

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

Том 8 (74), № 3

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, 2022

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 № 5 от 12 октября 2022 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)

**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 – Ярмолук Н. С., к. б. н., доц.

Раздел «Биология»:

1. Диатроптов Михаил Евгеньевич, д. б. н., с. н. с.
2. Ивашов Анатолий Васильевич, д. б. н., проф.
3. Колесников Сергей Ильич, д. с-х. н., проф.
4. Коношенко Светлана Владимировна, д. б. н., проф.
5. Кореньюк Иван Иванович, д. б. н., проф.
6. Котов Сергей Федорович, к. б. н., доц.
7. Лебедева Наталья Николаевна, д. б. н., проф.
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. Рубцова Нина Борисовна, д. б. н., проф.
13. Рябинина Зинаида Николаевна, д. б. н., проф.

Раздел «Химия»:

14. Гришковец Владимир Иванович, д. х. н., проф. (редактор раздела «Химия»)
15. Гусев Алексей Николаевич, д. х. н., проф.
16. Еременко Игорь Леонидович, академик РАН
17. Земляков Александр Евгеньевич, д. х. н., проф.
18. Кукушкин Вадим Юрьевич, член-корр. РАН
19. Новоторцев Владимир Михайлович, академик РАН
20. Панюшкин Виктор Терентьевич, д. х. н., проф.
21. Шульгин Виктор Федорович, д. х. н., проф.

Адрес редакции: 295007, г. Симферополь, пр-т Академика Вернадского, 4, корп. Б, ауд. 328
Подписано в печать 18.10.2022. Формат 70x100 1/16. Заказ № НП/126. Тираж 50. Цена «Бесплатно».

Дата выхода в свет «__» _____ 2022 г.

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

Адрес издательства и типографии:

295051, г. Симферополь, бул. Ленина, 5/7

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

БИОЛОГИЧЕСКИЕ НАУКИ

Ученые записки Крымского федерального университета имени В. И. Вернадского

Биология. Химия. Том 8 (74). 2022. № 3. С. 3–13.

УДК 591.4:636.2.087.7

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ДБА «ЭНЕРВИТ» НА НЕКОТОРЫЕ МОРФО-БИОХИМИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ КРОВИ И СОСТАВ МИКРОФЛОРЫ КИШЕЧНИКА ТЕЛЯТ

Барило О. А., Мерзленко Р. А., Артюх В. М.

ФГБОУ ВО Белгородский ГАУ, Белгород, Россия

E-mail: barilo.ox@yandex.ru

В статье представлены результаты проведенных исследований по включению в рацион телят-молочников голштинской породы, чёрно-пёстрой масти добавки биологически активной «Энервит». Было сформировано 4 группы (I-К- контрольная, II, III и IV – опытные) по 10 голов в каждой. Содержание групповое в клетках. Телята всех групп получали основной рацион, а II, III и IV – дополнительно с молоком выпаивали «Энервит» из расчета 20 г на голову один раз в сутки по следующей схеме: вторая группа – 5 дней ежедневно, а затем 1 раз в 5 дней, третья – 7 дней ежедневно, затем 1 раз в 7 дней, четвертой – в 1-й, 4-й, 7-й и 10-й дни, затем 1 раз в 10 дней. Наибольшие различия по морфо-биохимическим показателям крови и состоянию желудочно-кишечной микрофлоры телят относительно контрольной получены во II группе. В крови телят II группы отмечено повышение гематокритной величины – на 8,7 %, увеличение концентрации гемоглобина – 8,4 % