterra.com/ru-otg/ru/brochures/chemistry-handbook.pdf> (Дата обращения: 13.03.2025)
20. Хэссет Дж. Введение в психофизиологию. – М.: МИР, 1981. – 247 с.

VERBAL AND GALVANIC SKIN RESPONSES TO THE PRESENTATION OF CRIMEAN ESSENTIAL OILS

Yarosh O. B.

*Institute of Economics and Management, V. I. Vernadsky Crimean Federal University, Simferopol,
Republic of Crimea, Russia
E-mail: iarosh.olga.cfu@gmail.com*

This study investigates consumer preferences for Crimean essential oils using verbal assessments and biometric data from galvanic skin response (GSR). The research focuses on eight essential oils, including narrow-leaved lavender (*Lavandula angustifolia* Mill.), hyssop (*Hyssopus officinalis* L.), common sage (*Salvia officinalis* L.), Tauric wormwood (*Artemisia taurica* Willd.), clary sage (*Salvia sclarea* L.), rose (*Rosa* L.), coriander (*Coriandrum sativum* L.), and neutral jojoba oil (*Simmondsia chinensis*). The goal is to explore how neurophysiological methods can enhance the understanding of consumer reactions to aromas, which can inform market predictions for these products.

Verbal assessments revealed that rose was the most positively perceived aroma across gender groups, while clary sage received the lowest ratings. These differences may stem from variations in the chemical composition and perception speed of the oils. Factor analysis identified two main groups of essential oils based on their chemical properties: (1) alcohols and esters (e.g., rose, lavender, coriander) and (2) ketones and phenols (e.g., hyssop, Tauric wormwood). Alcohols and esters are associated with fresh, floral, and fruity scents, while ketones and phenols have antimicrobial and anti-inflammatory properties but may pose toxicity risks at high concentrations.

Biometric experiments using GSR showed that hyssop elicited the strongest emotional reactions, while clary sage produced the weakest responses. Significant differences in GSR amplitudes were observed ($p < 0.001$), with hyssop's complex scent likely contributing to its pronounced emotional impact. In contrast, lavender, a familiar and widely recognized aroma, was associated with positive emotions, consistent with its use in neuromarketing research. Gender-based analysis revealed significant differences in

aroma perception, except for the latent period of GSR, which was similar across genders. The longest latent period was observed for lavender, likely due to its relaxing therapeutic effects.

The findings highlight the potential of combining verbal and biometric data to predict consumer preferences and market success for essential oils. This approach provides valuable insights into the emotional and physiological responses elicited by different aromas, offering a scientific basis for product development and marketing strategies in the cosmetics and aromatherapy industries.

Keywords: Crimean essential oils, GSR, chemical composition, neuromarketing, aroma marketing.

References

1. Pashtetsky V. S., Timirgaleeva R. R., Grishin M. N., Kashchenko G. F. *The scientific and innovative potential for the development of production and processing of essential oil and medicinal plants of the Eurasian Economic Union*, 428 (Simferopol: IT "ARIAL", 2021).
2. Timirgaleeva R. R., Grishin M. N., Kashchenko G. F. *Comprehensive mechanism for managing the development of essential oil production in the Republic of Crimea*, 216 (Simferopol: IT "ARIAL", 2023).
3. Grishin M. N., Kashchenko G. F. *Healing aromas of Crimea*, 271 (Simferopol: KFU, 2022).
4. Yarosh O. B. Methodology for processing galvanic skin response indicators in neuromarketing research, *Scientific Notes of the V.I. Vernadsky Crimean Federal University. Biology. Chemistry*, **10**(1), 262 (2024). DOI: 10.29039/2413-1725-2024-10-1-262-275.
5. Doty R. L., Leslie C. E. Sex differences and reproductive hormone influences on human odor perception, *Physiology & Behavior*, **97**(2), 213 (2009). DOI: <https://doi.org/10.1016/j.physbeh.2009.02.032>.
6. Toulouse E., Vachide N. Mesure de l'odorat chez l'homme et chez la femme, *C R Soc Biol*, **51**, 381 (1899).
7. Le Magnen J. Les phenomenes olfacto-sexuels chez l'homme, *C R Acad Sci Biol*, **6**, 125 (1952).
8. Levy L. M., Henkin R. I., Lin C. S., Hutter A., Schellinger D. Odor memory induces brain activation as measured by functional MRI, *J Comp Assist Tomography*, **23**, 487 (1999).
9. Vierling J. S., Rock J. Variations in olfactory sensitivity to exaltolide during the menstrual cycle, *J. Appl Physiol*, **22**, 311 (1967).
10. Cherepanov S. K. *Vascular plants of Russia and adjacent states*, 995 (St. Petersburg: Mir i Semya, 1995).
11. Corwin J., Loury M., Gilbert A. N. Workplace, age, and sex as mediators of olfactory function: data from the National Geographic Smell Survey, *J Gerontol B Psychol Sci Soc Sci*, **50**, 179 (1995).
12. Koelega H. S. Extraversion, sex, arousal and olfactory sensitivity, *Acta Psychol*, **34**, 51 (1970).
13. White T. L. Olfactory memory: the long and the short of it, *Chem Senses*, **23**, 433 (1998).
14. Larsson M., Lovden M., Nilsson L. G. Sex differences in recollective experience for olfactory and verbal information, *Acta Psychol*, **112**, 89 (2003).
15. Tkachenko K. G. Essential oil plants and essential oils: achievements, prospects, and modern trends in research and application, *Bulletin of Udmurt University. Series "Biology. Earth Sciences"*, **1**, 88 (2011).
16. Boucsein W. *Electrodermal activity: Second edition* (New York: Springer Science, 2012). DOI: 10.1007/978-1-4614-1126-0.
17. Vernet-Maury E., Alaoui-Ismaïli O., Dittmar A., Delhomme G., Chanel J. Basic emotions induced by odorants: a new approach based on autonomic pattern results, *Journal of the Autonomic Nervous System*, **75**(2), 176 (1999). DOI: [https://doi.org/10.1016/S0165-1838\(98\)00168-4](https://doi.org/10.1016/S0165-1838(98)00168-4).
18. Warrenburg S. Effects of fragrance on emotions: moods and physiology, *Chemical Senses*, **30**(suppl_1), i248 (2005). DOI: <https://doi.org/10.1093/chemse/bjh208>.
19. Hill D. *Essential Oils Doterra: A Guide to Chemistry*. Available at: <https://media.doterra.com/ru-otg/ru/brochures/chemistry-handbook.pdf> (Accessed: 13.03.2025)
20. Hassett J. *Introduction to Psychophysiology*, 247 (Moscow: Mir Publishers, 1981).

Ученые записки Крымского федерального университета имени В. И. Вернадского
Биология. Химия. Том 11 (77). 2025. № 2. С. 325–332.

УДК 5912.133.1:664

DOI 10.29039/2413-1725-2025-11-2-325-332

ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ ПЕКТИНОВЫХ ВЕЩЕСТВ КИЗИЛА (*CORNUS MAS L.*) КАК ПЕРСПЕКТИВНОГО ПЕКТИНОСОДЕРЖАЩЕГО СЫРЬЯ РЕСПУБЛИКИ КРЫМ

Брановицкая Т. Ю., Калиновская Т. В., Калинина В. А.

*Крымский федеральный университет имени В. И. Вернадского, Симферополь,
Республика Крым, Российская Федерация
E-mail: kalinovskaya_88@mail.ru*

В статье приведены результаты исследования качественных и количественных характеристик пектиновых веществ плодов кизила, выращенного в почвенно-климатических условиях крымского полуострова. Определено количество выделенного водорастворимого пектина из кизила и составляет 1,2–1,3 % к массе сухих веществ. В количественном соотношении пектинов этерифицированных молекулярных структур больше 50 %, порядка 65,0–67,0 %, что дает возможность отнести исследуемое сырье к источнику высокоэтерифицированных гидратопектинов. В результате исследований установлено, что с учетом высокого содержания метоксильных групп (6,5–6,8 %) и низкого ацетильных групп (0,3 %) гидратопектин, выделенный из плодов кизила, обладает хорошей способностью к студнеобразованию. Полученные исследования дают возможность определить функционально-технологические свойства гидратопектинов и указывают на перспективность использования плодов кизила как ценного местного пектиносодержащего сырья.

Ключевые слова: кизил, гидратопектин, аналитические характеристики, кондуктометрическое титрование.

ВВЕДЕНИЕ

Кизил мужской (*Cornus mas L.*) издавна известен как плодовое растение с ценными лекарственными свойствами. Еще в тибетской медицине и народной медицине Китая плоды, кору и листья кизила использовали в различных лекарственных рецептах [1].

В литературных источниках указывается, что во время археологических раскопок в Крыму на территории древних поселений Херсонеса были найдены семена плодов кизила, находка датирована X – VIII веками до нашей эры.

Кизил является древним плодовым, ценным пищевым, лекарственным, почвозащитным и декоративным растением, нетребовательным к условиям произрастания. *Cornus mas L.* является одним из самых распространенных в

Республике Крым дикорастущих растений, а также выращивается в садах, введен в культуру и его плоды относятся к любимым местными жителями. Кизил считается ценной культурой для современного безопасного садоводства, поскольку его отличительной особенностью является высокая устойчивость к вредителям и болезням.

В Российской Федерации культура кизила изучена слабо, в основном исследования касаются выращивания данной культуры и его лечебных свойств. Известно, что все части растения кизила содержат комплекс биологически активных компонентов – витаминов, макро- и микроэлементов, полифенольных соединений, пектиновых веществ. Ограниченность данных о химическом составе плодов кизила доказывает необходимость изучения их пищевой ценности и является актуальной.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Пектиновые вещества являются одними из важных функционально-технологических ингредиентов для пищевой промышленности [2].

Цель исследования – определение качественного и количественного состава пектиновых веществ плодов кизила, выращенного в почвенно-климатических условиях крымского полуострова для подтверждения их промышленной ценности для производства пектинопродуктов.

Объектом исследований был кизил (*Cornus mas* L.) двух сортов Крымский и Азовский. Сбор кизила производился в период зрелости в Симферопольском районе Республики Крым.

Количественный и качественный анализ пектинов сырья кизила осуществляли стандартизированным методом кондуктометрического титрования. Данный метод основан на титровании щелочью предварительно выделенного гидратопектина из средней пробы измельченных гидролизированных плодов. В результате кондуктометрического титрования определяли содержание карбоксильных групп – свободных и этерифицированных [3].

Методика определения следующая: в колбы объемом 250 см³ помещали навески подготовленных проб измельченных плодов кизила по 50 г, добавляли 100 см³ воды дистиллированной температурой 60 °С. Колбы встряхивали 30 минут, экстракт отделяли на центрифуге.

Для определения суммы пектиновых веществ (протопектина и гидратопектина) проводили кислотный гидролиз. Для выделения гидратопектина из протопектина навеску заливали раствором соляной кислоты концентрацией 0,05 моль/дм³ объемом 100 см³, нагревали при температуре 90 °С в течении 30 минут. Полученный гидролизат переносили в мерную пробирку на 200 см³, выдержали 90 минут, центрифугировали. Затем к экстракту добавили двойное количество спиртово-кислотной смеси, перемешали и выдерживали 90 минут.

Полученный осадок отфильтровали, промыли этанолом с соляной кислотой, затем только спиртом. Осадок высушили в сушильном шкафу до постоянной массы. Количество гидратопектина и протопектина вычисляли по разности общего содержания пектина.

Осадок растворяли в воде с температурой 60 °С, охлаждали, добавляли индикатор Хинтона, титровали раствором щелочи NaOH концентрацией 0,05 моль/дм³. Эквивалентную точку определяли при изменении цвета с желтого в малиновый. По количеству реагента, потраченного на титрование, определяли количество свободных карбокси-групп, их содержание (Кс, %) рассчитывали по формуле 1:

$$Kc = \frac{a}{G_1} \cdot 0,45 \quad (1),$$

где а – количество реагента (щелочи), пошедшей на титрование, см³;

G₁ – навеска пектиновых веществ, г.

К полученному раствору добавляли 20 см³ раствора щелочи (NaOH) концентрацией 0,01 моль/дм³, выдерживали 30 мин, добавляли соляную кислоту (HCl) концентрацией 0,01 моль/дм³, титровали раствором щелочи (NaOH) 0,05 моль/дм³. Результат второго титрования пропорционален количеству этерифицированных карбоксильных групп.

После определения свободных карбоксильных групп к раствору добавляли 10 см³ щелочи (NaOH) концентрацией 0,05 моль/дм³. Колбу, закрытую пробкой, выдерживали 2 часа в обычных условиях для проведения процесса гидролиза. Определение количества метаксилированных карбоксильных групп заключалось добавлением к полученному раствору 10 см³ соляной кислоты (HCl) концентрацией 0,05 моль/дм³ и титрованием щелочью (NaOH) концентрацией 0,01 моль/дм³. Рассчитали количество метаксилированных карбоксильных групп.

Для определения количества ацетильных групп навеску гидратопектина весом 1,0 г помещали в колбу объемом 50 см³, добавляли 25 см³ раствора NaOH, выдерживали 8 часов. По прошествии отведенного времени доводили до метки дистиллированной водой. Согласно методики [4], в полученный раствор добавляли 20 см³ раствора соли MgSO₄. Дистилляционную колбу нагревали до получения дистиллята. Для установления количества ацетильных групп в гидратопектине 1 см³ дистиллята титровали 0,1 н раствором щелочи (NaOH) в присутствии индикатора фенолфталеина.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Природный полисахарид пектин – биополимер, один из основных составляющих клеточных стенок растений. Специфика накопления пектиновых веществ, их содержание и химический состав неодинаковы у разных видов растений [5]. Учеными установлено, что содержание пектиновых веществ является характерным признаком ботанического вида и зависит от географических и метеоусловий произрастания, стадии и степени зрелости, сорта, места сосредоточения морфологической единицы растения [6].

Пектины накапливаются у плодов в течение всего периода роста и созревания. Этот процесс замедляется в результате одновременного накопления сахаров и других веществ. В дальнейшем, при хранении плодов, происходит частичный распад пектина. Биосинтез пектиновых полимеров в растительной клетке основан

на превращении D-галактурановой кислоты, конформационно ориентированной в виде структуры С-1. Последовательность, количество ее остатков, степень замещения и вариации (карбоксил- или сложноэфирная группа, или солевой остаток) предопределяют вид пектина и его свойства [7].

Остатки галактурановой кислоты содержат свободные карбоксильные группы либо карбоксильные группы этерифицированные метанолом, соответственно определяют степень этерификации пектина или степень метоксилирования [8].

Свойства данных полисахаридов определяются количеством и видом функциональных групп, обуславливают качественные и количественные характеристики гидратопектинов, выделенных из плодов кизила крымских сортов и подтверждения ценности плодов кизила как пектиносодержащего сырья.

Для определения содержания функциональных групп проводили соответствующие исследования, полученные данные представлены в таблице 1.

Таблица 1

Качественные и количественные характеристики пектиновых веществ плодов кизила

Показатели	Сорт кизила	
	Крымский	Азовский
Количество водорастворимого пектина, % к массе сухих веществ	1,3	1,2
Степень этерификации пектина, %	67,0	65,0
Свободные карбоксильные группы, %	2,0	2,0
Содержание ацетильных групп, %	0,30	0,30
Содержание метоксильных групп, %	6,5	6,8

Поскольку, физико-химические и функционально-технологические характеристики гидратопектинов, механизм гелеобразования и комплексообразующие свойства зависят от количества этерифицированных групп, нами были проведены соответствующие исследования. Степень этерификации определяется как отношение числа этерифицированных карбокси-групп к общему содержанию карбоксильных групп в пектине, соответственно определили их количество [5].

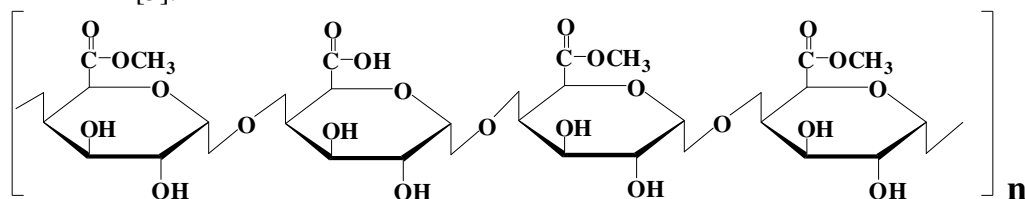


Рис. 1. Структура высокоэтерифицированного пектина.

Согласно результатам исследований, приведенных в таблице, для плодов кизила крымских сортов степень этерификации составляет для сорта Азовский – 65 %, для сорта Крымский 67 %. На основании этих данных можно сделать вывод, что степень этерификации пектина кизила высокая, значит, пектин относится к высокоэтерифицированным пектинам. Пектины с высокой степенью этерификации содержат больше 50 % этерифицированных остатков галактуроновой кислоты.

Пектиновые полисахариды с высокой степенью этерификации образуют гели за счет гидрофобных взаимодействий в присутствии сахарозы, то есть процесс желирования происходит в условиях большого количества сахара при низком pH среды. Добавление сахара приводит к дегидратации находящихся в растворе молекул пектина и позволяет приблизиться цепям пектина друг к другу, таким образом, чтобы стало возможным перекрестное соединение молекул через водородные мостики. Снижение pH позволяет избежать диссоциации свободных карбоксильных групп, что приводит к снижению отталкивания отрицательно заряженных пектиновых цепей.

Механизм гелеобразования кислотно-сахарных гелей заключается в образовании водородных связей при участии недиссоциированных свободных карбоксильных групп. Исследованиями установлено, что количество свободных карбоксильных групп в гидратопектине кизила крымских сортов составляет 2,0 %.

Большое количество органических кислот, входящих в состав кизила, вытесняют катионы из пектиновой молекулы, создают свободные карбоксильные группы, уменьшается диссоциация, нейтрализуя электростатические отталкивающие силы между молекулами пектовой кислоты [11].

Комплексообразующие свойства пектинов определяются, главным образом, наличием свободных карбоксильных групп галактуроновой кислоты. Благодаря тому свойству пектины используют в лечебно-профилактическом питании, они не усваиваются организмом, способствуют образованию комплексов с тяжелыми и радиоактивными веществами, и выведению их из организма [12].

Из полученных данных видно, что гидратопектин кизила содержит небольшое количество ацетильных групп (0,3 %), то есть такой пектин обладает хорошими студнеобразующими свойствами.

Также, существенное значение оказывает количество метоксильных групп, от которых зависит растворимость и студнеобразующая способность. Чем больше в пектине метоксильных групп, тем больше степень растворимости и лучше студнеобразующая способность. Содержание метоксильных групп (6,5–6,8 %) в гидратопектине плодов кизила указывает на целесообразность применения этого сырья для получения пектиносодержащих продуктов [10].

В результате исследований установлено, что степень этерификации гидратопектина плодов кизила составляет 65,0–67,0 %, что позволяет отнести его к группе высокоэтерифицированных пектинов. Такие пектины широко используются в пищевой промышленности, таким образом плоды кизила могут использоваться в качестве сырья для производства пектинопродуктов. Учитывая высокое содержание метоксильных групп и низкое количество ацетильных групп,

пектин, выделенный из плодов кизила, обладает хорошей способностью к студнеобразованию.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Исследовано количественное содержание пектиновых веществ кизила, выращенного в Крыму. Установлено, что содержание водорастворимого пектина колеблется в пределах 1,2–1,3 % к массе сухих веществ. Определено количество этерифицированных групп гидратопектина плодов кизила крымских сортов и составляет 65,0–67,0 %, что позволяет отнести его к группе к высокотерифицированных пектинов, широко используемых в пищевой промышленности. Определение количественных характеристик пектиновых веществ кизила дает возможность определить функционально-технологические свойства и указывает на перспективность использования данного сырья как ценного местного пектиносодержащего сырья.

Список литературы

1. Хасанова Д. А. Кизил как лекарственное растение / Д. А. Хасанова // Биология и интегративная медицина. – 2016. – №4, С. 45–54.
2. Донченко Л. В. Пектин: основные свойства, производство и применение / Л. В. Донченко, Г. Г. Фирсов – М.: ДеЛи принт, 2007. – 276 с.
3. Продукты переработки плодов и овощей. Титриметрический метод определения пектиновых веществ: ГОСТ 29059-91. – [Действующий с 1992-07-01]. – М.: Всесоюзный научно-исследовательский и конструкторско-технологический институт по переработке фруктов и винограда, 1991. – 5 с. – (Межгосударственный стандарт).
4. Пектин. Методы контроля в пектиновом производстве / В. В. Нелина, Л. В. Донченко, Н. С. Карпович и др. – Краснодар: Ассоц. «Пектин», 1992. – 112 с.
5. Донченко Л. В. Технология пектина и пектинопродуктов / Л. В. Донченко. – М.: ДеЛи принт, 2000. – 255 с.
6. Mukhsiddinov Z. K. Isolation and structural characterization of a pectin homo and rhamnogalacturonan / D. Kh. Khalikov, F. T. Abdusamiev, Ch. Ch. Avloev // The International Journal of Pure and Applied Analytical Chemistry. – 2000. – No 53. – P. 171–176.
7. Сайфина Д. Ф. Пектин: получение, структура и перспективы применения / Д. Ф. Сайфина, Е. Ю. Николаева, О. В. Цапаева, Г. Г. Исхакова // Георесурсы. – 2000. – № 2(3). – С. 36–38.
8. Жидехина Т. В. Биологические особенности интродуцированных сортообразцов кизила в условиях средней полосы России. / Т.В. Жидехина. – Нетрадиционное растениеводство. Селекция и генетика. Эниология. Экология и здоровье: материалы XIX международного симпозиума. – 2010. – С. 277–278.
9. Тры А. В. Влияние различных факторов на выход пектиновых веществ, выделенных из растительного сырья / А. В. Тры, Л. А. Михеева // Региональные геосистемы. – 2014. – № 29. – С. 123–128.
10. Типсина Н. Н. Технологические особенности пектиносодержащего сырья / Н. Н. Типсина, О. Ю. Комарова, Е. А. Струпан // Вестник Красноярского государственного аграрного университета. – 2008. – № 1. – С. 253–259.
11. Грабишин А. С. О некоторых особенностях технологий производства пектина / А. С. Грабишин // Новые технологии. – 2010. – № 2. – С. 30–34.
12. Цугленок Н. В. Эффективные технологии производства пектина и его использование в пищевой промышленности / Н. В. Цугленок, Н. Н. Типсина, О. Ю. Катасанова // Вестник Красноярского государственного аграрного университета. – 2006. – № 10. – С. 331–334.

STUDY OF ANALYTICAL CHARACTERISTICS OF PECTIN SUBSTANCES OF *CORNUS MAS* L. AS A PROMISING PECTIN-CONTAINING RAW MATERIAL OF THE REPUBLIC OF CRIMEA

Branovitskaya T. Yu., Kalinovskaya T. V., Kalinina V. A.

*V. I. Vernadsky Crimean Federal University, Simferopol, Crimea, Russian Federation
E-mail: kalinovskaya_88@mail.ru*

The results of the investigation of analytical characteristics of pectins from fruit *Cornus mas* L. of wild plants of the Republic of Crimea have been given. It was determined that the content of water-soluble pectin ranges from 0,2 to 0,3 % by weight of dry matter. It has been established that the number of esterified groups of dogwood pectin is 65,0–67,0 %, which indicates that it belongs to highly esterified pectins.

It was determined that the number of free carboxyl groups in dogwood pectin is 2,0 %. The presence of free carboxyl groups of galacturonic acid in pectin promotes the formation of complexes with heavy and radioactive substances and their removal from the body. Solubility, the ability to react with metal ions and form jellies depends on the ratio of free and esterified carboxyl groups in the pectin molecule. The properties of pectin substances are determined by the degree of methoxylation and the content of acetyl groups. Acetyl groups associated with hydroxyl groups significantly impair the gelling properties of pectins.

Dogwood pectin contains a small content of acetyl groups (less than one), that is, pectin has good gelling properties.

No less significant is the content of methoxyl groups in the pectin molecule, on which solubility and gelling ability depend. The greater the presence of methoxyl groups, the more soluble the pectin is and the higher the gelling factor. The high content of methoxyl groups (6,4–6,8 %) in dogwood pectin indicates the advisability of using this raw material to obtain pectin-containing products.

As a result of the research, it was established that, taking into account the high content of methoxyl groups and low acetyl groups, pectin isolated from dogwood has a good ability to form gels.

Determination of the qualitative characteristics of dogwood pectin substances indicates the advisability of using this raw material for the production of pectin-containing products.

Keywords: *Cornus mas* L., pectins, analytical characteristics, conductometric titration.

References

1. Khasanova D. A., *Dogwood as a medicinal plant, Biology and integrative medicine*, **4**, 45 (2016). (in Russ.)
2. Donchenko L. V, Firsov G. G. *Pectin: basic properties, production and application*, 276 p. (DeLi print, 2007). (in Russ.)
3. *Processed fruit and vegetable products*. Titrimetric method for determination of pectin substances: Interstate standard GOST 29059-91, 5 p. (All-Union Research and Design and Technological Institute for Processing Fruits and Grapes, 1991). (in Russ.)

4. Nelina V. V., Donchenko L. V., Karpovich N. S. *Pectin. Methods of control in pectin production*, 112 p. (Assoc. "Pectin", 1992). (in Russ.)
5. Donchenko L. V. *Technology of pectin and pectin products*, 255 p. (DeLi print, 2000). (in Russ.)
6. Khalikov D. Kh., Abdusamiev F. T., Avloev Ch. Ch. Isolation and structural characterization of a pectin homo and rhamnogalacturonan, *The International Journal of Pure and Applied Analytical Chemistry*, **53**, 171 (2000).
7. Saifina D. F., Nikolaeva E. Y., Tsepaeva O. V., Iskhakova G. G. Pectin: production, structure and prospects of application, *Georesources*, **2, 3**, 36 (2000). (in Russ.)
8. Zhidekhina T. V. *Biological features of introduced dogwood cultivars in the conditions of central Russia*, Non-traditional crop production. Breeding and genetics. Eniology. Ecology and Health: proceedings of the XIX International Symposium, p. 277 (2010). (in Russ.)
9. Three A. V., Mikheeva L. A. The influence of various factors on the yield of pectin substances isolated from plant raw materials, *Regional geosystems*, **2**, 123 (2014).
10. Tipsina N. N., Komarova O. Yu., Strupan E. A. Technological features of pectin-containing raw materials, *Bulletin of the Krasnoyarsk State Agrarian University*, **1**, 253 (2008). (in Russ.)
11. Grabishin A. S. On some features of pectin production technologies, *New technologies*, **2**, 30 (2010). (in Russ.)
12. Tsuglenok N. V., Tipsina N. N., Katananova O. Yu. Effective technologies of pectin production and its use in the food industry, *Bulletin of the Krasnoyarsk State Agrarian University*, **10**, 331 (2006). (in Russ.)

УДК 547.918:543.42:615.074

DOI 10.29039/2413-1725-2025-11-2-333-343

БИЯДЕРНЫЕ КОМПЛЕКСЫ МЕДИ(II) НА ОСНОВЕ СПЕЙСЕРИРОВАННЫХ ОКСИГИДРАЗОНОВЫХ КИСЛОТ

Гончарук Д. Е., Шultzин В. Ф., Гусев А. Н.

*Институт биохимических технологий, экологии и фармации (структурное подразделение)
ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет им. В. И. Вернадского»,
Симферополь, Россия
E-mail: goncharykd0@gmail.com*

Получены биядерные комплексы меди(II) со спейсированными ацилдигидразонами кислот. Сольватный состав комплексов $[\text{Cu}_2\text{L}^3(\text{py})_2] \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ и $[\text{Cu}_2\text{L}^4(\text{py})_2] \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ был подтвержден с помощью термогравиметрического и элементного анализа. Для исследования способа координации лигандов были записаны ИК-спектры полученных комплексов. В спектрах ЭПР синтезированных комплексов наблюдается слабо разрешенная сверхтонкая структура с константой порядка 30 Гс, характерная для димеров меди(II) со слабым обменным взаимодействием между ядрами металла.

Ключевые слова: биядерные комплексы меди(II), ИК-спектры, электронный парамагнитный резонанс, сверхтонкая структура, обменное взаимодействие.

ВВЕДЕНИЕ

Наиболее интересную группу полиядерных комплексов составляют биядерные соединения, проявляющие необычные магнитные свойства, которые не сводятся к магнетизму, характерному для моноядерных соединений или диамагнетизму, типичному для кластеров с прочными связями металл–металл [1]. Причиной данных магнитных свойств является так называемые обменные взаимодействия – квантовые эффекты, вызывающие коррелированное поведение спинов неспаренных электронов. Характер спин-спиновых взаимодействий в димерах и обменных кластерах зависит от деталей геометрического и электронного строения соединений и определяющим образом влияет на их магнитные свойства.

При изучении слабых взаимодействий довольно продуктивным является использование методов спектроскопии ЭПР. Особо удобен этот метод при изучении димерных комплексов меди(II) [2–4]. В последнее время повышенный интерес вызывают координационные соединения, у которых реализуются обменные взаимодействия между ионами металла, разделенными расстоянием более 3 Å, характерном для большинства обменных димеров. В литературе описано большое количество обменных димеров, тогда как данные о комплексах с расстоянием между парамагнитными ионами более 3 Å ограничены [5–7].

В настоящей работе рассматриваются спейсированные оксигидразоновые кислоты в качестве потенциальных лигандов, в которых можно отметить некоторые

особенности в структуре и возможность плавно изменять расстояние между катионами меди(II), а также полученные биядерные комплексы меди(II) на основе спейсированных ацилгидразонов некоторых дикарбоновых кислот.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Получение пропан-1,3- и бутан-1,4-бис(*N*-2-тозиламинобензилиденокси-гидразоновой кислоты) (H_4L^3 и H_4L^4 соответственно).

К раствору гидразида глутаровой или адипиновой кислоты (0,005 моль) в 50 мл этанола добавили раствор 2,6 г 2-(*N*-тозиламино)бензальдегида (0,0095 моль) в 20 мл хлороформа. Затем при перемешивании добавили 5 капель ледяной уксусной кислоты. Полученную смесь кипятили в течение 30 минут при перемешивании и оставили на ночь. Выпавший осадок отфильтровали, промыли небольшим количеством этилового спирта и высушили на воздухе (рис. 1).

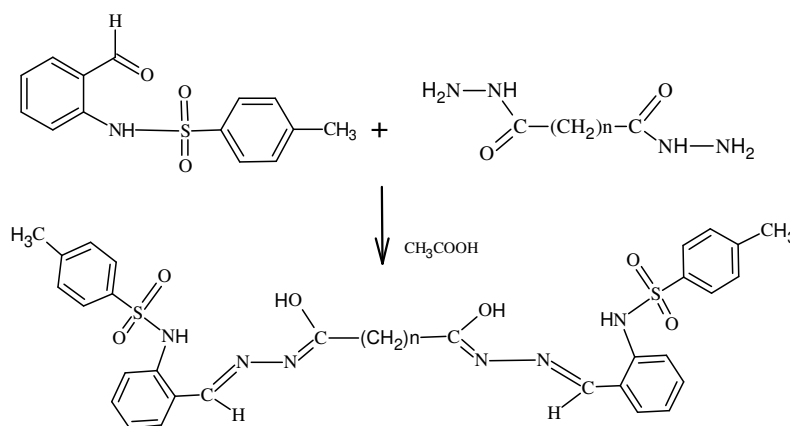


Рис. 1. Схема синтеза алкалиден-бис(*N*-2-тозиламинобензилиден-окси-гидразоновой кислоты) (H_4L^3 и H_4L^4 соответственно, $n = 3, 4$).

Синтез биядерного комплекса меди(II) состава $[Cu_2L^3(py)_2] \cdot 6H_2O$ (комплекс 1) и $[Cu_2L^4(py)_2] \cdot 6H_2O$ (комплекс 2). К раствору лиганда H_4L^3 или H_4L^4 (0,001 моль) в 20 мл метилового спирта добавили 0,4 г ацетата меди(II) (0,002 моль) при нагревании и перемешивании. Затем добавили 1 мл пиридина, кипятили и перемешивали в течение 40 минут. Полученную смесь оставили на ночь. Выпавший осадок отфильтровали, промыли небольшим количеством метилового спирта и высушили на воздухе (рис. 2).

ИК-спектры поглощения записаны на ИК-спектрометре с Фурье-преобразованием Spectrum Two, снабженном приставкой однократно нарушенного полного внутреннего отражения (Perkin-Elmer). Элементный анализ выполняли на автоматическом анализаторе EUROVector 3000A. Спектры электронного парамагнитного резонанса записаны на спектрометре SPINSCANX в X диапазоне. Термогравиметрический анализ выполняли на синхронном термическом анализаторе STA 6000(Perkin-Elmer).

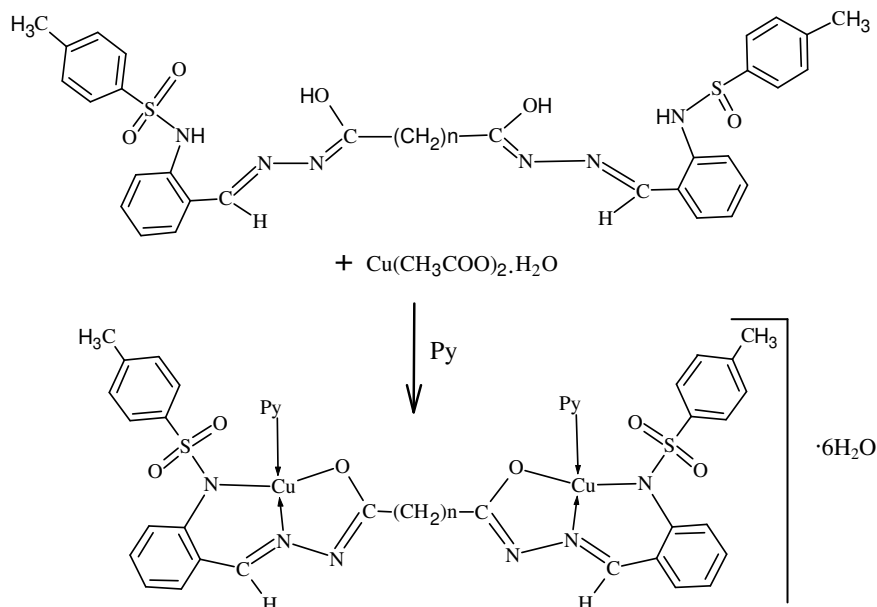


Рис. 2. Схема синтеза комплекса **1** и **2** ($n=3, 4$).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Исследуемые координационные соединения получены взаимодействием ацетата меди(II) со спейсированными ацилгидразонами кислот в метаноле в присутствии пиридина. Реакция идет с депротонизацией енольной формы лиганда и аминного атома азота и ведет к образованию комплексов $[\text{Cu}_2\text{L}]$.

Количественный состав комплексов подтвержден данными элементного анализа. Данные элементного анализа полученных комплексов представлены в таблице 1.

Таблица 1

Данные элементного анализа комплексов **1** и **2**

Данные элементного анализа						
Соединение и его брутто-формула	Найдено, %			Вычислено, %		
	C	H	N	C	H	N
$[\text{Cu}_2\text{L}^3(\text{py})_2] \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ (комплекс 1) $\text{C}_{43}\text{H}_{40}\text{N}_8\text{S}_2\text{O}_6\text{Cu}_2$	48,51	4,89	10,40	48,50	4,92	10,52
$[\text{Cu}_2\text{L}^4(\text{py})_2] \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ (комплекс 2) $\text{C}_{44}\text{H}_{42}\text{N}_8\text{S}_2\text{O}_6\text{Cu}_2$	48,94	5,25	10,45	48,98	5,04	10,39

Сольватный состав комплексов **1** и **2** был подтвержден с помощью термогравиметрического анализа. На рисунках 3 и 4 представлены термограммы исследуемых комплексов.

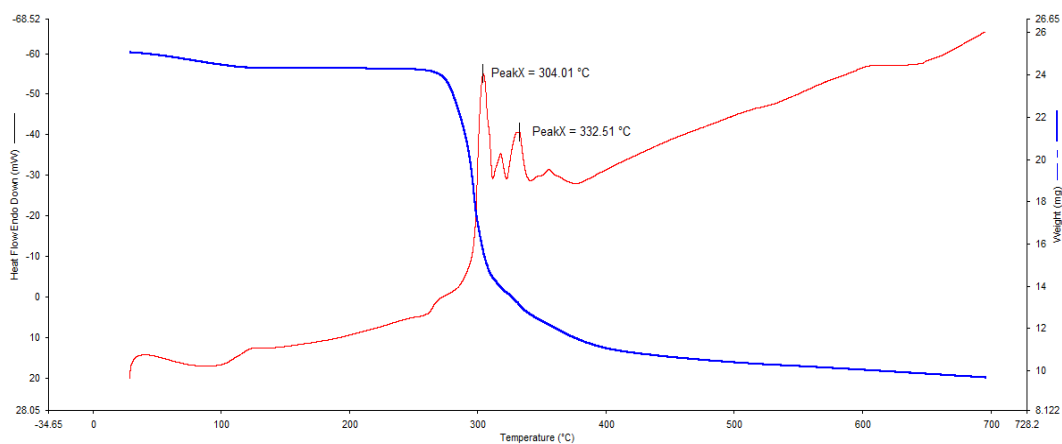


Рис. 3. Термограмма комплекса **1**.

По термограмме исследуемого комплекса установлено, что комплекс **1** устойчив до 48 °C, далее происходит удаление шести внешнесферных молекул воды, потеря массы составляет 10,2 %. Процесс заканчивается при 122 °C и сопровождается небольшим эндотермическим эффектом с минимумом при 101 °C. При 260 °C начинается термическое разложение комплекса. Процесс заканчивается при 380 °C и сопровождается двумя экзотермическими эффектами с максимумами при 304 °C и 332 °C. Окончательная потеря массы образца равна 61,2 %.

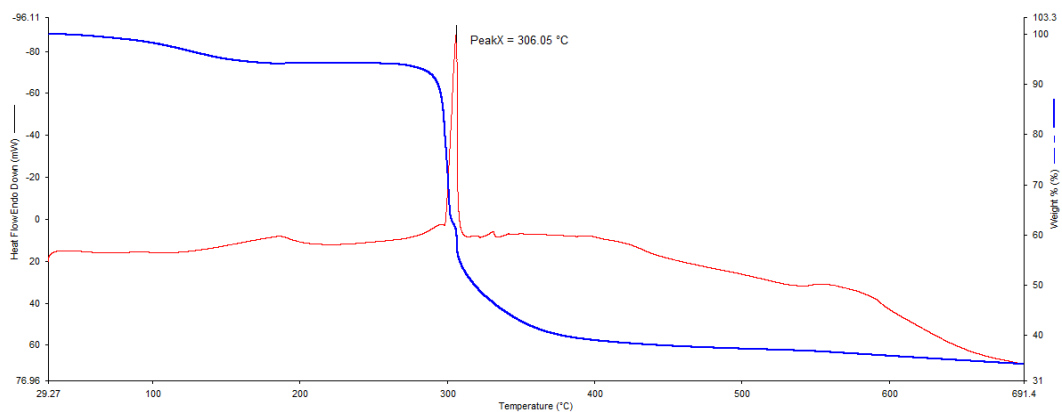


Рис. 4. Термограмма комплекса **2**.

По термограмме комплекса **2** установлено, что соединение устойчиво до 110 °C, далее происходит удаление шести внешнесферных молекул воды, потеря массы составляет 10 %. Процесс заканчивается при 203 °C и сопровождается

небольшим экзотермическим эффектом с максимумом при 189 °С. При 271 °С начинается термическое разложение комплекса. Процесс заканчивается при 388 °С и сопровождается мощным экзотермическим эффектом, напоминающий взрыв с максимумом при 306 °С. Окончательная потеря массы образца равна 65,3 %.

Способ координации определялся на основании данных полученных спектров исследуемых комплексов, а также соответствующих лигандов. Для подтверждения качественного состава полученных лигандов, были записаны соответствующие ИК-спектры.

ИК-спектры лигандов H_4L^3 и H_4L^4 представлены на рисунках 5 и 6.

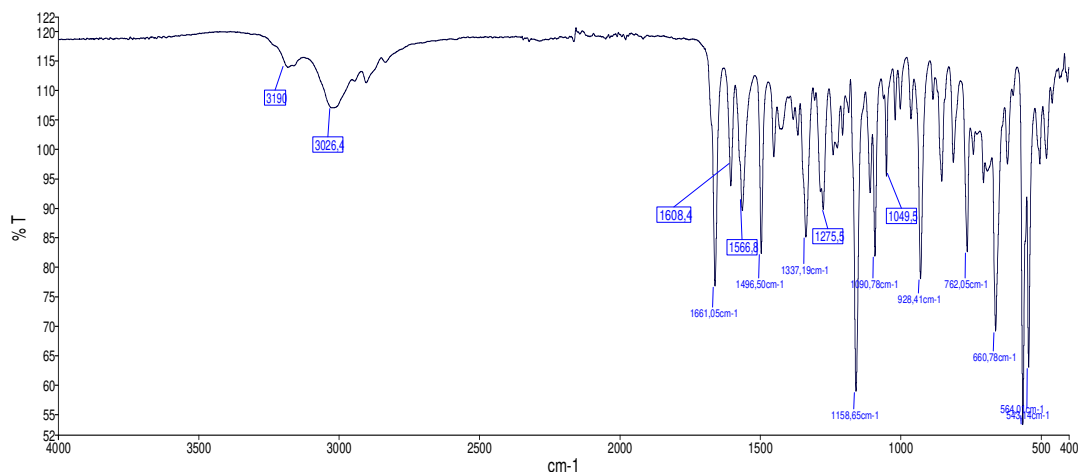


Рис. 5. ИК-спектр пропан-1,3-бис(N-2-тозиламинобензилиден-оксигидразоновой кислоты) (H_4L^3).

В ИК-спектре лиганда H_4L^3 наблюдается ряд полос поглощения, среди которых следует выделить: $\nu(OH)$ – 3026 cm^{-1} , $\nu(NH, \text{амид I})$ – 1661 cm^{-1} , $\nu(NH, \text{амид II})$ – 1608 cm^{-1} , $\nu_{as}(R-SO_2-R)$ – 1337; 1158 cm^{-1} , $\nu(C-N) + \Delta s(-CH_2-)$ – 1496 cm^{-1} , $\tau(-CH_2-)$ – 1275 cm^{-1} [8].

Валентные колебания группы $-OH$ в диапазоне 3026 cm^{-1} позволяют подтвердить енольную форму лиганда, при этом отсутствуют валентные колебания $-C=O$. Наблюдаются интенсивные полосы Амид I и Амид II в диапазоне 1661 и 1608 cm^{-1} соответственно. Валентные симметричные (ν_s) и асимметричные (ν_{as}) колебания метиленового звена ($-CH_2-$) присутствуют, но их интенсивность относительно мала. Однако хорошо заметны деформационные симметричные колебания метиленового звена в совокупности с валентными колебаниями связи $-C-N$ в диапазоне 1496 cm^{-1} , а также деформационные ножничные колебания $-CH_2-$ в диапазоне 1275 cm^{-1} . Довольно интенсивные и широкие полосы имеют валентные асимметричные колебания группы $-SO_2-$ (тозил). Данная группа разделяется на две полосы с максимумами в диапазоне 1337 cm^{-1} и 1158 cm^{-1} .

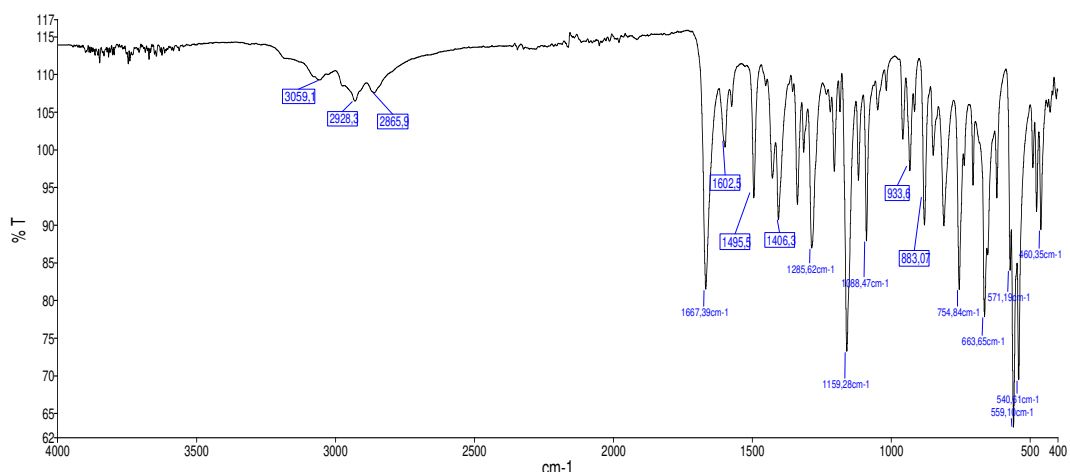


Рис. 6. ИК-спектр бутан-1,4-бис(N-2-тозиламинобензилиден- оксигидразоновой кислоты) (H_4L^4).

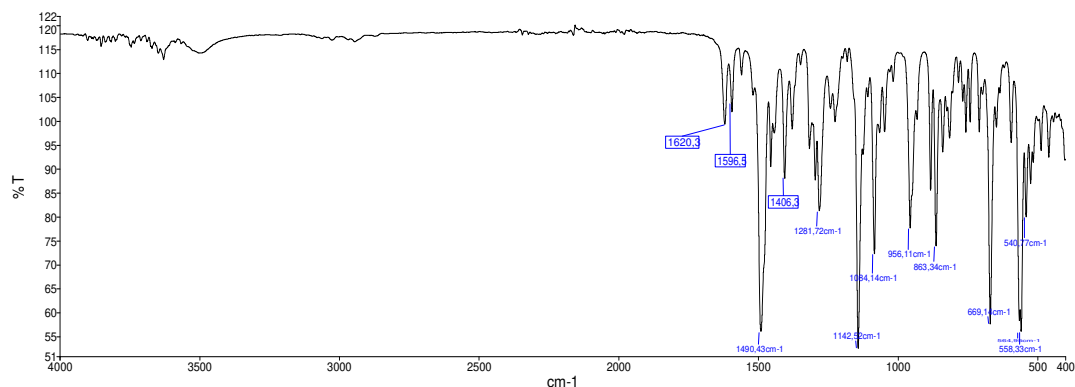
Аналогично в ИК-спектре лиганда H_4L^4 наблюдается ряд полос поглощения, среди которых следует выделить: $\nu(OH)$ – 3059 см^{-1} , $\nu(NH, \text{Амид I})$ – 1667 см^{-1} , $\nu(NH, \text{Амид II})$ – 1602 см^{-1} , $\nu_{as}(R-SO_2-R)$ – $1336; 1159\text{ см}^{-1}$, $\nu(C-N)+\delta_s(-CH_2-)$ – 1406 см^{-1} , $\tau(-CH_2-)$ – 1285 см^{-1} , $\nu_{as}(-CH_2-)$ – 2928 см^{-1} , $\nu_s(-CH_2-)$ – 2835 см^{-1} [45].

Валентные колебания группы $-OH$ в диапазоне 3059 см^{-1} также позволяют подтвердить енольную форму лиганда, при этом также отсутствуют валентные колебания $-C=O$. Наблюдаются интенсивные полосы Амид I и Амид II в диапазоне 1667 и 1602 см^{-1} соответственно, которые немного смещены в низкочастотную область. Валентные симметричные (ν_s) и асимметричные (ν_{as}) колебания метиленового звена ($-CH_2-$) присутствуют, по сравнению с лигандом H_4L^3 их интенсивность больше и составляет 2835 и 2928 см^{-1} соответственно. Очевидно, что это связано с удлинением полиметиленового спейсера на одну группу $-CH_2-$. Также немного смещены в высокочастотную область и хорошо заметны деформационные симметричные колебания метиленового звена в совокупности с валентными колебаниями связи $C-N$ в диапазоне 1406 см^{-1} . В связи с увеличением длины метиленового спейсера данная полоса также уширяется. Деформационные ножничные колебания $-CH_2-$ в диапазоне 1285 см^{-1} , которые практически не смещаются.

При увеличении полиметиленового спейсера валентные асимметричные колебания группы $-SO_2-$ (тозил) остаются интенсивными и широкими полосы, а также практически не смещаются. Данная группа снова разделяется на две полосы с максимумами в диапазоне 1336 см^{-1} и 1159 см^{-1} .

Для подтверждения способа координации были записаны ИК-спектры исследуемых комплексов. ИК-спектры комплексов **1** и **2** представлены на рисунках

7,8.

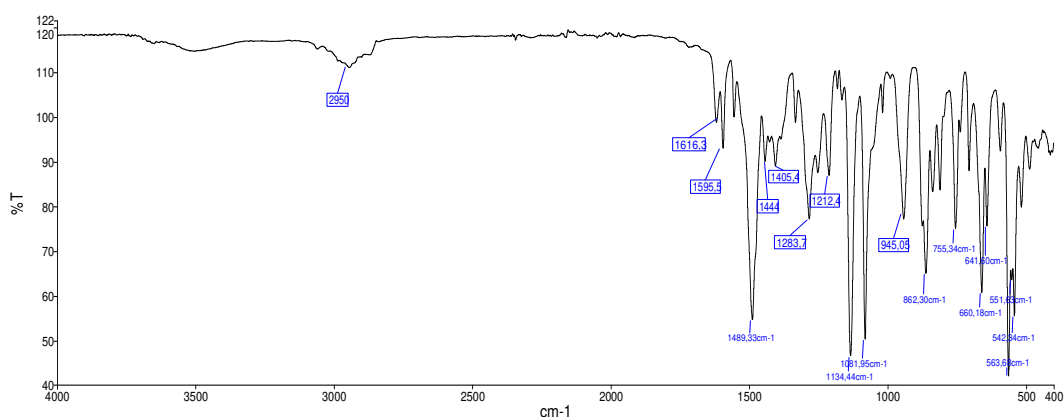

 Рис. 7. ИК-спектр комплекса **1**.

В ИК-спектре комплекса **1** наблюдается ряд полос поглощения, среди которых следует выделить: $\nu(\text{NH}, \text{Амид I}) - 1620 \text{ см}^{-1}$, $\nu(\text{NH}, \text{Амид II}) - 1596 \text{ см}^{-1}$, $\nu_{\text{as}}(\text{R-SO}_2\text{-R}) - 1281; 1142 \text{ см}^{-1}$, $\nu(\text{C-N}) + \Delta_s(-\text{CH}_2-) - 1490 \text{ см}^{-1}$, $\tau(-\text{CH}_2-) - 1281 \text{ см}^{-1}$ [8].

При изучении полученного спектра становится более понятным способ координации лиганда с атомами меди(II). В ИК-спектре данного комплекса исчезает полоса, отвечающая валентным колебаниям гидроксильной группы. Это подтверждает координацию атома меди через депротонизацию енольной формы лиганда. Наблюдаемые интенсивные полосы Амид I и Амид II в ИК-спектре лиганда H_4L^3 заметно укорачиваются, однако находятся практически в том же диапазоне (1620 и 1596 см^{-1}). Также более смещены в высокочастотную область и имеют большую интенсивность деформационные симметричные колебания метиленового звена $\Delta_s(-\text{CH}_2-)$ в совокупности с валентными колебаниями связи C-N в диапазоне 1490 см^{-1} . Это подтверждает координацию атомов меди(II) через депротонизацию аминного атома азота. Валентные симметричные (ν_s) и асимметричные (ν_{as}) колебания метиленового звена $(-\text{CH}_2-)$ присутствуют, но, как и в ИК-спектре соответствующего лиганда малоинтенсивны. Деформационные ножничные колебания $-\text{CH}_2-$ в диапазоне 1281 см^{-1} практически не смещаются.

Очень интенсивными и широкими полосами также остаются валентные асимметричные колебания группы $-\text{SO}_2-$ (тозил). Однако одна из полос смещается в высокочастотную область в диапазон 1281 см^{-1} , а другая остается в том же диапазоне практически с той же интенсивностью и составляет 1142 см^{-1} . Смещение одной из полос вероятно вызвано пространственными (стерическими) затруднениями расположения данной группы в пространстве при координировании.

Аналогично в ИК-спектре комплекса **2** наблюдается ряд полос поглощения, среди которых следует выделить: $\nu(\text{NH}, \text{Амид I}) - 1616 \text{ см}^{-1}$, $\nu(\text{NH}, \text{Амид II}) - 1595 \text{ см}^{-1}$, $\nu_{\text{as}}(-\text{CH}_2-) - 2928 \text{ см}^{-1}$, $\nu_{\text{as}}(\text{R-SO}_2\text{-R}) - 1283; 1134 \text{ см}^{-1}$, $\nu(\text{C-N}) + \Delta_s(-\text{CH}_2-) - 1489 \text{ см}^{-1}$, $\tau(-\text{CH}_2-) - 1212 \text{ см}^{-1}$ [8].

Рис. 8. ИК-спектр комплекса **2**.

В ИК-спектре комплекса **2** также исчезает полоса, отвечающая валентным колебаниям гидроксильной группы, что подтверждает координацию атома меди через депротонизацию енольной формы лиганда. Интенсивность наблюдаемых полос Амид I и Амид II в ИК-спектре лиганда H4L4 заметно уменьшается, однако находятся практически в том же диапазоне (1616 и 1595 cm^{-1}). Также более смещены в низкочастотную область и имеют большую интенсивность деформационные симметричные колебания метиленового звена Δ_s ($-\text{CH}_2-$) в совокупности с валентными колебаниями связи $-\text{C}-\text{N}$ в диапазоне 1489 cm^{-1} . Это в свою очередь также подтверждает координацию атомов меди(II) через депротонизацию аминного атома азота. Ввиду того, что полиметиленовый спейсер увеличился на одну метиленовую группу, валентные асимметричные колебания ν_{as} ($-\text{CH}_2-$), как и в спектре соответствующего лиганда, также более интенсивны и имеют максимум при 2950 cm^{-1} . Валентные симметричные (ν_s) колебания метиленового звена ($-\text{CH}_2-$) малоинтенсивны. Деформационные ножничные колебания $-\text{CH}_2-$ немного смещены в высокочастотную область и находятся в диапазоне 1212 cm^{-1} .

Очень интенсивными и широкими полосами, исследуемого комплекса **2** также остаются валентные асимметричные колебания группы $-\text{SO}_2-$ (тозил). Однако одна из полос смещается в высокочастотную область в диапазон 1283 cm^{-1} , а другая остается в том же диапазоне практически с той же интенсивностью и составляет 1134 cm^{-1} . Смещение одной из полос вероятно аналогично вызвано пространственными (стерическими) затруднениями расположения данной группы в пространстве при координации.

Спектр ЭПР жидких растворов исследуемых комплексов в растворе толуол + пиридин представлен на рисунке 9.

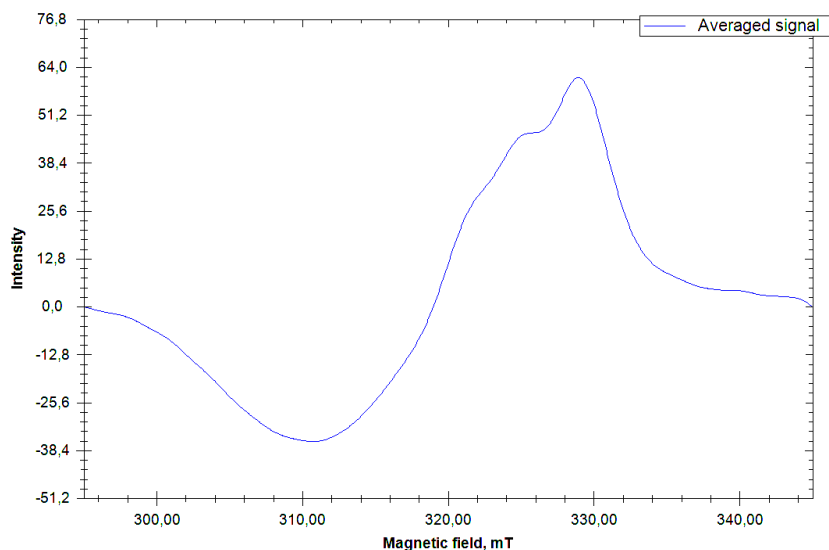


Рис. 9. Спектр ЭПР жидких растворов комплексов **1** и **2**.

При комнатной температуре в спектрах ЭПР жидких растворов комплексов **1** и **2** наблюдается широкий плохо разрешенный сигнал сверхтонкой структуры с g -фактором 2,09–2,10 и константой порядка 30 Гс, наблюдаемый для комплексов меди(II) со спейсерированными ацилгидразами дикарбоновых кислот [9–10]. Величина константы сверхтонкой структуры указывает на реализацию слабых обменных взаимодействий между ядрами катионов меди.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Получены исходные лиганды на основе спейсерированных оксигидразоновых кислот – глутаровой и адипиновой. Методом ИК-спектроскопии подтвержден качественный состав лигандов.
2. Синтезированы биядерные комплексы меди(II) со спейсерированными ацилгидразами кислот. Методами ИК-спектроскопии, термогравиметрического анализа и элементного анализа подтвержден сольватный состав полученных комплексов.
3. С помощью спектров ЭПР синтезированных комплексов установлено наличие слабого обменного взаимодействия между атомами меди.

Список литературы

1. Калинин В. Т. Современная магнетохимия обменных кластеров / В. Т. Калинин, Ю. В. Ракитин, В. М. Новоторцев // Успехи химии. – 2003. – Т. 72, № 12. – С. 1123–1139.
2. Исследование методом ЭПР слабых обменных взаимодействий в биядерных комплексах меди(II) с салицилиденгидразами / Г. М. Ларин, В. Ф. Шульгин, Е. А. Сарнит [и др.] // Известия РАН. Сер. хим. – 2001. – № 5. – С. 777–783.

3. Шульгин В. Ф. Исследование слабых обменных взаимодействий в би-ядерных комплексах меди(II) с ацилдигидразонами 2-гидроксиацетофенона методом ЭПР / В. Ф. Шульгин, А. Н. Гусев, В. Я. Зуб, Г. М. Ларин // Известия РАН. Серия химическая. – 2002. – № 12. – С. 2107–2111.
4. Ларин Г. М. Слабые обменные взаимодействия между парамагнитными ионами в мономерных биядерных комплексах ацилдигидразонов / Г. М. Ларин, В. Ф. Шульгин, А. Н. Гусев, В. Я. Зуб // Известия РАН. Серия химическая. – 2003. – № 6. – С. – 1230–1233.
5. Шульгин В. Ф. Спектры ЭПР спейсерированных димеров меди(II) на основе ацилдигидразонов 5-бром-2-гидроксиацетофенона и алифатических дикарбоновых кислот / В. Ф. Шульгин, А. Н. Гусев, В. Я. Зуб [и др.] // Известия АН. Сер. хим. – 2005. – № 8. – С. 1752–1757.
6. Шульгин В. Ф. Спейсерированные биядерные комплексы меди(II) с ацилдигидразонами алифатических дикарбоновых кислот и 2-гидрокси-5-нитроацетофенона / В. Ф. Шульгин, А. Н. Гусев, А. Н. Чернега [и др.] // Известия АН. Сер. хим. – 2007. – № 2. – С. – 229–233.
7. Navanur G. H. Synthesis and characterization of dioxomolibdenum(VI) complexes of dihydrazones / G. H. Navanur, V. B. Mahale // Indian J. Chem. – 1987. – Vol. 26, № 12. – P. 1063–1065.
8. ИК спектры основных классов органических соединений [Электронный ресурс]. URL: https://www.chem.msu.su/rus/teaching/tarasevich/Tarasevich_IR_tables_29-02-2012.pdf. (дата обращения: 15.03.2025).
9. Ракитин Ю. В. Интерпретация спектров ЭПР координационных соединений / Ю. В. Ракитин, Г. М. Ларин, В. В. Минин. – М.: Наука, 1993. – 399 с.
10. Яблоков Ю. В. Парамагнитный резонанс обменных кластеров / Ю. В. Яблоков, В. К. Воронкова, Л. В. Мосина – М.: Химия, 1988. – 181 с.

BINUCLEAR COPPER(II) COMPLEXES BASED ON SPACERED OXYHYDRAZONIC ACIDS

Goncharuk D. E., Shulgin V. F., Gusev A. N.

*Institute of biochemical technologies, ecology and pharmacy (structural division) of the Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education «V. I. Vernadsky Crimean Federal University», Simferopol, Russia
E-mail: goncharykd0@gmail.com*

The most interesting group of polynuclear complexes consists of binuclear compounds exhibiting unusual magnetic properties that are not limited to the magnetism characteristic of mononuclear compounds or diamagnetism typical of clusters with strong metal-metal bonds. The reason for these magnetic properties is the so-called exchange interactions, which are quantum effects that cause the correlated behavior of the spins of unpaired electrons. The nature of spin-spin interactions in dimers and exchange clusters depends on the details of the geometric and electronic structure of compounds and has a decisive effect on their magnetic properties.

When studying weak interactions, the use of EPR spectroscopy methods is quite productive. This method is particularly useful in the study of copper(II) dimeric complexes. Coordination compounds, which have exchange interactions between metal ions separated by a distance of more than 3 Å, characteristic of most exchange dimers, have recently attracted increased interest. A large number of exchangeable dimers have been described in the literature, whereas data on complexes with a distance between paramagnetic ions of more than 3 Å are limited. The latter are particularly interesting in

the study of exchange interactions, since they allow quite smoothly changing the distance between paramagnetic centers and modifying the geometry and electronic nature of the coordination polyhedron, as well as the bridge group (aliphatic, unsaturated, or aromatic spacers). In this paper, spacers oxyhydrazonic acids are considered as potential ligands, in which it is possible to note some structural features and the ability to smoothly change the distance between copper(II) cations, as well as the obtained binuclear copper(II) complexes based on spaced acylhydrazones of some dicarboxylic acids.

Binuclear complexes of copper(II) with spaced acylhydrazones of acids were obtained. The solvate composition of the complexes $[\text{Cu}_2\text{L}^3(\text{py})_2] \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ and $[\text{Cu}_2\text{L}^4(\text{py})_2] \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ was confirmed by thermogravimetric and elemental analysis. To study the method of ligand coordination, the IR spectra of the obtained complexes were recorded. In the EPR spectra of the synthesized complexes, a weakly resolved CTC with a constant of the order of 30 Hz is observed, which is characteristic of copper(II) dimers with a weak exchange interaction between metal nuclei.

Keywords: copper(II) binuclear complexes, IR spectra, electron paramagnetic resonance, ultrathin structure, exchange interaction.

References

1. Kalinnikov V. T., Rakitin Yu. V., Novotortsev V. M., Modern magnetochemistry of exchange clusters, *Successes of Chemistry*, **72** (12), 1123 (2003). (in Russ.).
2. Larin G. M., Shulgin V. F., Sarnit E. A., EPR study of weak exchange interactions in binuclear copper(II) complexes with salicylidene hydrazones, *News of the Russian Academy of Sciences. The chemical series*, **5**, 777 (2001). (in Russ.).
3. Shulgin V. F., Gusev A. N., Zubov V. Ya., Larin G. M., Investigation of weak exchange interactions in bi-nuclear complexes of copper(II) with acyldihydrazones of 2-hydroxyacetophenone by EPR method, *News of the Russian Academy of Sciences. The chemical series*, **12**, 2107(2002). (in Russ.).
4. Larin G. M., Shulgin V. F., Gusev A. N., Zubov V. Ya., Weak exchange interactions between paramagnetic ions in monomeric binuclear complexes of acyl dihydrazones, *News of the Russian Academy of Sciences. The chemical series*, **6**, 1230 (2003). (in Russ.).
5. Shulgin V. F., Gusev A. N., Zubov V. Ya. [et al.], EPR spectra of spaced copper(II) dimers based on 5-bromo-2-hydroxyacetophenone acyl dihydrazones and aliphatic dicarboxylic acids, *News AN. Ser. chem.*, **8**, 1752 (2005). (in Russ.).
6. Shulgin V. F., Gusev A. N., Chernega A. N., [et al.], Spaced binuclear complexes of copper(II) with acyl dihydrazones of aliphatic dicarboxylic acids and 2-hydroxy-5-nitroacetophenone, *News AN. S. chem.*, **2**, 229 (2007). (in Russ.).
7. Havanur G. H., Mahale V. B., Synthesis and characterization of dioxomolibdenum(VI) complexes of dihydrazones, *Indian J. Chem.*, **26** (12), 1063 (1987).
8. *IR spectra of the main classes of organic compounds*, https://www.chem.msu.ru/rus/teaching/tarasevich/Tarasevich_IR_tables_29-02-2012.pdf (Accessed March 15, 2025). (in Russ.).
9. Rakitin Yu. V., Larin G. M., Minin V. V., *Interpretation of EPR spectra of coordination compounds*, (Science, Moscow, 1993). (in Russ.).
10. Yablokov Yu. V., Voronkova V. K., Mosina L. V., *Paramagnetic resonance of exchange clusters*, (Chemistry, Moscow, 1972). (in Russ.).

УДК 543.544:547.918

DOI 10.29039/2413-1725-2025-11-2-344-351

ДЕТЕКТИРУЮЩИЕ РЕАГЕНТЫ ДЛЯ ТРИТЕРПЕНОВЫХ ГЛИКОЗИДОВ РАСТЕНИЙ СЕМЕЙСТВА АРАЛИЕВЫХ

Гришковец В. И.¹, Яковишин Л. А.²

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*

Проведена сравнительная оценка эффективности различных детектирующих реагентов с точки зрения предела обнаружения и различий в окраске хроматографических зон для разных рядов тритерпеноидов. Показано, что наиболее эффективными являются детектирующие реагенты на основе фосфорновольфрамовой кислоты с добавками ароматических альдегидов (*пара*-оксибензальдегида и ванилина). Оценка интенсивности окраски, цвета и оттенка хроматографических пятен и их изменения в процессе проявления хроматограмм позволяет сделать предварительные выводы о природе агликонной части гликозидов.

Ключевые слова: детектирующие реагенты, ТСХ, фосфорновольфрамовая кислота, тритерпеновые гликозиды, Araliaceae.

ВВЕДЕНИЕ

Детектирующие реагенты имеют большое значение в обнаружении и предварительном анализе тритерпеновых гликозидов в растениях. Для первой задачи важен предел обнаружения определенного реагента, а наличие специфической окраски существенно для предварительной оценки их принадлежности к определенному ряду тритерпеноидов.

В растениях семейства аралиевых встречаются гликозиды тритерпеноидов следующих рядов: тетрациклические даммаранового ряда и пентациклические олеананового (β -амиринового), урсанового (α -амиринового), лупанового и 30-*нор*-олеананового ряда (рис. 1) [1].

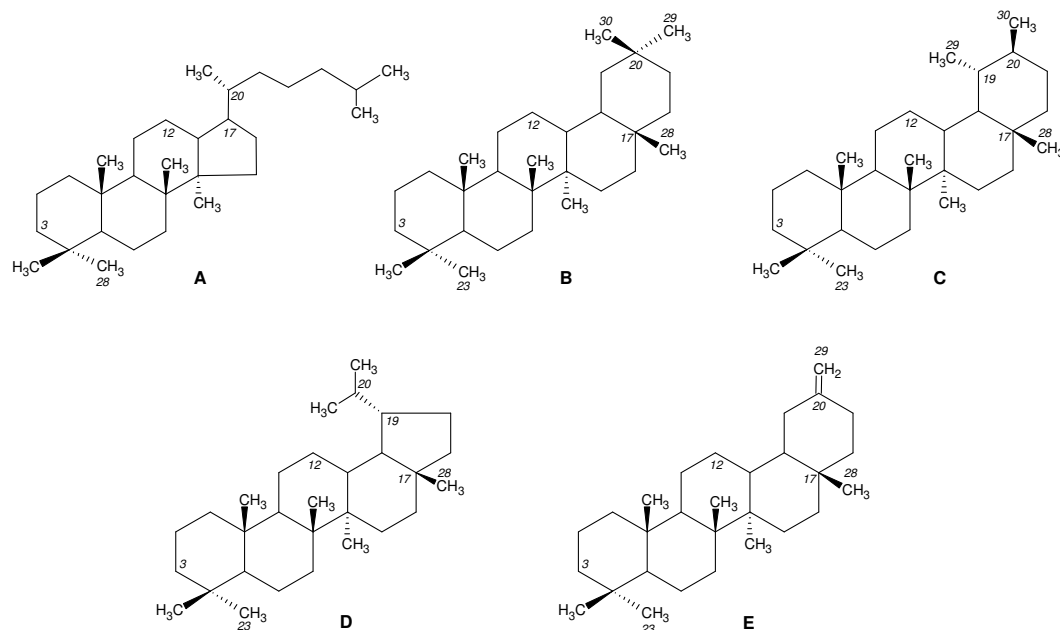


Рис. 1. Тритерпены, образующие агликоны гликозидов растений семейства аралиевых: даммарановый (А), олеанановый (В), урсановый (С), лупановый (D) и 30-*нор*-олеанановый (Е) ряды.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Выделение и установление строения индивидуальных или хроматографически неразделимых тритерпеновых гликозидов, исследованных в данной работе, детально описано в [1] и оригинальных публикациях, цитируемых в [1]. Даммарановые гликозиды проанализированы в аптечных галеновых препаратах корней женьшеня (настойка корней женьшеня).

Применяли следующие детектирующие растворы: 1) 2 г фосфорновольфрамовой кислоты в виде кристаллогидрата ($H_7[P(W_2O_7)_6] \cdot nH_2O$) и 0,5 г *пара*-оксибензальдегида в 50 мл смеси $CHCl_3-C_2H_5OH$ (1:1, по объему), 2) 2 г фосфорновольфрамовой кислоты в виде кристаллогидрата ($H_7[P(W_2O_7)_6] \cdot nH_2O$) и 0,5 г ванилина в 50 мл смеси $CHCl_3-C_2H_5OH$ (1:1, по объему) и 3) 2 г фосфорновольфрамовой кислоты в виде кристаллогидрата ($H_7[P(W_2O_7)_6] \cdot nH_2O$) в 50 мл 1 М раствора H_2SO_4 .

ТСХ проводили на пластинках Silufol (ЧССР) и Sorbfil (Российская Федерация) марки ПТСХ-П-А-УФ-254 с размерами частиц силикагеля 5–7 мкм (тип сорбента СТХ-1А). Для элюирования использовали системы растворителей $CHCl_3-CH_3OH-25\%$ водный NH_3 (100:20:3 и 100:30:5). Пластины после обработки детектирующими реагентами нагревали до 100–120 °С при помощи устройства для сушки пластин УСП-1М («Имид», Россия).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

В литературе предложено многочисленное количество детектирующих реагентов для тритерпеноидов и их гликозидов [2]. В их основе лежит какая-либо сильная нелетучая минеральная кислота (обычно серная) или ее смесь с солями металлов, являющихся типичными кислотами Льюиса (безводные хлориды алюминия, цинка, олова). Иногда реагент содержит дополнительно спирт и хлороформ. Опробованы и другие соли, не являющиеся типичными кислотами Льюиса – сульфаты кадмия, кобальта, хрома, меди, марганца, никеля и нитрат уранила в сочетании с серной кислотой. Эти реагенты не показали высокой эффективности, однако позволяли различать некоторые тритерпеноиды, а именно отличать гликозиды хедерагенина от гликозидов олеаноловой и эхиноцистовой кислот, то есть различать гликозиды двух наиболее часто встречающихся агликонов олеананового (β -амиринового) ряда [3, 4].

Выделим отдельно еще один тип реагентов, содержащих в качестве сильной минеральной кислоты гетерополиокислоты – фосфорномолибденовую, фосфорновольфрамовую или кремневольфрамовую кислоты. Их применение к олеанановым гликозидам аралиевых рассмотрено в работе [5].

Фосфорномолибденовая кислота является реагентом общего назначения, позволяющим кроме терпеноидов детектировать липиды, антиоксиданты и прочие восстанавливающие вещества [2]. Но с тритерпеновыми гликозидами каких-либо явных различий в окраске пятен не обнаруживается, тогда как фосфорновольфрамовая и кремневольфрамовая кислоты дают явно различную окраску хроматографических зон при обработке спиртовыми растворами этих реактивов с последующим нагреванием хроматограмм до 100–120 °С. Предел обнаружения данных реактивов заметно понижается при добавлении серной кислоты, а различия в окраске хроматографических зон и интенсивность окраски еще более усиливаются при добавлении ароматических альдегидов – бензальдегида и, в особенности, *пара*-оксибензальдегида или ванилина (*пара*-окси-метаметоксибензальдегида). Таким образом, в ходе нашей работы выработаны наиболее предпочтительные реагенты с точки зрения предела обнаружения и существенных различий в окраске хроматографических зон гликозидов с разными агликонами одной группы или разных групп. Это 4 % спиртовой или спиртово-хлороформный раствор фосфорновольфрамовой кислоты с добавкой 25 % по отношению к кислоте *пара*-оксибензальдегида или ванилина и раствор фосфорновольфрамовой кислоты в 1 М растворе серной кислоты.

С этими реагентами были протестированы ранее выделенные гликозиды тритерпеноидов вышеуказанных рядов (табл. 1 и 2) – пентациклические олеананового ряда (олеаноловая и эхиноцистовая кислоты, эритродиол, хедерагенин, каулофиллогенин, гипсогенин), урсанового ряда (урсоловая кислота, 23-гидрокси- и 27-гидроксиурсоловые кислоты), лупанового ряда (23-гидроксибетулиновая кислота и 23,27-дигидроксибетулиновая кислота) и пентациклические 30-*нор*-олеананового ряда (30-*нор*-олеаноловая кислота и 30-*нор*-хедерагенин) [1]. Кроме того, проанализированы гликозиды тетрациклических

тритерпеноидов даммаранового ряда (в аптечных суммарных экстрактах корня женьшеня *Panax ginseng*).

При этом было замечено, что хроматографические зоны гликозидов β -амиринового ряда, а именно гликозидов олеаноловой (в подавляющем большинстве родов семейства аралиевых), эхиноцистовой кислот (в родах *Dizygotheca*, *Hedera*, *Oreopanax*, *Trevesia*, *Acanthopanax*, *Fatsia*, *Cussonia* и *Tetrapanax*) и эритродиола (*Hedera*) окрашиваются в розовые цвета, тогда как пятна гликозидов хедерагенина (в большинстве родов аралиевых – *Hedera*, *Oreopanax*, *Trevesia*, *Kalopanax*, *Acanthopanax*, *Eleutherococcus*, *Schefflera*, *Fatsia* и *Cussonia*), каулофиллогенина (*Hedera*) и гипсогенина (*Fatsia*) проявляются медленнее, вначале буровато-коричневого цвета, а через несколько минут приобретают устойчивую синюю или сине-фиолетовую окраску. При анализе структурных различий этих агликонов становится ясным, что наличие заместителя у метильной группы (C-23) и приводит к смене окраски с розовой на сине-фиолетовую. Эта же закономерность прослеживается и для изученных гликозидов α -амиринового ряда (23-гидроксиурсоловой кислоты) и лупанового (23-гидроксибетулиновая кислота и 23,27-дигидроксибетулиновая кислота) рядов, тогда как добавление гидроксильных групп в иные положения агликонной части приводит лишь к незначительному изменению цветового оттенка пятен. Однако наличие дополнительной 20(29)-двойной связи в агликонах 30-*нор*-тритерпеноидов (в гликозидах растений родов *Hedera*, *Eleutherococcus*, *Neopanax* и *Pseudopanax*) приводит к существенному увеличению интенсивности окраски и изменению цвета, так что зоны гликозидов 30-*нор*-олеаноловой кислоты при проявлении имеют интенсивный пурпурный цвет, а 30-*нор*-хедерагенина – интенсивный синий.

Интересной особенностью гликозидов лупанового ряда (встречаются в родах *Acanthopanax*, *Oplopanax*, *Schefflera*, *Heteropanax*, *Cussonia* и *Scheffleropsis*) является то, что при их детектировании хроматографические зоны вначале имеют желто-оранжевый цвет и лишь впоследствии приобретают розовые или фиолетовые оттенки.

Гликозиды тритерпеноидов α -амиринового ряда в растениях семейства аралиевых (в видах родов *Aralia*, *Schefflera*, *Dizygotheca*, *Oreopanax*, *Tupidanthus*, *Scheffleropsis*, *Pseudopanax*, *Cussonia* и *Brassaia*) обычно присутствуют в виде изомерных по агликону пар с аналогичными гликозидами β -амиринового ряда и хроматографически практически неразделимы (выявляются при анализе спектров ^{13}C -ЯМР, где различия в химических сдвигах C-атомов кольца E очень существенны). Но цвет хроматографических зон этих смесей имеет явно иной оттенок, нежели индивидуальных гликозидов β -амиринового ряда, а именно пятна гликозидов урсоловой кислоты, в отличие от гликозидов олеаноловой кислоты, приобретают хорошо заметный кирпично-красный оттенок, а гликозиды 23-гидроксиурсоловой, в отличие от изомерных гликозидов хедерагенина, дают более интенсивный фиолетовый оттенок.

Таблица 1

Структуры агликонов исследованных гликозидов α - и β -амириновых рядов

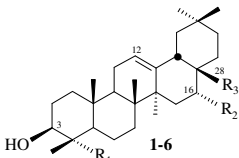
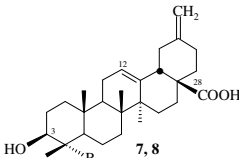
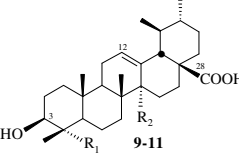
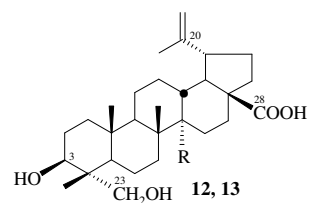
β-Амириновый ряд				
				
Соединение	R ₁	R ₂	R ₃	Тривиальное название
1	-CH ₃	-H	-COOH	олеаноловая кислота
2	-CH ₃	-OH	-COOH	эхиноцистовая кислота
3	-CH ₃	-H	-CH ₂ OH	эритродиол
4	-CH ₂ OH	-H	-COOH	хедерагенин
5	-CH ₂ OH	-OH	-COOH	каулофиллогенин
6	-CHO	-H	-COOH	гипсогенин
30-нор-β-Амириновый ряд				
				
Соединение	R		Тривиальное название	
7	-CH ₃		30-нор-олеаноловая кислота	
8	-CH ₂ OH		30-нор-хедерагенин	
α-Амириновый ряд				
				
Соединение	R ₁	R ₂	Тривиальное название	
9	-CH ₃	-CH ₃	урсоловая кислота	
10	-CH ₂ OH	-CH ₃	23-гидроксиурсоловая кислота	
11	-CH ₃	-CH ₂ OH	27-гидроксиурсоловая кислота	

Таблица 2
Структуры агликонов исследованных гликозидов лупанового ряда

		
Соединение	R	Тривиальное название
12	-CH ₃	23-гидроксибетулиновая кислота
13	-CH ₂ OH	23,27-дигидроксибетулиновая кислота

Хроматографические зоны гликозидов даммаранового ряда (в экстрактах корней *Panax ginseng*) при проявлении реактивами на основе фосфорновольфрамовой кислоты имеют лишь розовые оттенки, так как у них, несмотря на различия в структуре агликонов, всегда отсутствует гидроксильная группа у C-28, который соответствует атому C-23 у агликонов α - и β -амириновых рядов.

Причины появления окраски при использовании детектирующих реагентов на основе серной кислоты и солей с окислительными свойствами подробно рассмотрены в работах [6, 7] в отношении холестерина и сводятся к возникновению сопряженных полиеновых систем, возникающих в результате последовательных окислительных реакций сульфирования-десульфирования и протонирования полиенов с образованием енильных карбокатионов. Продукт красного цвета (λ_{max} около 563 нм), обычно измеряемый в реакции Зака (с солями железа(III)), очевидно, является холестатетраенильным катионом, а сине-зеленый продукт в реакции Либермана–Бухарда (λ_{max} около 620 нм) – пентаенильным катионом. По-видимому, и тритерпеновые гликозиды реагируют аналогично, так как у них подобный углеродный скелет колец A, B, C и лишь кольцо D может отличаться.

Таким образом, оценка интенсивности окраски и цветового оттенка хроматографических зон, а также их изменения в процессе проявления хроматограмм позволяет сделать предварительные выводы о природе агликонной части гликозидов.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Проведена сравнительная оценка эффективности различных детектирующих реагентов с точки зрения предела обнаружения и различий в окраске хроматографических зон для разных рядов тритерпеноидов.
2. Показано, что наиболее эффективными являются детектирующие реагенты на основе фосфорновольфрамовой кислоты с добавками ароматических альдегидов.

3. Оценка интенсивности окраски, цвета и оттенка хроматографических пятен и их изменения в процессе проявления хроматограмм позволяет сделать предварительные выводы о природе агликонной части гликозидов.

Список литературы

1. Гришковец В. И. Тритерпеновые гликозиды аралиевых: выделение, установление строения, биологическая активность и хемотаксономическое значение / В. И. Гришковец. – Автореф. дис. ... д-ра хим. наук. – Одесса. – 2004. – 36 с.
2. Кирхнер Ю. Тонкослойная хроматография в 2 т. Т. 1 / Ю. Кирхнер. – М.: Мир, 1981. – 616 с.
3. Яковишин Л. А. Детектирующие реагенты для ТСХ тритерпеновых гликозидов / Л. А. Яковишин // Химия природ. соедин. – 2003. – № 5. – С. 419–420.
4. Яковишин Л. А. Использование нитрата уранила и *para*-оксибензальдегида для обнаружения тритерпеновых гликозидов при хроматографическом анализе / Л. А. Яковишин // Ученые записки Таврического национального университета им. В. И. Вернадского. Сер. «Биология, химия». – 2005. – Т. 18 (58), № 2. – С. 145–148.
5. Яковишин Л. А. Использование гетерополикислот для ТСХ-анализа тритерпеновых гликозидов / Л. А. Яковишин, В. И. Гришковец // Химия природ. соедин. – 2006. – № 2. – С. 196–197.
6. Xiong Q. The Liebermann-Burchard reaction: sulfonation, desaturation, and rearrangement of cholesterol in acid / Q. Xiong, W. K. Wilson, J. Pang // Lipids. – 2007. – Vol. 42, № 1. – P. 87–96.
7. Burke R. W. Mechanisms of the Liebermann-Burchard and Zak color reactions for cholesterol / R. W. Burke, B. I. Diamondstone, R. A. Velapoldi [et al.] // Clinical Chemistry. – 1974. – Vol. 20, № 7. – P. 794–801.

DETECTION REAGENTS FOR TRITERPENE GLYCOSIDES OF ARALIACEAE PLANTS

Grishkovets V. I.¹, Yakovishin L. A.²

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

²*Sevastopol State University, Sevastopol, Russia*

E-mail: vladgri@ukr.net

A comparative evaluation of the effectiveness of various detecting reagents was carried out in terms of detection limit and differences in the coloration of chromatographic zones for different triterpenoid series. It was shown that the most effective detecting reagents are those based on phosphotungstic acid with the addition of aromatic aldehydes (*para*-hydroxybenzaldehyde and vanillin) and sulfuric acid.

It was demonstrated that the spots of glycosides from the β -amyrin series – namely oleanolic acid, echinocystic acid, and erythrodiol – are stained pink, whereas the spots of glycosides of hederagenin, caulophyllogenin, and gypsogenin appear more slowly, initially displaying a brownish color and after a few minutes acquiring a stable blue or blue-violet hue. Analysis of the structural differences of these aglycones reveals that the presence of a substituent at the methyl group (C-23) causes the color change from pink to blue-violet. This same pattern is observed for the studied glycosides of the α -amyrin

series (23-hydroxyursolic acid) and the lupane series (23-hydroxybetulinic acid and 23,27-dihydroxybetulinic acid), while the addition of hydroxyl groups in other positions of the aglycone portion leads only to minor changes in the color hue of the spots.

The presence of an additional 20(29)-double bond in the aglycones of 30-nortriterpenoids results in a significant increase in color intensity and a change in hue. Thus, glycosides of 30-noroleanolic acid develop an intense purple color, while glycosides of 30-norhederagenin exhibit an intense blue color upon detection.

Glycosides of triterpenoids from the α -amyrin series have chromatographic zone colors that are distinctly different in hue compared to those of the β -amyrin series. Specifically, spots of ursolic acid glycosides, unlike those of oleanolic acid, develop a pronounced brick-red hue, and glycosides of 23-hydroxyursolic acid, unlike their isomeric counterparts of hederagenin, develop a more intense violet hue. An interesting feature of glycosides from the lupane series is that their chromatographic zones initially appear yellow-orange and only later acquire pink or violet shades. Chromatographic zones of glycosides from the dammarane series, when revealed with phosphotungstic acid-based reagents, exhibit only pink shades, as they always lack a hydroxyl group at C-28, despite structural differences in their aglycones.

Keywords: detection reagents, TLC, phosphotungstic acid, triterpene glycosides, Araliaceae.

References

1. Grishkovets V. I. Triterpene glycosides of *Araliaceae*: isolation, structure determination, biological activity and chemotaxonomic significance, *Author's abstract of dissertation for academic degree of doctor of chemical sciences*, 36 p. (Odessa, 2004). (in Ukr.).
2. Kirchner J. G., *Thin-layer chromatography*, in 2 vol., Vol. 1, 616 p. (Mir, Moscow, 1981). (in Russ.).
3. Yakovishin L. A., Developers for TLC of triterpene glycosides, *Chemistry of Natural Compounds*, **5**, 419 (2003) (in Russ.).
4. Yakovishin L. A., Use of uranyl nitrate and para-hydroxybenzaldehyde for the detection of triterpene glycosides in chromatographic analysis, *Scientific Notes of Taurida V. I. Vernadsky National University. – Series: Biology, chemistry*, **18** (2), 145 (2005). (in Russ.).
5. Yakovishin L. A., Grishkovets V. I., Use of heteropolyacids for TLC analysis of triterpene glycosides, *Chemistry of natural compound*, **2**, 196 (2006). (in Russ.).
6. Xiong Q., Wilson W. K., Pang J., The Liebermann-Burchard reaction: sulfonation, desaturation, and rearrangement of cholesterol in acid, *Lipids*, **42** (1), 87 (2007).
7. Burke R. W., Diamondstone B. I., Velapoldi R. A., Menis O., Mechanisms of the Liebermann-Burchard and Zak color reactions for cholesterol, *Clinical Chemistry*, **20** (7), 794 (1974).

УДК 581.5

DOI 10.29039/2413-1725-2025-11-2-352-358

ГОДОВАЯ ТЕРМИЧЕСКАЯ ЗАВИСИМОСТЬ ЭМИССИИ ЛЕТУЧИХ ВЕЩЕСТВ РАСТЕНИЙ РОДА JUNIPERUS И ИХ КОМПОНЕНТНЫЙ СОСТАВ

Калеух А. В.¹, Ходаков Г. В.^{1, 2}, Гусев А. Н.²

¹ФГАОУ ВО «Херсонский технический университет», Геничesk, Россия

²ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет» имени В. И. Вернадского, Симферополь, Россия

E-mail: gennadii-hodakov@mail.ru

Приводится термическая зависимость эмиссии летучих веществ хвойных растений двух видов рода *Juniperus*: *J. isophyllos* и *J. foetidissima*. Наглядно графически показано, что от максимального расчетного значения суммы эффективных температур по декадам каждого месяца за 2023 г максимальная эмиссия смещена на четыре декады к концу вегетации и приходится на период созревания шишкочагод для обоих растительных видов. Приводится компонентный состав летучих выделений растений, в которых обнаружены моно- и сесквитерпеновые соединения с преобладанием α-пинена и цедрола.

Ключевые слова: род *Juniperus*, эмиссия летучих веществ, сумма эффективных температур, хромато-масс-спектрокопия, моно- и сесквитерпеновые вещества.

ВВЕДЕНИЕ

Существуют литературные данные качества и количества летучих выделений растений вида *J. foetidissima*, сконцентрированных в виде эфирных масел из веток, хвои, шишкочагод и семян, причем, качество масла определялось для разных регионов произрастания растений (Турции, Греции и России) [1, 2]. Летучие вещества, собранные в виде эфирных масел из растений рода *Juniperus*, обладают антибактериальной, фунгицидной и антивирусной активностями, могут быть использованы как биопестициды [3]. При этом отсутствуют данные по выявлению ежегодных эмиссий летучих веществ растениями рода *Juniperus* в зависимости от абиотических факторов и в первую очередь температуры.

Целью представленной работы является выявление годовой термической зависимости эмиссии биологических летучих органических соединений (БЛОС) для двух видов растений рода *Juniperus*, произрастающих в Крыму (район Никитского ботанического сада) с установлением их компонентного состава.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Отобрано по 100 г хвои двух видов рода можжевельник (*Juniperus isophyllos* и *J. foetidissima*). Каждый из полученных объектов подвергли гидродистилляции с обратным холодильником и ловушкой Гинзберга. Исследования проводили в трехкратной повторности с расчетом средней величины и среднего квадратичного отклонения на влажное и сухое растительное сырье. Метеорологические данные за этот период вегетации были предоставлены Метеостанцией «Никитский сад». Разделение на компоненты летучих выделений, собранных в виде эфирных масел, проводили масс-хроматографическим методом на приборе Agilent Technologies 6890 (США) с 5973 масс-спектрометром и базой данных NIST 02. Условия хроматографии: кварцевая колонка (30 м x 0,25 мм). Газ-носитель гелий, расход газа-носителя 1 мл/мин, температура испарителя 249 °С, температурная программа с 50 до 230 °С (3 °С/мин), объем вводимой пробы 0,1 мкл.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

В течении вегетационного периода 2023 года были собраны БЛОС в виде эфирных масел из хвои для двух растительных видов рода *Juniperus* (*J. isophyllos* и *J. foetidissima*), произрастающих в районе Государственного Никитского ботанического сада.

Содержание БЛОС из свежесобранного растительного сырья определялось в трехкратной повторности, затем проведен расчет среднего значения и среднеквадратичного отклонения на влажное и сухое сырье.

В представленной работе приводятся данные исследований годовой эмиссии БЛОС (табл. 1) в зависимости от расчетной суммы эффективных температур (СЭТ) по декадам каждого месяца за исключением зимних (январь и февраль).

Таблица 1

Содержание БЛОС хвои растений рода *Juniperus* на влажное и сухое растительное сырье

№ п/п	Время сбора образцов	Содержание БЛОС на влажное сырье (%)	Влажность растительного сырья (%)	Содержание БЛОС на сухое сырье (%)
<i>J. isophyllos</i> (М.высокий)				
1	03.04.2023	0,03±0,01	36,10±1,34	0,04±0,02
2	09.07.2023	0,22±0,04	36,24±1,27	0,30±0,05
3	08.10.2023	0,34±0,02	48,16±2,05	0,50±0,03
4	30.12.2023	0,26±0,02	45,21±2,11	0,38±0,04
<i>J. foetidissima</i> (М.вонючий)				
5	20.04.2023	0,17±0,01	46,20±2,13	0,25±0,02
6	25.07.2023	0,18±0,03	44,17±1,65	0,29±0,05
7	08.10.2023	0,35±0,03	46,04±2,07	0,51±0,04
8	30.12.2023	0,26±0,02	41,13±1,43	0,37±0,03

В результате выяснено, что с начала весны, все лето и до начала октября общее количество БЛОС для обоих растительных видов непрерывно растет. В первую декаду октября, приходящуюся на период созревания шишкоягод, наблюдается наибольшая эмиссия БЛОС. Затем количество выбросов БЛОС неуклонно сокращается. На основании метеорологических данных были рассчитаны СЭТ по декадам каждого месяца с марта по декабрь 2023 года, результаты сведены в таблицу 2.

Таблица 2

Суммы эффективных температур по месячным декадам 2023 г

Декады месяца	Месяцы и порядковые номера месячных декад										
	Март 1,2,3	Апрель 4,5,6	Май 7,8,9	Июнь 10,11,12	Июль 13,14,15	Август 16,17,18	Сент 19,20,21	Октябрь 22,23,24	Ноябрь 25,26,27	Декабрь 28,29,30	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	11	12	
I	74,5	102,4	128,4	204,3	247,7	274,1	214,0	174,3	164,2	96,3	
II	81,5	121,6	170,7	215,2	240,6	289,3	217,9	131,8	118,9	78,0	
III	81,3	116,6	168,7	225,5	234,7	279,2	229,1	180,6	90,0	80,1	

Годовую эмиссию БЛОС и ход СЭТ совместили на графике (рис. 1). Прослеживается совпадение пологости возрастания и снижения кривой количества выбросов БЛОС для обоих видов с кривой роста и снижения СЭТ. Несмотря на то, что пик СЭТ приходится на середину августа, наблюдается смещение максимума выбросов БЛОС на четыре декады от пика СЭТ в сторону конца вегетации. Зависимость выбросов летучих веществ хвои от СЭТ наглядна и очевидна (рис. 1).

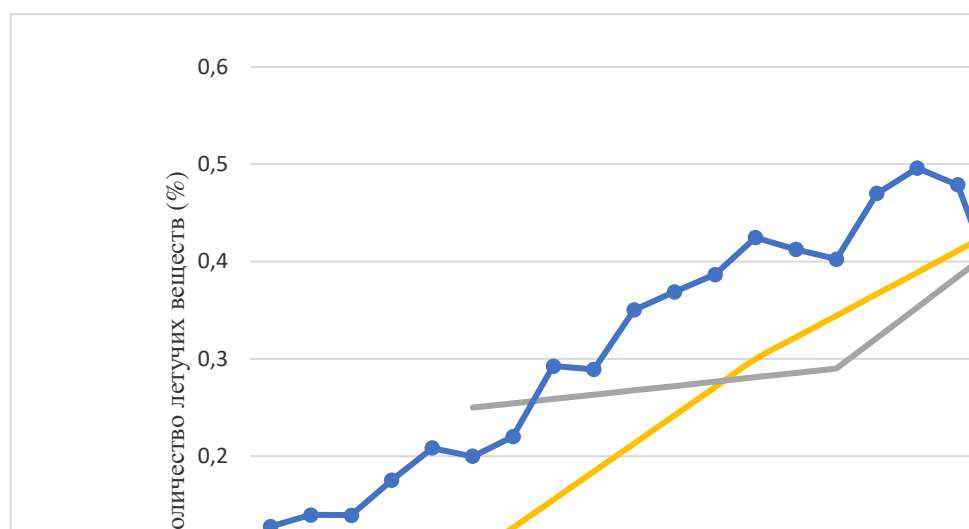


Рис. 1. Зависимость выбросов БЛОС растениями рода *Juniperus* от расчетной СЭТ по декадам месяцев в 2023 году.

БЛОС разделили на компоненты, полученные данные представлены в таблице 3. В летучих выделениях *J. isophyllos* (М. высокий) выявлено 32 компонента (табл. 3), среди них 2 ациклических с общим содержанием 2,23 %, 7 – моноциклических с общим содержанием 3,30 % и 12 – бициклических с общим содержанием 60,18 %, а сесквитерпенов – 11 с общим содержанием 23,01 %.

В летучих выделениях *J. foetidissima* (М. вонючий) выявлено 34 компонента (табл. 3), среди них ациклических монотерпенов – 2 с общим содержанием 1,09 %, моноциклических – 7 с общим содержанием 3,20 %, бициклических – 10 с общим содержанием 31,54 % и один трициклический – 0,1 %, а сесквитерпенов – 14 с общим содержанием 51,1 %.

Для обоих видов преобладающими являются два компонента: бициклический монотерпен α -пинен и сесквитерпен - цедрол, причем их содержание для каждого вида различно. *J. isophyllos* и *J. foetidissima* содержат соответственно 54,12 % и 26,82 % α -пинена, а также 17,44 % и 38,87 % цедрола.

Таблица 3
Расшифровка сигнатуры БЛОС хвои растений рода *Juniperus*

№ п/п	Компоненты	<i>J. isophyllos</i>		<i>J. foetidissima</i>	
		w, %	t, min	w, %	t, min
1	2	3	4	5	6
Монотерпены					
Ациклические					
1	β -Мирцен	2,02	5,55	1,00	5,55
2	Линалоол	0,21	8,29	0,09	8,30
	Сумма	2,23		1,09	
Моноциклические					
3	α -Фелландрен	0,08	6,01	–	–
4	α -Терпинен	0,09	6,27	0,09	6,27
5	p-Цимен	0,43	6,42	0,45	6,42
6	Лимонен	1,58	6,58	1,08	6,59
7	β -Фелландрен	–	–	0,57	6,63
8	γ -Терпинен	0,88	7,29	0,62	7,30
9	Терпинен-4-ол	0,09	10,78	–	–
10	α -Терпинеол	0,15	11,18	0,19	11,19
11	Пиперитон	–	–	0,20	12,98
	Сумма	3,30		3,20	
Бициклические					
12	α-Пинен	54,12	4,64	26,82	4,60
13	α -Фенхен	0,13	4,85	–	–
14	Камфен	0,72	4,89	0,20	4,90
15	β -Пинен	0,87	5,45	0,41	5,46
16	Фенхон	1,97	8,08	1,10	8,09

Продолжение таблицы 2

1	2	3	4	5	6
17	α -Камфоленаль	0,12	9,11	0,40	9,12
18	trans-Пинокарвеол	0,32	9,64	0,72	9,65
19	Камфора	1,17	9,74	1,15	9,75
20	Камфен гидрат	0,06	10,03	–	–
21	Пинокарвон	0,10	10,20	0,19	10,21
22	Миртенол	–	–	0,11	11,30
23	Фенхилацетат	0,11	11,93	–	–
24	Борнил ацетат	0,49	13,99	0,44	13,99
	Сумма	60,18		31,54	
Трициклические					
25	Трициклен	–	–	0,10	4,40
	Сумма	0		31,64	
	Общая сумма	65,71		35,93	
Сесквитерпены					
26	α -Копаен	–	–	0,14	17,03
27	α -Фарнезен	0,18	17,29	–	–
28	β -Фунебрен	2,07	18,28	2,19	18,28
29	Цедрен	–	–	0,70	18,52
30	cis-Туйопсен	0,44	18,83	0,37	18,84
31	(E)- β -Фернезен	0,13	19,20	0,34	19,22
32	Гумулен	0,11	19,44	0,20	19,43
33	γ -Мууролен	0,19	20,01	–	–
34	Гермакрин Д	0,97	20,19	0,68	20,20
35	cis-Муурол-4(15),5-диен	–	–	0,44	20,53
36	Кубебол	–	–	1,00	20,60
37	α -Аласкен	0,28	21,11	–	–
38	Эпикубебол	–	–	1,57	21,19
39	δ -Кадинен	–	–	0,86	21,31
40	(E)- γ -Бисаболен	0,13	21,49	–	–
41	Аллоцедрол	1,07	23,52	2,89	23,53
42	Цедрол	17,44	23,94	38,87	24,00
43	Эпикубенол	–	–	0,85	24,41
	Общая сумма	23,01		51,10	

Примечание: t – время удержания, мин; w – содержание, %.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Выявлена термическая зависимость эмиссии БЛОС растениями двух видов рода *Juniperus* (*J. isophyllos* и *J. foetidissima*) крымской флоры в течении вегетации.
2. Установлено, что для растений исследованных видов годовой пик выбросов БЛОС зависит от пиковых значений максимальных СЭТ, но со смещением во

времени на четыре декады в сторону окончания вегетации и приходится на период созревания шишкочкогод.

3. Этот временной период оказался оптимальным для сбора БЛОС в виде эфирных масел из растений рода *Juniperus* для последующего практического применения.
4. БЛОС растений рода *Juniperus* включает 43 моно- и сесквитерпеновых компонента, среди которых доминирующими являются бициклический монотерпен α -пинен и сесквитерпен цедрол.

Список литературы

1. Tunalier Z. The Composition of essential oils from various of *Juniperus foetidissima* / Z. Tunalier, N. Kilimer, K. H. C. Baser // Chemistry of Natural Compounds. – 2002. – Vol. 38, № 1. – P. 43–47.
2. Gedik O. Determination of and Cones essential oil components of *Juniperus excelsa* subsp. *excelsa* and *Juniperus foetidissima* Taxa / O. Gedik, Y. Z. Kocabas, O. Cinar // Journal of Applied Sciences. – 2022. – Vol. 7, № 3. – P. 696–702.
3. Semerdjieva I. Biological activity of essential oils of four *Juniperus* species and their potential as biopesticides / I. Semerdjieva, V. D. Zheljazkov, T. Radoukova [at all.] / Molecules. – 2021. – Vol. 26, № 21. – P. 6358. doi.org/10.3390/molecules26216358

ANNUAL THERMAL DEPENDENCE OF VOLATILE SUBSTANCES EMISSION FROM PLANTS OF THE GENUS *JUNIPERUS* AND THEIR COMPONENT COMPOSITION

Kaleuch A. V.¹, Khodakov G. V.^{1,2}, Gusev A. N.²

¹*Kherson Technical University, Genichsk, Russia*

²*V. I. Vernadsky Crimean Federal University, Simferopol, Russia*

E-mail: gennadii-hodakov@mail.ru

The thermal dependence of the emission of volatile substances of coniferous plants of two species of the genus *Juniperus* is given: *J. isophyllos* and *J. foetidissima*. 100 g of needles of two species of the genus *Juniper* were collected. Each of the obtained objects was subjected to hydrodistillation with a reflux condenser and a Ginsberg trap. The studies were conducted in triplicate with calculation of the average value and standard deviation for wet and dry plant materials. Separation of volatile emissions collected as essential oils into components was carried out using mass chromatography. Meteorological data for this vegetation period were provided by the Nikitsky Garden Meteorological Station.

Volatile substances collected in the form of essential oils from plants of the genus *Juniperus* have antibacterial, fungicidal and antiviral activities and can be used as biopesticides.

It is clearly shown graphically that from the maximum calculated value of the sum of effective temperatures by decades of each month for 2023, the maximum emission is shifted by four decades and falls on the period of ripening of cones for both plant species.

This time period turned out to be optimal for collecting BVOC in the form of essential oils from plants of the genus *Juniperus* for subsequent practical use.

In the volatile secretions of *J. isophyllos*, 32 components were identified, including 2 acyclic with a total content of 2,23 %, 7 monocyclic with a total content of 3,30 %, and 12 bicyclic with a total content of 60,18 %, and 11 sesquiterpenes with a total content of 23,01 %.

In the volatile secretions of *J. foetidissima*, 34 components were identified, among which there were 2 acyclic monoterpenes with a total content of 1,09 %, 7 monocyclic with a total content of 3,20 %, 10 bicyclic with a total content of 31,54 % and one tricyclic with 0,10 %, and 14 sesquiterpenes with a total content of 51,10 %.

For both species, two components are predominant: the bicyclic monoterpene α -pinene and the sesquiterpene cedrol, with their content varying for each species. *J. isophyllos* and *J. foetidissima* contain 54,12 % and 26,82 % α -pinene, respectively, and 17,44 % and 38,87 % cedrol.

Keywords: genus *Juniperus*, emission of volatile substances, sum of effective temperatures, chromatograph mass spectroscopy, mono- and sesquiterpene substances.

References

1. Tunalier Z., Kilimer N., Baser K. H. C., The Composition of essential oils from various of *Juniperus foetidissima*, *Chemistry of Natural Compounds*, **38**, (1), 43 (2002).
2. Gedik O., Kocabas Y. Z., Cinar O., Determination of and Cones essential oil components of *Juniperus excelsa* subsp. *excelsa* and *Juniperus foetidissima* Taxa, *Journal of Applied Sciences*, **7**, (3), 696 (2022).
3. Semerdjieva I., Zheljazkov V. D., Radoukova T., Dincheva I., Piperkova N., Maneva V., Astatkie T., Kačániová M., Biological activity of essential oils of four *Juniperus* species and their potential as biopesticides, *Molecules*, **26**, (21), 6358 (2021).

УДК 547.917:66.081:543.42

DOI 10.29039/2413-1725-2025-11-2-359-369

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОПТИМАЛЬНЫХ УСЛОВИЙ ОБРАЗОВАНИЯ ПАВ-ПОЛИЭЛЕКТРОЛИТНОЙ ПЛЁНКИ ПРИ ПОЛУЧЕНИИ МИКРОКАПСУЛ ХИТОЗАНА

Русяев С. В.¹, Ткаченко Э. В.², Яковичин Л. А.², Гришковец В. И.³

¹*ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский Томский политехнический университет»,
Томск, Россия*

²*ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет», Севастополь, Россия*

³*Институт биохимических технологий, экологии и фармации (структурное подразделение)
ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет им. В. И. Вернадского», Симферополь, Россия
E-mail: tkelly@rambler.ru*

Работа посвящена определению оптимальных условий получения микрокапсул хитозана с оболочкой хитозан–додецилсульфат. Свойства оболочки экстраполировались из результатов, полученных при изучении характеристик твёрдого комплекса хитозан–додецилсульфат. Методами рентгенофлуоресцентного анализа и потенциометрического титрования изучены выход и состав твёрдого комплекса при различных соотношениях реагентов. Методом вольтамперометрии показана сорбционная способность микрокапсул к ионам свинца в течение 30 мин контакта. Доказано, что полученные микрокапсулы являются более эффективным сорбентом, чем индивидуальный комплекс хитозан–додецилсульфат.

Ключевые слова: хитозан, додецилсульфат натрия, инкапсуляция, сорбция, тяжёлые металлы, инверсионная вольтамперометрия, рентгенофлуоресцентный анализ, потенциометрическое титрование.

ВВЕДЕНИЕ

Процесс инкапсуляции представляет собой введение одного вещества в другое. Он является актуальным методом для транспорта веществ в те системы, в которых они теряют свои полезные свойства или их эффект должен быть пролонгирован. Данные особенности микрокапсул достигаются за счёт формирования на их поверхности протектирующего слоя, обладающего специфическими характеристиками, обусловленными природой составляющих её веществ, условиями образования самой плёнки и её структурой [1]. Изучение свойств защитной плёнки помогает сформировать критерии эффективной инкапсуляции и определить область использования микрокапсул при подборе соответствующих веществ, их концентрации и условий образования.

Перспективным методом является инкапсулирование с использованием полиэлектролитов. Так, полисахарид хитозан, обладающий рядом полезных свойств [2–4], относится к природным полиэлектролитам, позволяющим включать

различные органические молекулы и накапливать ионы тяжёлых металлов. Это определяет его использование в качестве сорбента, однако растворимость в кислых средах ограничивает применение хитозана в твёрдом виде [5].

Электростатическое взаимодействие между полиэлектролитом и поверхностно-активным веществом приводит к образованию комплекса ПАВ–полиэлектролит, который, в зависимости от условий образования, может находиться как в растворимом, так и в нерастворимом виде. Установлено, что материал, полученный при взаимодействии этих веществ, как и сам хитозан, обладают сорбционными свойствами [6]. Таким образом, определение условий образования ПАВ–полиэлектролитной плёнки (соотношение компонентов в системе и в самом материале) позволит установить выход вещества и его максимальную сорбционную эффективность.

Распространённым методом получения микрокапсул является капельное добавление внедряемого полиэлектролита в раствор, содержащий ПАВ [7]. Известно, что микрокапсулы, полученные данным способом, могут использоваться для доставки полезных веществ в организм [7]. На основании известных свойств материала защитной плёнки предполагается, что помимо транспортировки также возможно концентрирование веществ из внешней среды в самой микрокапсуле.

С целью поиска эффективных сорбентов нами получены микрокапсулы хитозана с оболочкой из хитозана с додецилсульфатом натрия (DSNa) и изучена их сорбционная способность к ионам свинца(II).

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Для получения ПАВ-полиэлектролитного комплекса был использован хитозан в виде порошка ($M = 200$ кДа, СДА 83 %; ООО Биопрогресс, Россия). В качестве анионного ПАВ использован DSNa, представленный в виде гранул (Tainolin AS-95N, Taiwan NJC Corp., Тайвань).

Для приготовления растворов навеску хитозана растворяли в 0,1 М растворе HCl. Концентрация солянокислых растворов хитозана составляла 0,05 осново-моль/л.

Концентрацию DSNa, необходимую для приготовления смеси, определяли из соотношения N – отношения осново-мольных концентраций реагентов в смеси

$$N = \frac{c_{\text{DSNa}}^{\text{см}}}{c_{\text{хитозана}}^{\text{см}}}, \quad (1)$$

где $c_{\text{DSNa}}^{\text{см}}$, $c_{\text{хитозана}}^{\text{см}}$ – мольные концентрации ПАВ и хитозана в смеси, осново-моль/л.

Модельные растворы, содержащие ионы свинца, готовились из ГСО (водный раствор нитрата свинца(II) с концентрацией 5 мг/л).

Методика определения оптимальных условий образования нерастворимой плёнки. Для нахождения условий, при которых степень взаимодействия между веществами будет максимальной, эксперимент проводили при различных значениях параметра $N = 0,1; 0,5; 1; 2$.

Каждый образец ПАВ-полиэлектролитного комплекса получали медленным покапельным (1–2 капли в минуту) добавлением раствора DSNa объёмом 10 мл в солянокислый раствор хитозана аналогичного объёма при постоянном перемешивании. Концентрация растворов DSNa выбиралась исходя из заданных значений параметра N . Полученные растворы с осадками выдерживали 24 ч.

Осадки из смесей отделяли центрифугированием (5000 об/мин в течение 30 мин). С целью удаления остаточных включений HCl свежевыделенный осадок промывался раствором NaOH концентрацией 0,001 М и спирто-водяной смесью с соотношением 1:1.

С целью удаления остатков влаги осадки высушивали в сушильном шкафу при температуре 60 °С в течение 24 ч. Массу высушенных комплексов определяли на аналитических весах. В дальнейшем они были использованы для изучения состава нерастворимого комплекса.

Фильтрат, полученный после центрифугирования, использовался при титровании в качестве определяемого вещества.

Наибольший выход нерастворимого комплекса при наименьших затратах является оптимумом. Параметром, характеризующим достижение оптимума, является суммарный состав комплекса

$$\varphi = \frac{\varphi_{\text{ос}} K_{\text{ос}} + \varphi_{\text{р}} K_{\text{р}}}{100}, \quad (2)$$

где $\varphi_{\text{ос}}$ и $\varphi_{\text{р}}$ – состав комплексов хитозан–DSNa в фазе осадка и раствора соответственно; $K_{\text{ос}}$ и $K_{\text{р}}$ – степень перехода комплекса в осадок и в раствор соответственно.

Определение значений слагаемых в уравнении (2) при различном отношении концентраций компонентов в смеси N позволяет выявить минимальное соотношение компонентов, при которых значение φ равно единице.

Для определения состава нерастворимого ПАВ–полиэлектролитного комплекса использовались его высушенные образцы. Методом рентгенофлуоресцентного анализа определялись грамм-атомные соотношения серы и азота – молекул, по которым можно сравнить степень замещения хлорид-иона на додецилсульфат-ион. Исследования проводили с помощью рентгеноспектрального анализатора Спектроскан Макс GVM (ООО НПО СПЕКТРОН, Россия). Для определения качественного и количественного содержания элементов в образце пробу измельчали до однородного состояния и усредняли методом квартования. Затем готовили подложку из сухой борной кислоты под давлением 2000 кг, после этого наносили подготовленный образец и прессовали под давлением 7000 кг. Обработка спектров излучения осуществлялась с помощью программы Element Identification (Phenom), позволяющая использовать электронный микроскоп Phenom ProX для качественного и количественного анализа образцов.

Выход нерастворимого комплекса определялся в соответствии с формулой

$$K_{\text{ос}} = \frac{q_{\text{ос}} \cdot 100}{m_{\text{ос}} \cdot A}, \quad (3)$$

где q_{oc} – выход нерастворимого комплекса, г; m_{oc} – молекулярная масса элементарного звена нерастворимого комплекса; A – количество хитозана в растворе, моль.

Значение m_{oc} определялось по правилу аддитивности

$$m_{oc} = 427\varphi_{oc} + (1 - \varphi_{oc}) \cdot 198,5. \quad (4)$$

Выход растворимого комплекса определялся по соотношению

$$K_p = 1 - K_{oc}. \quad (5)$$

Наличие непрореагировавших молекул хитозана с молекулами DSNa в растворе количественно устанавливали методом потенциометрического титрования приборе Ионмер И-160 МИ (НПО Измерительная техника, Россия). Несмотря на ограниченную применимость, наблюдаемые потенциометрические скачки (пики) способны дать результаты для определения концентрации непрореагировавшего хитозана в растворах [8]. В качестве определяемого вещества использовались аликвоты центрифугатов объёмом 20 мл. Титрантом выступал водный раствор NaOH концентрацией 0,025 моль/л. Первый потенциометрический скачок отвечает за титрование избытка соляной кислоты в центрифугате. Второй скачок сигнала является точкой эквивалентности при титровании солянокислого хитозана, в которой будут оттитрованы все молекулы хитозана, находящиеся в растворе. Таким образом, количество хитозана, находящегося в растворе будет равно

$$A_2 = \frac{\Delta V_{NaOH} \cdot C_{NaOH}}{A}, \quad (6)$$

где ΔV_{NaOH} – объём титранта, пошедший на титрование солянокислого хитозана, мл.

Состав растворимого комплекса находился из соотношения

$$\varphi_p = \frac{K_p - A_2}{K_p}. \quad (7)$$

Методика приготовления плёнки с оптимальными условиями использовалась для дальнейшего получения микрокапсул (рис. 1).

Методика анализа сорбционной способности микрокапсул. Хитозан, капсулированный комплексом хитозан–DSNa получали методом капельного добавления 20 мл стандартного раствора хитозана концентрацией 0,05 основ-моль/л к смеси 20 мл раствора DSNa концентрацией 0,2 моль/л и 20 мл раствора нитрата свинца(II) концентрацией 1000 мкг/л. Над поверхностью смеси находился слой гептана объёмом 30 мл, выполняющий роль эмульгатора. Время контакта раствора с микрокапсулами после окончания образования последних равно 30 мин. Процесс образования проводился при постоянном перемешивании, при этом скорость перемешивания была подобрана с учётом того, чтобы оболочка микрокапсул не порвалась. Отбор фильтрата проводился через канал с фильтром согласно схеме.

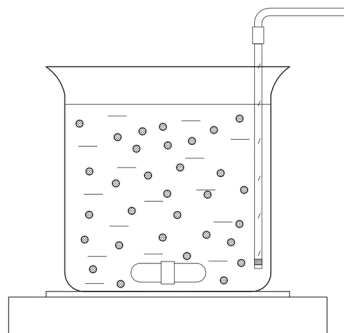


Рис. 1. Схема получения микрокапсул хитозана и сорбции ионов Pb(II).

Полученная после фильтрации смесь подвергалась вольтамперометрическому анализу. Для этого в анализируемую ячейку отбирали 20 мл смеси и 5 мл концентрированного фоновых раствора, содержащего ионы Hg^{2+} . Измерение проводили на вольтамперометрическом анализаторе Экотест-ВА (ООО Эконикс-Эксперт, Россия) на вращающемся дисковом углесталловом электроде методом анодной инверсионной вольтамперометрии. Диапазон развёртки потенциала: (-700) – (-250) мВ; модуляция – 30 мВ/с. Время очистки и накопления – 60 с.

Количество свинца до сорбции определяли на исходном модельном растворе нитрата свинца концентрацией 500 мкг/л в аналогичных условиях. Концентрацию ионов свинца до и после сорбции определяли по площади пиков на вольтамперограмме.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Анализ рентгенофлуоресцентных спектров приведён в виде таблицы 1, отношение φ_{oc} определялось из мольного соотношения компонентов.

Таблица 1

Содержание серы и азота в комплексе хитозан–DSNa

Мольное соотношение компонентов смеси N	$\omega(\text{S})$, %	$\omega(\text{N})$, %	$\omega(\text{S})$, мол. доля	$\omega(\text{N})$, мол. доля	φ_{oc}
0,1	7,82	4,01	3,95	4,63	0,85
0,5	5,09	2,26	2,5	2,54	0,98
1	6,01	3,2	3,83	3,66	1,05
2	9,85	4,13	5	4,79	1,04

С увеличением мольного отношения DSNa/хитозан состав нерастворимого комплекса приближается к стехиометрическому. Значение φ_{oc} достигает единицы при значениях N , равных 1 и 2, то есть при данном отношении компонентов к

одному элементарному звену хитозана присоединяется одна молекула ПАВ. Превышения значения указывает на наличие включений мицелл DSNa в структуре нерастворимого комплекса [9].

Массовый выход осадка, количество хитозана в растворе, молярная масса элементарного звена нерастворимого комплекса и его выход приведены в таблице 2.

Таблица 2

Массовые характеристики и выход нерастворимого комплекса

N	$q_{\text{ос}}, \text{г}$	$A, \text{осново-моль}$	$m_{\text{ос}}, \text{г/осново-моль}$	$K_{\text{ос}}, \%$
0,1	0,031	0,0005	393,4	16
0,5	0,108	0,0005	423,4	51
1	0,207	0,0005	437,6	95
2	0,220	0,0005	437,0	100

Рост массы осадка по мере роста соотношения ПАВ-полиэлектrolит свидетельствует об увеличении связывания свободного хитозана в системе. При значении N , равного 2, наблюдается полное выпадение комплекса в осадок, выход максимален. Молекулярная масса также растёт с увеличением степени замещения. При данном значении N в растворе свободного хитозана не наблюдается, то есть выход растворимого комплекса равен нулю.

Потенциометрические кривые, полученные в ходе титрования смеси раствором NaOH приведены на рисунке 2. На рисунке 2 (а–в) наблюдается 2 потенциометрических пика, первый отвечает за титрование избытка соляной кислоты, второй – за титрование солянокислого хитозана. При росте числа N количество NaOH, затраченного на титрование хитозана уменьшается и при значении равном двум второго пика аналитического сигнала не наблюдается, что свидетельствует об отсутствии определяемых количеств полиэлектролита в смеси.

В таблице 3 приведены данные о составе растворимого и нерастворимого комплекса, по выходу нерастворимого комплекса, определению его элементного состава и результатам потенциометрического титрования. Из полученных значений следует, что хитозан полностью связывается DSNa и переходит в фазу осадка только при соотношении $N = 2$. Именно это соотношение ПАВ/полиэлектrolит является оптимальным и использовалось при получении микрокапсул.

Таблица 3

Влияние состава смесей хитозана на состав комплекса

N	$\varphi_{\text{ос}}$	$K_{\text{ос}}$	$K_{\text{р}}$	A_{II}	A_{III}	$\varphi_{\text{р}}$	φ
0,1	0,853	16	84	30	54	0,640	0,674
0,5	0,984	51	49	21,5	27,5	0,560	0,776
1	1,046	95	5	4,5	0,5	0,100	0,999
2	1,044	100	0	0	0	-	1,044

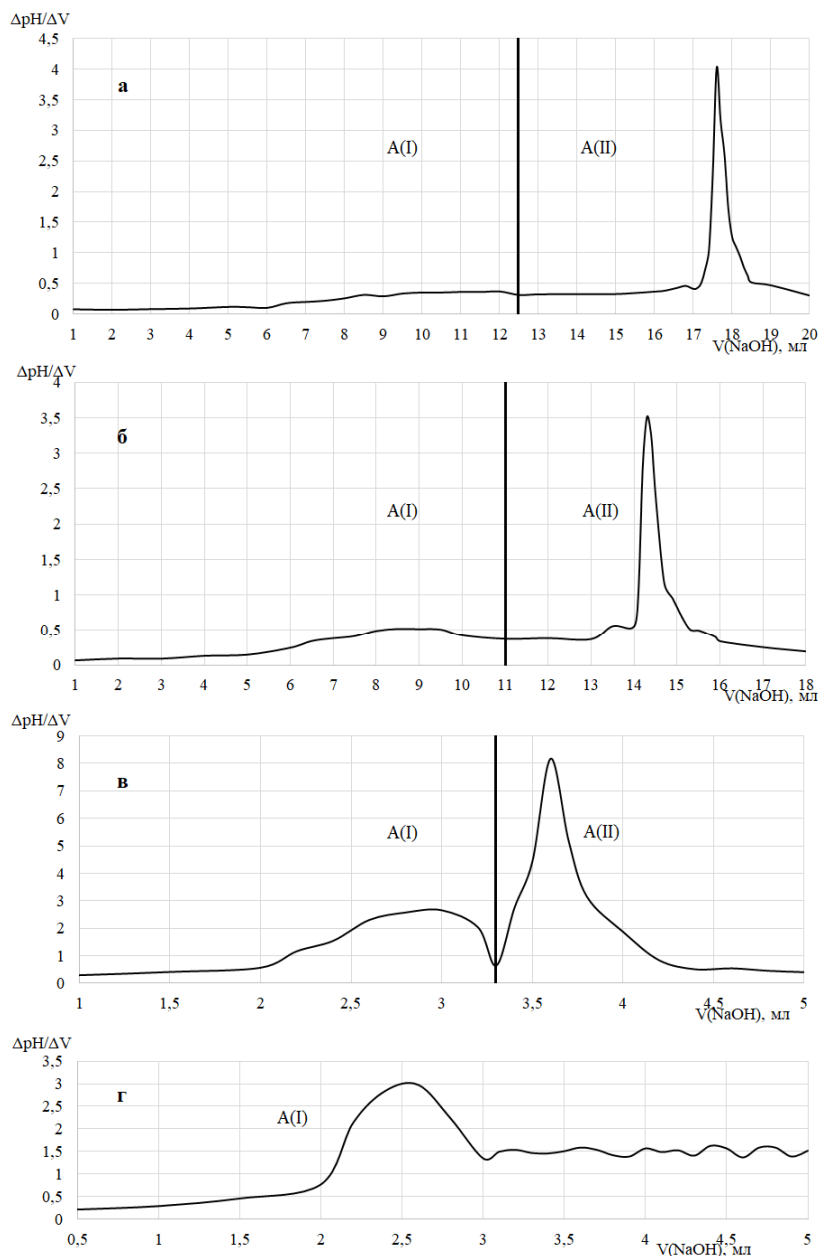


Рис. 2. Потенциометрические кривые, полученные в ходе титрования раствором NaOH центрифугатов хитозана–DSNa с значением N : а – 0,1; б – 0,5; в – 1; г – 2.

Аналитическими сигналами при определении сорбционных способностей микрокапсул являлись площади пиков анодного тока, пропорциональные высоте пиков тока, наблюдаемые при значениях потенциала от -470 мВ до -440 мВ.

Вольтамперные кривые модельных растворов катионов свинца до и после сорбции представлены на рисунке 3.

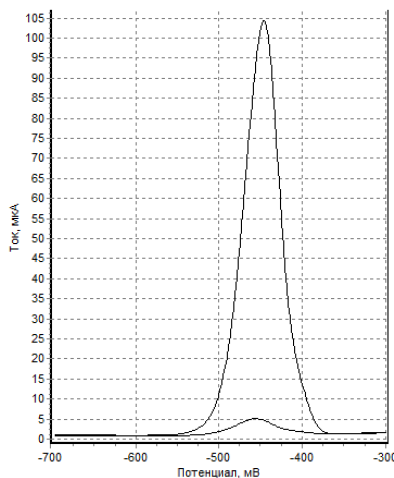


Рис. 3. Вольтамперограммы растворов нитрата свинца до и после сорбции ($C_{\text{Pb(II)}}=500$ мкг/л).

Концентрация ионов свинца после сорбции определялась по соотношениям площадей пиков тока

$$C_{\text{МК}} = \frac{C_0 \cdot S_0}{S_{\text{МК}}} . \quad (8)$$

Для корректной обработки вольтамперограммы производился пересчёт количества сорбента, который должен быть использован на 100 мл раствора. Массу сорбента, приходящуюся на 100 мл раствора, рассчитывали исходя из пропорции

$$m_{100} = \frac{100 \cdot m_{40}}{40} , \quad (9)$$

где m_{40} – масса сорбента, приходящаяся на 40 мл раствора, г.

Значение m_{40} определялось по соотношению

$$m_{40} = V \cdot C \cdot M , \quad (10)$$

где M – молярная масса элементарного звена хитозана, равная 163 г/моль.

С учётом пересчёта значение концентрации после контакта раствора с микрокапсулами находили по пропорции

$$C_{0,1} = \frac{C_{\text{МК}} \cdot m_{100}}{0,1} . \quad (11)$$

Полученное после вышеперечисленных действий значение концентрации ионов Pb^{2+} равно 80 мкг/л.

Таким образом, степень извлечения ионов свинца из водных растворов составляет 84 %. Сопоставляя этот показатель с самим материалом плёнки, можно прийти к выводу о наличии дополнительной сорбции, происходящей благодаря

проникновению ионов свинца через нерастворимую ПАВ-полиэлектrolитную плёнку. Значение степени извлечения сопоставимо со степенью извлечения активированным углем за данный промежуток времени [10]. Из этого следует, что в агрессивных средах, где требуется дальнейшее разделение фаз, хитозан может быть использован в качестве сорбента в виде микрокапсул, покрытых нерастворимой ПАВ-полиэлектrolитной плёнкой.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Определено отношение реагентов для получения нерастворимого комплекса с максимальным выходом, составляющее $N=2$. Показана зависимость состава комплексов от состава смесей солянокислых растворов хитозана и $DSNa$.
2. Методом покапельного добавления были получены микрокапсулы, которые использовались для определения сорбции ионов свинца из модельного раствора.
3. Установлено, что хитозан в микрокапсульной форме обладает дополнительной сорбционной активностью по сравнению с нерастворимым комплексом хитозан- $DSNa$. Она сопоставима с сорбционными способностями активированного угля.

Список литературы

1. Семкина О. А. Критерии оценки качественных и количественных показателей микрокапсул / О. А. Семкина, О. М. Белошапкина, М. А. Джавахян // Вопросы биологической, медицинской и фармацевтической химии. – 2021. – Т. 24, № 12. – С. 11–17.
2. Zargar V. A review on chitin and chitosan polymers: structure, chemistry, solubility, derivatives, and applications / V. Zargar, M. Asghari, A. Dashti // ChemBioEng Reviews. – 2015. – Vol. 2, № 3. – P. 204–226.
3. Yakovishin L. Development and IR spectroscopic analysis of composite materials based on poly(methyl methacrylate) and chitosan / L. Yakovishin, E. Tkachenko, Y. Tolstenko [et al.] // Materials Science Forum. – 2022. – Vol. 1065. – P. 145–154.
4. Yakovishin L. A. Composite materials based on dental acrylic plastic and chitosan / L. A. Yakovishin, E. V. Tkachenko // Chimica Techno Acta. – 2021. – Vol. 8, № 4. – 20218413.
5. Тарановская Е. А. Очистка сточных вод с применением хитозана / Е. А. Тарановская, Н. А. Собгайда, И. Н. Алфёров [и др.] // Вестник ОГУ. – 2015. – № 10. – С. 322–325.
6. Ткаченко Э. В. Изучение сорбционной способности комплекса хитозан-додецилсульфат натрия на примере сорбции ионов свинца / Э. В. Ткаченко, С. В. Русяев // Учёные записки Крымского федерального университета имени В. И. Вернадского. Биология. Химия. – 2023. – Т. 9 (75), № 2. – С. 268–275.
7. Ринодо М. ПАВ-полиэлектrolитные комплексы на основе производных хитина / М. Ринодо, Н. Р. Кильдеева, В. Г. Бабак // Российский химический журнал. – 2008. – Т. 52, № 1. – С. 84–91.
8. Вихорева Г. А. Комплексообразование в системе додецилсульфат натрия-хитозан / Г. А. Вихорева, В. Г. Бабак, Е. Ф. Галич [и др.] // Высокомолекулярные соединения. – 1997. – Т. 39, № 6. – С. 947–952.
9. Пышкина О. А. Полиэлектrolиты / О. А. Пышкина, О. А. Новоскольцева, А. А. Ярославов. – М.: МГУ, 2022. – 97 с.
10. Погорелов М. В. Сорбция ионов металлов материалами на основе хитозана / М. В. Погорелов, Е. В. Гусак, И. М. Бабич [и др.] // Журнал клинических и экспериментальных медицинских исследований. – 2014. – Т. 2, № 1. – С. 88–99.

OPTIMIZATION OF SURFACTANT-POLYELECTROLYTE MEMBRANE FORMATION CONDITIONS FOR CHITOSAN MICROCAPSULE PRODUCTION

Rusyaev S. V.¹, Tkachenko E. V.², Yakovishin L. A.², Grishkovets V. I.³

¹*Tomsk Polytechnic University, Tomsk, Russia*

²*Sevastopol State University, Sevastopol, Russia*

³*V. I. Vernadsky Crimean Federal University, Simferopol, Russia*

E-mail: tkelly@rambler.ru

This work is dedicated to determining the optimal conditions for producing chitosan microcapsules with a chitosan–dodecyl sulfate shell. Studying its properties will help establish criteria for effective encapsulation and define the scope of microcapsule application by selecting appropriate substances, their concentrations, and formation conditions. A common method for producing microcapsules involves the dropwise addition of the encapsulating polyelectrolyte into a solution containing a surfactant, leading to the formation of a protective membrane on its surface.

The properties of the shell were extrapolated from the results of studies on the solid chitosan–dodecyl sulfate complex. Chitosan powder was used to prepare the surfactant-polyelectrolyte complex. Sodium dodecyl sulfate, in the form of granules, was employed as the anionic surfactant. Through preparative methods, X-ray fluorescence analysis, and potentiometric titration, data were obtained regarding the elemental composition and yield of both soluble and insoluble complexes, as well as the degree of saturation of functional groups. Experiments showed that chitosan completely associates with sodium dodecyl sulfate and precipitates only when the surfactant-to-chitosan ratio is two. This condition resulted in no polyelectrolyte in solution, complete precipitation, and a typical ratio of marker elements – sulfur and nitrogen – in the complex. This ratio was used for microcapsule synthesis.

To determine the sorption capacity of the microcapsules, an apparatus for their production was created. After a specific contact time with a lead solution, the filtrate was distilled into an analysis container. The mixture obtained after filtration was subjected to voltammetric analysis: a sample and a concentrated background solution containing mercury ions were introduced into an electrochemical cell. Measurements were performed using an ‘Ecotest-VA’ voltammetric analyzer with a rotating disk glassy carbon electrode by anodic stripping voltammetry. Lead ion removal from aqueous solutions reached 84 %, substantially exceeding the sorption of the insoluble chitosan complex and being comparable to activated carbon’s performance. This indicates additional sorption due to lead ions traversing the insoluble surfactant-polyelectrolyte membrane.

Keywords: chitosan, sodium dodecyl sulfate, encapsulation, sorption, heavy metals, stripping voltammetry, X-ray diffraction analysis, potentiometric titration.

References

1. Semkina O. A., Beloshapkina O. M., Javakhyan M. A., Criteria for assessing qualitative and quantitative indicators of microcapsules, *Issues of biological, medical and pharmaceutical chemistry*, **24** (12), 11 (2021). (in Russ.).
2. Zargar V., Asghari M., Dashti A., A review on chitin and chitosan polymers: structure, chemistry, solubility, derivatives, and applications, *ChemBioEng Reviews*, **2** (3), 204 (2015).
3. Yakovishin L., Tkachenko E., Tolstenko Y., Korzh E., Development and IR spectroscopic analysis of composite materials based on poly(methyl methacrylate) and chitosan, *Materials Science Forum*, **1065**, 145 (2022).
4. Yakovishin L. A., Tkachenko E. V., Composite materials based on dental acrylic plastic and chitosan, *Chimica Techno Acta*, **8** (4), 20218413 (2021).
5. Taranovskaya E. A., Sobgaida N. A., Alferov I. N., Morev P. V., Wastewater treatment using chitosan, *Bulletin of OSU*, **10**, 322 (2015). (in Russ.).
6. Tkachenko E. V., Rusyaev S. V., Study of the sorption capacity of the chitosan-dodecyl sulfate sodium complex using the example of lead ion sorption, *Scientific Notes of the V. I. Vernadsky Crimean Federal University. Biology. Chemistry*, **9** (2), 268 (2023). (in Russ.).
7. Rinodo M., Kildeeva N. R., Babak V. G., Surfactant-polyelectrolyte complexes based on chitin derivatives, *Russian Chemical Journal*, **52** (1), 84 (2008). (in Russ.).
8. Vikhoreva G. A., Babak V. G., Galich E. F., Galbraich L. S., Complexation in the sodium dodecyl sulfate-chitosan system, *High-molecular compounds*, **39** (6), 947 (1997). (in Russ.).
9. Pyshkina O. A., Novoskoltseva A. A., Yaroslavov A. A., *Polyelectrolytes*, 97 p. (MSU, Moscow, 2022). (in Russ.).
10. Pogorelov M. V., Gusak E. V., Babich I. M., Kalinkevich O. V., Kalinkevich A. N., Samokhvalov I. I., Danilchenko S. N., Sklyar A. M., Sorption of metal ions by chitosan-based materials, *Journal of Clinical and Experimental Medical Research*, **2** (1), 88 (2014). (in Russ.).

УДК 547.918:543.42:615.074

DOI 10.29039/2413-1725-2025-11-2-370-376

ТРИТЕРПЕНОВЫЕ САПОНИНЫ ЛЕКАРСТВЕННОГО ПРЕПАРАТА ХЕДЕСПАН

Яковишин Л. А.¹, Гришковец В. И.², Рожко А. М.¹

¹*ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет», Севастополь, Россия*

²*Институт биохимических технологий, экологии и фармации (структурное подразделение)
ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет им. В. И. Вернадского», Симферополь,
Россия*

E-mail: chemsevntu@rambler.ru

Из лекарственного средства на основе листьев плюща Хедеспан выделены тритерпеновые сапонины, среди которых идентифицированы гликозиды тритерпеноидов хедерагенина и олеаноловой кислоты. Среди пяти сапонинов наибольшее содержание отмечено для 3-*O*- α -*L*-рамнопиранозил-(1 $\rightarrow$ 2)-*O*- α -*L*-арабинопиранозид хедерагенина (α -хедерина) и 3-*O*- α -*L*-рамнопиранозил-(1 $\rightarrow$ 2)-*O*- α -*L*-арабинопиранозил-28-*O*- α -*L*-рамнопиранозил-(1 $\rightarrow$ 4)-*O*- β -*D*-глюкопиранозил-(1 $\rightarrow$ 6)-*O*- β -*D*-глюкопиранозид хедерагенина (хедерасапонина С).

Ключевые слова: тритерпеновые гликозиды, плющ обыкновенный, Хедеспан, ТСХ, ИК-Фурье-спектроскопия.

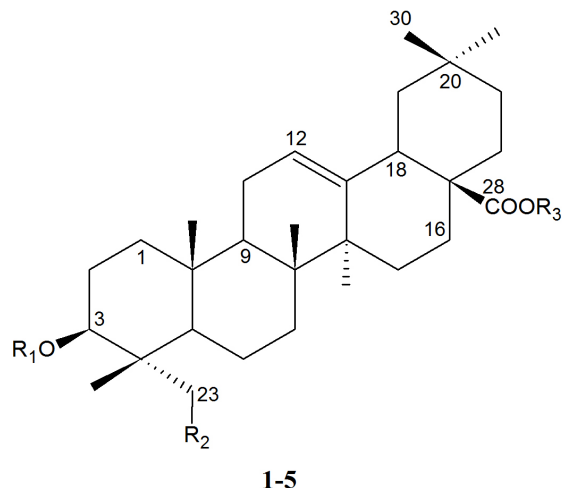
ВВЕДЕНИЕ

При острых и хронических воспалительных заболеваниях дыхательных путей, в том числе и в детской практике, в качестве отхаркивающих средств назначают препараты на основе листьев плюща обыкновенного *Hedera helix* L. (семейство Araliaceae) [1, 2]. К ним относится экспекторант Хедеспан, раствор для приема внутрь [2, 3]. Активным компонентом данного лекарственного средства является сухой экстракт листьев плюща. В качестве экстрагента действующих веществ препарата применяют 30 % этанол (по объему). Хедеспан содержит вспомогательные вещества: сорбитол жидкий некристаллизующийся (70 %), сорбат калия, лимонную кислоту безводную, ксантановую камедь, вишневый ароматизатор и воду очищенную [3]. Он обладает отхаркивающим, муколитическим и бронхоспазмолитическим действием [3].

В листьях плюща обыкновенного содержатся различные тритерпеновые гликозиды [4, 5]. Строение некоторых из них приведено на рис. 1. Наличие тритерпеновых гликозидов **3** и **5** в фармацевтических субстанциях определяют хроматографически [6, 7]. Данная статья посвящена анализу тритерпеновых гликозидов препарата Хедеспан методами ТСХ и ИК-спектроскопии.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Использовали лекарственное средство Хедеспан, раствор для приема внутрь, флакон 100 мл («ВЕТПРОМ» АД, Болгария; рег. № ЛП-007011). Методики выделения сапонинов из препарата, ТСХ и ИК-спектроскопии приведены в [8, 9].



Соединение	R ₁	R ₂	R ₃
1 (таурозид F ₀)	⁻ O ₃ S→	H	H
2 (β-хедерин)	Rhapα-(1→2)-Arapα→	H	H
3 (α-хедерин)	Rhapα-(1→2)-Arapα→	OH	H
4 (хедерасапонин В)	Rhapα-(1→2)-Arapα→	H	←βGlc _p -(6←1)-βGlc _p -(4←1)-αRhap
5 (хедерасапонин С)	Rhapα-(1→2)-Arapα→	OH	←βGlc _p -(6←1)-βGlc _p -(4←1)-αRhap

Рис. 1. Строение тритерпеновых гликозидов.

ИК-спектр препарата Хедеспан (ν , см⁻¹): 3407 (ОН), 2947 (СН), 2900 (СН), 1658 (Н–О–Н, С=О, С=C), 1510 (COO⁻), 1422 (СН, COO⁻), 1338 (СН), 1132 (С–О–С, С–ОН), 1084 (С–О–С, С–ОН), 1042 (С–О–С, С–ОН), 693 (Н–О–Н, ОН).

ИК-спектр жидкого бутанольного экстракта препарата Хедеспан (ν , см⁻¹): 3345 (ОН), 2960 (СН), 2935 (СН), 2875 (СН), 1721 (С=О), 1714 (С=О), 1659 (Н–О–Н, С=О, С=C), 1466 (СН), 1412 (СН, С–ОН), 1379 (СН), 1338 (СН), 1216 (СН), 1145 (С–О–С, С–ОН), 1114 (С–О–С, С–ОН), 1073 (С–О–С, С–ОН), 1030 (С–О–С, С–ОН), 992 (С–ОН), 953 (СН), 901 (СН), 847 (СН), 698 (Н–О–Н, ОН), 660 (ОН).

ИК-спектр сухого бутанольного экстракта препарата Хедеспан (ν , см⁻¹): 3355 (ОН), 2925 (СН), 2851 (СН), 2803 (СН), 1732 (С=О), 1716 (С=О), 1698 (С=О), 1682 (С=О), 1653 (С=C), 1636 (С=C), 1457 (СН), 1430 (СН), 1418 (СН), 1396 (SO₂), 1362 (СН), 1339 (СН), 1314 (СН), 1270 (СН), 1228 (SO₂), 1078 (С–О–С, С–ОН), 1042 (С–О–С, С–ОН), 888 (СН), 720 (СН), 678 (=СН), 660 (ОН).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

По данным ТСХ-анализа сумма экстрактивных веществ Хедеспана представлена соединениями **1–5**. Детектирование гликозидов на хроматографических пластинках проведено с помощью раствора *пара*-оксибензальдегида в 1 М растворе серной кислоты.

Соединения **1**, **2** и **4** соответствуют по данным ТСХ 3-*O*-сульфатированной олеаноловой кислоте (таурозид F_0), 3-*O*- α -*L*-рамнопиранозил-(1 $\rightarrow$ 2)-*O*- α -*L*-арабинопиранозиду олеаноловой кислоты (β -хедерин) и 3-*O*- α -*L*-рамнопиранозил-(1 $\rightarrow$ 2)-*O*- α -*L*-арабинопиранозил-28-*O*- α -*L*-рамнопиранозил-(1 $\rightarrow$ 4)-*O*- β -*D*-глюкопиранозил-(1 $\rightarrow$ 6)-*O*- β -*D*-глюкопиранозиду олеаноловой кислоты (хедерасопонин В) (рис. 1). Ярро-розовые зоны соединения **1** на хроматограммах проявлялись в первую очередь. Гликозиды **2** и **4** дают на ТСХ-пластинках пятна розового цвета.

Тритерпеновые сапонины **3** и **5** идентичны по своей хроматографической подвижности и сине-фиолетовым зонам 3-*O*- α -*L*-рамнопиранозил-(1 $\rightarrow$ 2)-*O*- α -*L*-арабинопиранозиду хедерагенина (α -хедерину) и 3-*O*- α -*L*-рамнопиранозил-(1 $\rightarrow$ 2)-*O*- α -*L*-арабинопиранозил-28-*O*- α -*L*-рамнопиранозил-(1 $\rightarrow$ 4)-*O*- β -*D*-глюкопиранозил-(1 $\rightarrow$ 6)-*O*- β -*D*-глюкопиранозиду хедерагенина (хедерасопонину С) соответственно. В бутанольном экстракте в основном содержатся гликозиды хедерагенина **3** и **5**, с явным преобладанием **5**. Он же является главным среди тритерпеновых гликозидов и в ряде других лекарственных средств на основе плюща обыкновенного [7–9].

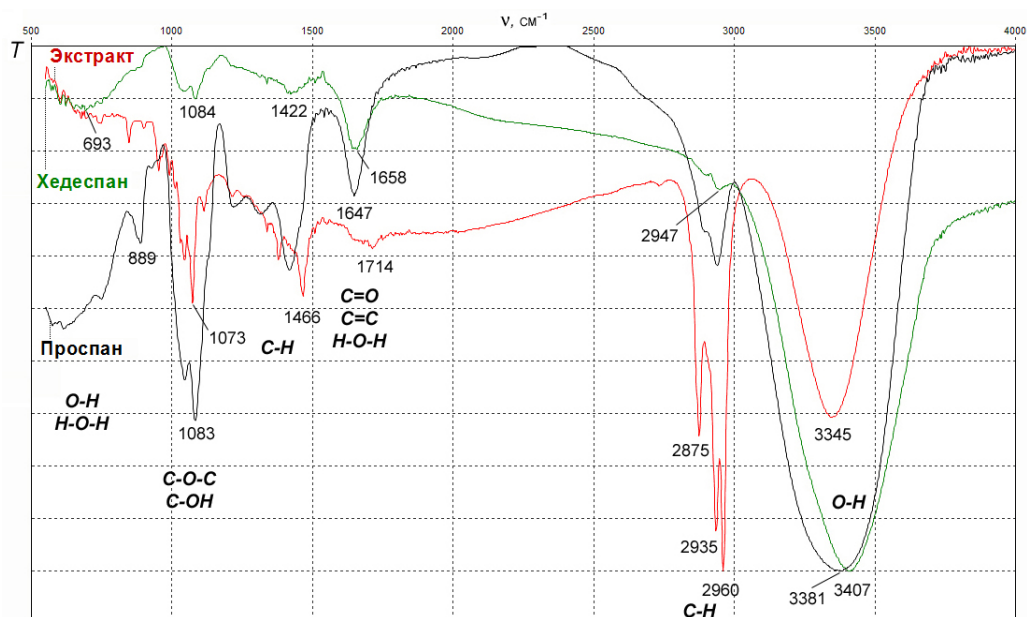


Рис. 2. ИК-спектры Хедеспана, жидкого бутанольного экстракта препарата Хедеспан и сиропа Проспан.

В ИК-спектре препарата Хедеспан (рис. 2) самая интенсивная полоса поглощения при 3407 см^{-1} отнесена к валентным колебаниям О–Н-связей органических соединений и воды. Значительно менее интенсивная уширенная полоса при 693 см^{-1} связана с поглощением неплоских деформационных колебаний ассоциированных связей О–Н органических веществ и вращательных колебаний молекул воды. Полосы поглощения связей С–Н найдены при 2947 и 2900 см^{-1} (валентные колебания) и при 1422 и 1338 см^{-1} (деформационные колебания).

Полоса колебаний молекул H_2O , а также связей $\text{C}=\text{O}$ и $\text{C}=\text{C}$ обнаружена при 1658 см^{-1} . Поглощение группы COO^- у соли сорбиновой кислоты проявляется при 1510 см^{-1} (ν_{as}) и 1422 см^{-1} (ν_{s}), что типично для ИК-спектров солей карбоновых кислот [10, 11].

Частоты валентных колебаний С–О связей в группах С–ОН и С–О–С составляют 1132 , 1084 и 1042 см^{-1} . Полоса поглощения при 1084 см^{-1} имеет наибольшую интенсивность. Эта особенность уже ранее фиксировалась в ИК-спектрах сиропов Бронхофитол плющ, Проспан и Плющ при кашле Эвалар (рис. 2) [8, 9].

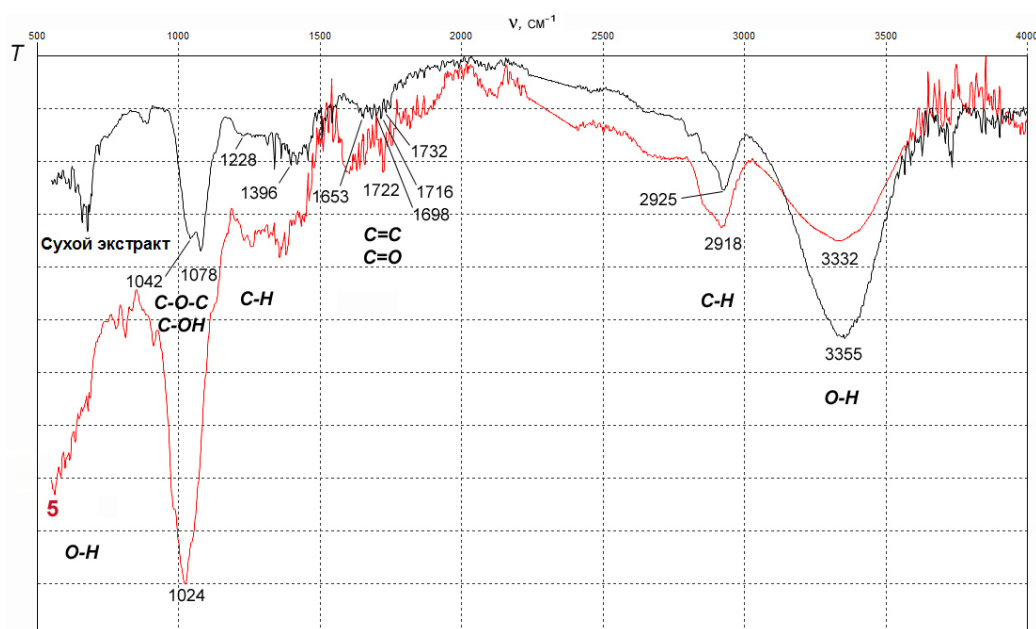


Рис. 3. ИК-спектры сухого бутанольного экстракта препарата Хедеспан и гликозида 5.

Самыми интенсивными полосами поглощения жидкого бутанольного экстракта сапонинов препарата Хедеспан (рис. 2) являются полосы при 3345 см^{-1} (колебания О–Н-связей), а также при 2960 , 2935 и 2875 см^{-1} (колебания С–Н связей). Среди

полос поглощения связей С–О в группах С–ОН и С–О–С большей интенсивностью отличается полоса при 1073 см⁻¹.

В ИК-спектре сухого бутанольного экстракта препарата (рис. 3) идентифицированы полосы поглощения, типичные для тритерпеновых сапонинов. Это полосы поглощения связей О–Н (3355 см⁻¹), С=О (1732, 1716, 1698 и 1682 см⁻¹) и С–О в С–О–С и С–ОН (1078 и 1042 см⁻¹). При этом в области поглощения связей С–О наибольшую интенсивность имеет полоса при 1078 см⁻¹. Характер полос поглощения определяется содержанием в экстракте преобладающих тритерпеновых гликозидов **3** и **5**. Наличие в препарате соединения **1**, присутствующего по данным ТСХ-анализа, дополнительно подтверждается ИК-спектроскопически. Сульфатная группа у **1** имеет в спектре сухого бутанольного экстракта полосы поглощения при 1396 см⁻¹ (ν_{as}) и 1228 см⁻¹ (ν_s).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Сумма тритерпеновых гликозидов лекарственного средства Хедеспан представлена пятью сапонинами олеаноловой кислоты и хедерагенина.
2. В составе препарата преобладают тритерпеновые гликозиды 3-*O*-α-*L*-рамнопиранозил-(1→2)-*O*-α-*L*-арабинопиранозид (α-хедерин) и 3-*O*-α-*L*-рамнопиранозил-(1→2)-*O*-α-*L*-арабинопиранозил-28-*O*-α-*L*-рамнопиранозил-(1→4)-*O*-β-*D*-глюкопиранозил-(1→6)-*O*-β-*D*-глюкопиранозид хедерагенина (хедерасапонин С).

Список литературы

1. Прожерина Ю. Место современных фитопрепаратов в терапии кашля / Ю. Прожерина // Ремедиум. – 2018. – № 10. – С. 17–19.
2. Полякова О. В. Детские лекарственные формы в российской пульмонологии: текущее состояние и перспективы импортозамещения / О. В. Полякова, В. Р. Рукавицын // Сборник научных трудов по материалам VI Международной научно-практической конференции, посвященной 89-летию Курского государственного медицинского университета и Году педагога и наставника «Фармакология разных стран». – Курск: КГМУ, 2023. – С. 263–267.
3. Хедеспан (Hedspan). Описание [Электронный ресурс]. URL: <https://www.vidal.ru/drugs/hedspan> (дата обращения: 26.04.2025).
4. Hostettmann K. Saponins / K. Hostettmann, A. Marston. – Cambridge: Cambridge University Press, 1995. – 548 p.
5. Elias R. Triterpenoid saponins from the leaves of *Hedera helix* / R. Elias, A. M. Diaz Lanza, E. Vidal-Ollivier [et al.] // J. Nat. Prod. – 1991. – Vol. 54, № 1. – P. 98–103.
6. European pharmacopoeia. – 8th ed. – Strasbourg: Council of Europe, 2013. – Vol. 1. – P. 1282–1283.
7. Зилфикаров И. Н. Природные лекарственные препараты: химический анализ и стандартизация: Справочное и научно-практическое издание / И. Н. Зилфикаров. – М.: СЛОН ПО, 2021. – 712 с.
8. Яковишин Л. А. Лекарственные препараты на основе плюща: ИК-Фурье-спектроскопический анализ / Л. А. Яковишин, П. И. Бажан, В. Д. Ратников [и др.] // Ученые записки Крымского федерального университета им. В. И. Вернадского. Биология. Химия. – 2019. – Т. 5 (71), № 3. – С. 259–267.
9. Яковишин Л. А. Анализ лекарственного препарата Бронхофитол плющ / Л. А. Яковишин, В. И. Гришковец // Ученые записки Крымского федерального университета имени В. И. Вернадского. Биология. Химия. – 2024. – Т. 10 (76), № 1. – С. 316–322.

10. Казицына Л. А. Применение УФ-, ИК-, ЯМР- и масс-спектропии в органической химии / Л. А. Казицына, Н. Б. Куплетская. – М.: Изд-во МГУ, 1979. – 240 с.
11. Larkin P. J. Infrared and Raman spectroscopy: principles and spectral interpretation / P. J. Larkin. – Amsterdam: Elsevier Inc., 2011. – 239 p.

TRITERPENE SAPONINS OF THE DRUG HEDESPAN

Yakovishin L. A.¹, Grishkovets V. I.², Rozhko A. M.¹

¹Sevastopol State University, Sevastopol, Russia

²V. I. Vernadsky Crimean Federal University, Simferopol, Russia

E-mail: chemsevtu@rambler.ru

For acute and chronic inflammatory diseases of the respiratory tract, including in pediatric practice, preparations based on the leaves of common ivy *Hedera helix* L. (Araliaceae) are prescribed as expectorants. Such a drug is the expectorant Hedespan solution for oral administration. The active component of this drug is a dry extract of ivy leaves. *Hedera helix* leaves contain various triterpene glycosides.

Triterpene glycosides from the medicinal preparation Hedespan were extracted with *n*-butanol saturated with water. According to TLC analysis, the sum of extractive substances is represented by five triterpene compounds: 3-*O*-sulfate of oleanolic acid (tauroside F₀), 3-*O*- α -*L*-rhamnopyranosyl-(1 $\rightarrow$ 2)-*O*- α -*L*-arabinopyranoside oleanolic acid (β -hederin), 3-*O*- α -*L*-rhamnopyranosyl-(1 $\rightarrow$ 2)-*O*- α -*L*-arabinopyranosyl-28-*O*- α -*L*-rhamnopyranosyl-(1 $\rightarrow$ 4)-*O*- β -*D*-glucopyranosyl-(1 $\rightarrow$ 6)-*O*- β -*D*-glucopyranoside of oleanolic acid (hederasaponin B), 3-*O*- α -*L*-rhamnopyranosyl-(1 $\rightarrow$ 2)-*O*- α -*L*-arabinopyranoside of hederagenin (α -hederin) and 3-*O*- α -*L*-rhamnopyranosyl-(1 $\rightarrow$ 2)-*O*- α -*L*-arabinopyranosyl-28-*O*- α -*L*-rhamnopyranosyl-(1 $\rightarrow$ 4)-*O*- β -*D*-glucopyranosyl-(1 $\rightarrow$ 6)-*O*- β -*D*-glucopyranoside of hederagenin (hederasaponin C). Hederasaponin C is the main triterpene glycoside in Hedespan and in a number of other ivy-based medicinal products.

Absorption bands typical for triterpene saponins were identified in the IR spectrum of the dry butanol extract of the drug. These are absorption bands of O–H bonds (3355 cm⁻¹), C=O (1732, 1716, 1698 and 1682 cm⁻¹) and C–O in C–O–C and C–OH (1078 and 1042 cm⁻¹). The sulfate group at tauroside F₀ has absorption bands at 1396 cm⁻¹ (asymmetric stretching vibrations) and 1228 cm⁻¹ (symmetric stretching vibrations) in the spectrum of the dry butanol extract.

Keywords: triterpene glycosides, common ivy, Hedespan, TLC, FT-IR spectroscopy.

References

1. Prozherina J., The role of modern herbal remedies in the management of cough, *Remedium*, **10**, 17 (2018). (in Russ.).
2. Polyakova O. V., Rukavitsyn V. R., Children's dosage forms in Russian pulmonopharmacology: current status and prospects for import substitution, *Conference proceedings of VI International scientific and practical conference dedicated to the 89th anniversary of Kursk State Medical University and the Year of*

- Teacher and Mentor "Pharmacology of different countries" (KSMU, Kursk, 2023), p. 263–267. (in Russ.).
3. *Hedspan. Description*, URL: <https://www.vidal.ru/drugs/hedspan> (Accessed April 26, 2025). (in Russ.).
 4. Hostettmann K., Marston A., *Saponins*, 548 p. (Cambridge University Press, Cambridge, 1995).
 5. Elias R., Diaz Lanza A. M., Vidal-Ollivier E., Balansard G., Faure R., Babadjamian A., Triterpenoid saponins from the leaves of *Hedera helix*, *J. Nat. Prod.*, **54** (1), 98 (1991).
 6. *European pharmacopoeia*, 8th ed., Vol. 1 (Council of Europe, Strasbourg, 2013), p. 1282–1283.
 7. Zilfikarov I. N., *Natural medicinal preparations: chemical analysis and standardization: Reference and scientific-practical edition*, 712 p. (Slon PO, Moscow, 2021). (in Russ.).
 8. Yakovishin L. A., Bazhan P. I., Ratnikov V. D., Grishkovets V. I., Ivy-containing drugs: FT-IR spectroscopy analysis, *Scientific Notes of V. I. Vernadsky Crimean Federal University. Biology. Chemistry*, **5** (3), 259 (2019). (in Russ.).
 9. Yakovishin L. A., Grishkovets V. I., Analysis of the medicinal preparation Bronchophytol ivy, *Scientific Notes of V. I. Vernadsky Crimean Federal University. Biology. Chemistry*, **10** (1), 316 (2024). (in Russ.).
 10. Kazitsyna L. A., Kupletskaya N. B., *Application of UV, IR, NMR and mass spectroscopy in organic chemistry*, 240 p. (Izd-vo MSU, Moscow, 1979). (in Russ.).
 11. Larkin P. J., *Infrared and Raman spectroscopy: principles and spectral interpretation*, 239 p. (Elsevier Inc., Amsterdam, 2011).

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Абдурашитов Сулейман Февзиевич	ФГБУН «Научно-исследовательский институт сельского хозяйства Крыма», ведущий научный сотрудник, кандидат биологических наук, заведующий лабораторией молекулярной генетики, протеомики и биоинформатики
Абдурашитова Эльвина Расимовна	ФГБУН «Научно-исследовательский институт сельского хозяйства Крыма», научный сотрудник лаборатории физиологии и экологии микроорганизмов
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, кафедра физиологии человека и биофизики, e-mail: aidinov20022@mail.ru
Алёшина Татьяна Евгеньевна	ФГБОУ ВО «Калужский государственный университет им. К. Э. Циолковского» Министерства науки и высшего образования РФ, кандидат биологических наук, доцент, зав. кафедрой медико-биологических дисциплин медицинского института
Алиева Валентина Петровна	ФГБОУ ВО «Калужский государственный университет им. К. Э. Циолковского» Министерства науки и высшего образования РФ, кандидат медицинских наук, доцент, доцент кафедры медико-биологических дисциплин медицинского института
Балтина Татьяна Валерьевна	Казанский федеральный университет, заведующий научно-исследовательской лабораторией «Механобиология» Института фундаментальной медицины и биологии, кандидат биологических наук, доцент, e-mail: tvbaltina@gmail.ru
Брановицкая Татьяна Юрьевна	Институт биохимических технологий, экологии и фармации (структурное подразделение) ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет имени В. И. Вернадского», кандидат сельскохозяйственных наук, доцент кафедры органической химии
Бугаец Янина Евгеньевна	Кубанский государственный университет физической культуры, спорта и туризма, кандидат биологических наук, доцент, доцент кафедры физиологии, e-mail: yana_bugaetz@mail.ru

Бушов Юрий Валентинович	Институт биологии, экологии, почвоведения, сельского и лесного хозяйства Национального исследовательского Томского государственного университета, профессор, доктор биологических наук, профессор кафедры физиологии человека и животных, e-mail: bushov@bio.tsu.ru
Вавилина Виктория Евгеньевна	Институт биологии, экологии, почвоведения, сельского и лесного хозяйства Национального исследовательского Томского государственного университета, магистрант кафедры физиологии человека и животных, e-mail: vavilina.v.97@mail.ru
Васильева Евгения Александровна	Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Оренбургский государственный медицинский университет» Министерства здравоохранения Российской Федерации, ассистент кафедры нормальной физиологии, e-mail: e.a.vasileva@orgma.ru
Ведясова Ольга Александровна	Самарский национальный исследовательский университет имени академика С. П. Королева, доктор биологических наук, профессор, профессор кафедры физиологии человека и животных
Гашек Валерия Александровна	Международный аэропорт Челябинск, кандидат биологических наук, инженер по обеспечению орнитологической безопасности полетов, e-mail: gashek_va@mail.ru
Гончарова Оксана Александровна	Полярно-альпийский ботанический сад-институт им. Н. А. Аврорина Кольского научного центра Российской академии наук, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник лаборатории дендрология
Гончарук Дмитрий Евгеньевич	Институт биохимических технологий, экологии и фармации (структурное подразделение) ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет им. В. И. Вернадского», студент 2 курса магистратуры, старший лаборант кафедры общей химии, e-mail: goncharykd0@gmail.com
Гордеева Карина Андреевна	Институт проблем экологии и недропользования АН РТ, научный сотрудник лаборатории экологии почв, e-mail: Karina_869@mail.ru
Гришковец Владимир Иванович	Институт биохимических технологий, экологии и фармации (структурное подразделение) ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет им. В. И. Вернадского», доктор химических наук, профессор кафедры «Общая химия»
Гусев Алексей Николаевич	Институт биохимических технологий, экологии и фармации (структурное подразделение) ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет им. В. И. Вернадского», доктор химических наук, заведующий кафедрой общей химии

Дворецкая Надежда Игоревна	Институт биохимических технологий, экологии и фармации (структурное подразделение) ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет имени В. И. Вернадского», обучающаяся направления подготовки 06.04.01 Биология
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
Еремеев Антон Александрович	Казанский федеральный университет, доцент кафедры физиологии человека и животных Института фундаментальной медицины и биологии, кандидат биологических наук, доцент, e-mail: 2anton.ermeev@mail.ru
Ермолаева Ольга Юрьевна	Южный федеральный университет, Академия биологии и биотехнологии им. Д. И. Ивановского, кафедра ботаники, кандидат биологических наук, доцент, e-mail: oyermolaeva@sfnedu.ru
Запорожченко Александра Андреевна	ФГБОУ ВО «Новосибирский государственный педагогический университет» (НГПУ), бакалавр (биология)
Зинатулин Сергей Накифович	ООО «ВедаГенетика», врач-консультант
Зинченко Евгений Анатольевич	Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Оренбургский государственный медицинский университет» Министерства здравоохранения Российской Федерации, кандидат биологических наук, доцент кафедры нормальной физиологии
Зотова Олеся Евгеньевна	Полярно-альпийский ботанический сад-институт им. Н. А. Аврорина Кольского научного центра РАН, младший научный сотрудник лаборатории дендрологии, аспирант четвертого года очной формы обучения по направленности (профилю) 1.5.9 Ботаника.
Инюшкин Алексей Николаевич	Самарский национальный исследовательский университет имени академика С. П. Королева, доктор биологических наук, профессор, заведующий кафедрой физиологии человека и животных
Исаенко Татьяна Алексеевна	Кубанский государственный университет физической культуры, спорта и туризма, кандидат биологических наук, доцент кафедры физиологии, e-mail: istat1@yandex.ru

Исенгулова Айнагуль Акимкереевна	Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Оренбургский государственный медицинский университет» Министерства здравоохранения Российской Федерации, кандидат медицинских наук, доцент кафедры нормальной физиологии
Калеух Александр Викторович	ФГАОУ ВО «Херсонский технический университет», заведующей кафедрой «Химических технологий и естествознания»
Калинина Виктория Александровна	ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет им. В. И. Вернадского», студентка 1 курса магистратуры
Калиновская Татьяна Витальевна	Институт «Агротехнологическая академия» (структурное подразделение) ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет им. В. И. Вернадского», кандидат технических наук, доцент кафедры технологии и оборудования производства и переработки продукции животноводства
Козлова Анна Павловна	Новосибирский государственный педагогический университет, кандидат биологических наук, доцент кафедры анатомии, физиологии и безопасности жизнедеятельности
Конашенкова Анастасия Тарасовна	Самарский национальный исследовательский университет имени академика С. П. Королева, аспирант кафедры физиологии человека и животных
Красуцкий Борис Викторович	Челябинский государственный университет, доктор биологических наук, доцент, профессор кафедры общей экологии, e-mail: boris_k.63@mail.ru
Кулагина Валентина Ивановна	Институт проблем экологии и недропользования АН РТ, кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник лаборатории экологии почв, e-mail: viksoil@mail.ru
Ливенцов Станислав Юрьевич	Институт биохимических технологий, экологии и фармации (структурное подразделение) ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет им. В.И. Вернадского», аспирант кафедры физиологии человека и животных и биофизики
Ломтева Наталья Аркадьевна	ФГБОУ ВО «Астраханский государственный университет им. В. Н. Татищева», заведующая кафедрой фундаментальной биологии, доктор биологических наук, доцент, e-mail: molecula01@yandex.ru
Максименко Елизавета Евгеньевна	ФГБОУ ВО «Калужский государственный университет им. К. Э. Циолковского» Министерства науки и высшего образования РФ, студентка 3 курса лечебного факультета медицинского института

Миркаримов Вахид	ФГБОУ ВО «Калужский государственный университет им. К. Э. Циолковского» Министерства науки и высшего образования РФ, студент 3 курса лечебного факультета медицинского института
Мирошниченко Игорь Васильевич	Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Оренбургский государственный медицинский университет» Министерства здравоохранения Российской Федерации, доктор медицинских наук, профессор, заведующий кафедрой нормальной физиологии
Мошкина Марина Вячеславовна	Институт биологии, экологии, почвоведения, сельского и лесного хозяйства Национального исследовательского Томского государственного университета, аспирант кафедры физиологии человека и животных, e-mail: moshkinamv989@gmail.com
Мучник Евгения Эдуардовна	ФГБУН Институт лесоведения РАН, доктор биологических наук, ведущий научный сотрудник, e-mail: emuchnik@outlook.com
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
Паштецкий Владимир Степанович	ФГБУН «Научно-исследовательский институт сельского хозяйства Крыма», доктор сельскохозяйственных наук, член-корреспондент РАН, старший научный сотрудник, директор
Погодина Светлана Владирировна	ФГАОУ ВО Крымский федеральный университет имени В. И. Вернадского, доктор биологических наук, доцент, профессор кафедры спорта и физического воспитания
Попова Наталия Николаевна	Воронежская государственная академия спорта, доктор биологических наук, профессор кафедры медико-биологических, естественно-научных и математических дисциплин, e-mail: leskea@vmail.ru
Пушкарева Людмила Анатольевна	Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Оренбургский государственный медицинский университет» Министерства здравоохранения Российской Федерации, ассистент кафедры нормальной физиологии
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

Рогаль Людмила Леонидовна	Южный федеральный университет, Академия биологии и биотехнологии им. Д. И. Ивановского, кафедра ботаники, заведующая гербарием кафедры ботаники, e-mail: lrogal@sfedu.ru
Рожко Артем Максимович	ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет», студент 2 курса кафедры «Фундаментальная медицина, здравоохранение и здоровьесбережение»
Русяев Сергей Владимирович	ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский Томский политехнический университет», магистрант
Рязанов Станислав Сергеевич	Институт проблем экологии и недропользования АН РТ, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник лаборатории экологии почв, e-mail: RStanislav.soil@yandex.ru
Сабирова Диана Эмилевна	Казанский федеральный университет, аспирант кафедры физиологии человека и животных, Научно-технологический университет «Сириус», Научный центр генетики и наук о жизни, Направление «Нейробиология», младший научный сотрудник, e-mail: sabirova.dianka@list.ru
Сальникова Елена Анатольевна	Кубанский государственный университет физической культуры, спорта и туризма, кандидат педагогических наук, доцент кафедры теории и методики водных видов спорта, e-mail: elenasalnikova99gmail@.com
Семькин Вадим Александрович	Институт биохимических технологий, экологии и фармации ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет имени В. И. Вернадского», обучающийся 4 курса очной формы обучения, кафедра физиологии человека и биофизики, e-mail: Jjmozh@bk.ru
Симонова Наталья Владимировна	ФГБОУ ВО «Калужский государственный университет им. К.Э. Циолковского» Министерства науки и высшего образования РФ, доктор биологических наук, профессор, профессор кафедры медико-биологических дисциплин медицинского института, e-mail: simonova.agma@yandex.ru
Смирнова Галина Олеговна	ФГБОУ ВО «Калужский государственный университет им. К. Э. Циолковского» Министерства науки и высшего образования РФ, доктор медицинских наук, доцент, директор медицинского института
Смолягин Александр Иванович	Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Оренбургский государственный медицинский университет» Министерства здравоохранения Российской Федерации, доктор медицинских наук, профессор, профессор кафедры эпидемиологии и инфекционных болезней

Сорокин Олег Викторович	ООО «ВедаГенетика», кандидат медицинских наук, генеральный директор
Суботялов Михаил Альбертович	Новосибирский государственный педагогический университет, доктор медицинских наук, профессор кафедры анатомии, физиологии и безопасности жизнедеятельности; Новосибирский государственный университет, доцент кафедры фундаментальной медицины
Сунгатуллина Люция Мансуровна	Институт проблем экологии и недропользования АН РТ, старший научный сотрудник лаборатории экологии почв, e-mail: Sunlyc@yandex.ru
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 ЛП-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
Ткаченко Элла Владимировна	ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет», кандидат технических наук, доцент кафедры «Химия и химические технологии»
Туманянц Каринэ Николаевна	Институт биохимических технологий, экологии и фармации (структурное подразделение) ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет имени В. И. Вернадского», кандидат биологических наук, директор Центра коллективного пользования научным оборудованием «Экспериментальная физиология и биофизика», e-mail: timur328@gmail.com
Уранова Валерия Валерьевна	ФГБОУ ВО «Астраханский государственный медицинский университет» Минздрава России, ассистент кафедры фундаментальной химии, e-mail: fibi_cool@list.ru
Хайруллина Алина Маратовна	Институт проблем экологии и недропользования АН РТ, младший научный сотрудник лаборатории экологии почв, e-mail: his.alina94@mail.ru
Ходаков Геннадий Васильевич	ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет им. 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, e-mail: gangliu@yandex.ru

Чуян Елена Николаевна	Институт биохимических технологий, экологии и фармации (структурное подразделение) ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет им. В. И. Вернадского», доктор биологических наук, заведующий кафедры физиологии человека и животных и биофизики
Шагидуллин Рифгат Роальдович	Институт проблем экологии и недропользования АН РТ, член-корреспондент АН РТ, доктор химических наук, директор, e-mail: shagidullin@mail.ru
Шмараева Антонина Николаевна	Ботанический сад Южного федерального университета, старший научный сотрудник, e-mail: anshmaraeva@sfedu.ru
Шульгин Виктор Федорович	Институт биохимических технологий, экологии и фармации (структурное подразделение) ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет им. В. И. Вернадского», доктор химических наук, профессор кафедры общей химии
Яковишин Леонид Александрович	ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет», доктор химических наук, профессор кафедры «Химия и химические технологии», e-mail: chemsevntu@rambler.ru
Ярош Ольга Борисовна	Институт экономики и управления ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет им. В. И. Вернадского», доктор экономических наук, главный научный сотрудник Лаборатории нейромаркетинга и поведенческой экономики, профессор кафедры маркетинга, торгового и таможенного дела, e-mail: iarosh.olga.cfu@gmail.com
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

Абдурашитова Э. Р., Абдурашитов С. Ф., Паштецкий В. С. ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ КОМПЛЕКСА МИКРООРГАНИЗМОВ ПРИ ВЫРАЩИВАНИИ <i>SORGHUM BICOLOR</i> (L.) В АГРОСИСТЕМАХ ПРЯМОГО ПОСЕВА И ТРАДИЦИОННОЙ СИСТЕМЫ.....	3
Бугаец Я. Е., Исаенко Т. А., Сальникова Е. А. ГИДРОРЕАБИЛИТАЦИЯ ФУТБОЛИСТОВ С ПОСТКОВИДНЫМ СИНДРОМОМ	17
Васильева Е. А., Пушкарева Л. А., Исенгулова А. А., Зинченко Е. А., Смолягин А. И., Мирошниченко И. В. ОЦЕНКА ВОЗМОЖНОСТИ МОДУЛЯЦИИ ВОЗДЕЙСТВИЯ ПРЕНАТАЛЬНОГО ПАССИВНОГО ТАБАКОКУРЕНИЯ НА ОСОБЕННОСТИ СОМАТИЧЕСКОГО И СЕНСОМОТОРНОГО РАЗВИТИЯ КРЫС ЛИНИИ ВИСТАР В ГНЕЗДОВОМ ПЕРИОДЕ.....	27
Джелдубаева Э. Р., Ярмолук Н. С., Ржевская В. С., Туманянц К. Н., Назырова Л. Э. ВЛИЯНИЕ ПРОБИОТИЧЕСКОГО МИКРОБНОГО КОНСОРЦИУМА НА ПОЧЕЧНУЮ ТКАНЬ КРЫС ПРИ АЛЛОКСАН-ИНДУЦИРОВАННОМ ДИАБЕТЕ ...	37
Ермолаева О. Ю., Рогаль Л. Л., Шмареева А. Н., Мучник Е. Э. НОВЫЕ НАХОДКИ РЕДКИХ ВИДОВ РАСТЕНИЙ И ГРИБОВ НА ЮГО-ЗАПАДЕ РОСТОВСКОЙ ОБЛАСТИ.....	48
Зотова О. Е., Гончарова О. А. КОЛЛЕКЦИЯ РОДА <i>CRATAEGUS</i> L. ПОЛЯРНО-АЛЬПИЙСКОГО БОТАНИЧЕСКОГО САДА-ИНСТИТУТА ИМ. Н. А. АВРОРИНА: ИСТОРИЯ И СОВРЕМЕННОСТЬ	70
Конашенкова А. Т., Ведясова О. А., Инюшкин А. Н. РЕСПИРАТОРНЫЕ РЕАКЦИИ НА ВВЕДЕНИЕ АДЕНОЗИНТРИФОСФАТА В ОБЛАСТЬ РЕТРОТРАПЕЦИЕВИДНОГО ЯДРА У КРЫС	85
Красуцкий Б. В., Гашек В. А. ОХРАНЯЕМЫЕ, РЕДКИЕ И МАЛОИЗВЕСТНЫЕ НАСЕКОМЫЕ ПАМЯТНИКОВ ПРИРОДЫ «ЧЕЛЯБИНСКИЙ (ГОРОДСКОЙ) БОР» И «КАШТАКСКИЙ БОР» (ЧЕЛЯБИНСКАЯ ОБЛАСТЬ).....	99
Кулагина В. И., Сунгатуллина Л. М., Шагидуллин Р. Р., Рязанов С. С., Хайруллина А. М., Гордеева К. А. МИКРОБИОЛОГИЧЕСКИЕ И БИОХИМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ПОЧВ ПРИ РАЗНЫХ СРОКАХ ПРИМЕНЕНИЯ СИСТЕМЫ ОРГАНИЧЕСКОГО ЗЕМЛЕДЕЛИЯ.....	132
Мошкина М. В., Вавилина В. Е., Бушов Ю. В. ЗЕРКАЛЬНЫЕ НЕЙРОНЫ И МОЗГОВОЙ «ДЕТЕКТОР ОШИБОК» В РАСПОЗНАВАНИИ КОРРЕКТНЫХ И ОШИБОЧНЫХ ДЕЙСТВИЙ.....	145

Попова Н. Н. БРИОФЛОРА ДЕЙСТВУЮЩИХ И ПЕРСПЕКТИВНЫХ ОХРАНЯЕМЫХ ТЕРРИТОРИЙ КАПАЧСКОГО ОБРАЖНО-БАЛОЧНОГО ЮЖНОЛЕСОСТЕПНОГО ЛАНДШАФТНОГО РАЙОНА, ВОРОНЕЖСКАЯ ОБЛАСТЬ (ЧАСТЬ 2)	162
Сабинова Д. Э., Еремеев А. А., Балтина Т. В. ФУНКЦИОНАЛЬНАЯ ОЦЕНКА МЫШЦ ГОЛЕНИ КРЫСЫ ПРИ НАРУШЕНИИ ДВИГАТЕЛЬНОЙ АКТИВНОСТИ	186
Симонова Н. В., Смирнова Г. О., Алёшина Т. Е., Алиева В. П., Керимова Ю. Д., Максименко Е. Е., Миркаримов В. ОСОБЕННОСТИ КОГНИТИВНОГО СТАТУСА У КУРЯЩИХ И НЕКУРЯЩИХ СТУДЕНТОВ-МЕДИКОВ.....	199
Сорокин О. В., Запорожченко А. А., Суботьялов М. А. БИФИДОБАКТЕРИИ: МЕХАНИЗМ ДЕЙСТВИЯ, КЛАССИФИКАЦИЯ, МЕДИКО- БИОЛОГИЧЕСКОЕ ЗНАЧЕНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ ИССЛЕДОВАНИЯ	204
Сорокин О. В., Зинатулин С. Н., Козлова А. П., Суботьялов М. А. БИОЛОГИЧЕСКАЯ АКТИВНОСТЬ И ТЕРАПЕВТИЧЕСКИЙ ПОТЕНЦИАЛ МЕТАБИОТИКОВ	224
Тимофеева С. Н., Тимофеев В. Д., Погодина С. В. ПОВЫШЕНИЕ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ВОЗМОЖНОСТЕЙ ДЫХАТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ СТУДЕНТОК СРЕДСТВАМИ ФОРСИРОВАННОГО ДЫХАНИЯ ПРИ ПОДГОТОВКЕ К ИСПЫТАНИЮ ГТО НА ВЫНОСЛИВОСТЬ	237
Уранова В. В., Ломтева Н. А. ИЗУЧЕНИЕ ВЛИЯНИЯ ЭКСТРАКТА КОРНЕЙ <i>SCUTELLARIA BAICALENSIS</i> НА ПРОСТРАНСТВЕННУЮ «РЕФЕРЕНС» ПАМЯТЬ В УСЛОВИЯХ МОДЕЛИРОВАНИЯ «СОЦИАЛЬНОГО» СТРЕССА.....	247
Хусаинов Д. Р., Аудинов И. Д., Туманянц К. Н., Семькин В. А. ИЗМЕНЕНИЯ ДВИГАТЕЛЬНОЙ АКТИВНОСТИ И УРОВНЯ ТРЕВОЖНОСТИ КРЫС РАЗНОГО ВОЗРАСТА ПРИ БЛОКИРОВАНИИ МОНОАМИНОКСИДАЗЫ-В	265
Чуян Е. Н., Ливенцов С. Ю., Дворецкая Н. И. МЕТАБОЛИЧЕСКИЕ НАРУШЕНИЯ У КРЫС С АЛЛОКСАН-ИНДУЦИРОВАННЫМ ДИАБЕТОМ	281
Ярмолук Н. С., Желдубаева Э. Р., Ржевская В. С., Туманянц К. Н., Аединова Д. З. ВЛИЯНИЕ ПРОБИОТИЧЕСКОГО МИКРОБНОГО КОНСОРЦИУМА НА ТРЕВОЖНОСТЬ КРЫС С АЛЛОКСАН-ИНДУЦИРОВАННЫМ САХАРНЫМ ДИАБЕТОМ.....	303
Ярош О. Б. ВЕРБАЛЬНЫЕ И КОЖНО-ГАЛЬВАНИЧЕСКИЕ РЕАКЦИИ НА ПРЕДЪЯВЛЕНИЯ КРЫМСКИХ ЭФИРНЫХ МАСЕЛ.....	313

ХИМИЧЕСКИЕ НАУКИ

Брановицкая Т. Ю., Калиновская Т. В., Калинина В. А.

ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ ПЕКТИНОВЫХ ВЕЩЕСТВ КИЗИЛА
(*CORNUS MAS L.*) КАК ПЕРСПЕКТИВНОГО ПЕКТИНОСОДЕРЖАЩЕГО
СЫРЬЯ РЕСПУБЛИКИ КРЫМ 325

Гончарук Д. Е., Шульгин В. Ф., Гусев А. Н.

БИЯДЕРНЫЕ КОМПЛЕКСЫ МЕДИ(II) НА ОСНОВЕ СПЕЙСЕРИРОВАННЫХ
ОКСИГИДРАЗОНОВЫХ КИСЛОТ 333

Гришковец В. И., Яковишин Л. А.

ДЕТЕКТИРУЮЩИЕ РЕАГЕНТЫ ДЛЯ ТРИТЕРПЕНОВЫХ ГЛИКОЗИДОВ
РАСТЕНИЙ СЕМЕЙСТВА АРАЛИЕВЫХ 344

Калеух А. В., Ходаков Г. В., Гусев А. Н.

ГОДОВАЯ ТЕРМИЧЕСКАЯ ЗАВИСИМОСТЬ ЭМИССИИ ЛЕТУЧИХ ВЕЩЕСТВ
РАСТЕНИЙ РОДА *JUNIPERUS* И ИХ КОМПОНЕНТНЫЙ СОСТАВ 352

Русяев С. В., Ткаченко Э. В., Яковишин Л. А., Гришковец В. И.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОПТИМАЛЬНЫХ УСЛОВИЙ ОБРАЗОВАНИЯ ПАВ-
ПОЛИЭЛЕКТРОЛИТНОЙ ПЛЁНКИ ПРИ ПОЛУЧЕНИИ МИКРОКАПСУЛ
ХИТОЗАНА.....359

Яковишин Л. А., Гришковец В. И., Рожко А. М.

ТРИТЕРПЕНОВЫЕ САПОНИНЫ ЛЕКАРСТВЕННОГО ПРЕПАРАТА
ХЕДЕСПАН 370

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ.....377

СОДЕРЖАНИЕ 385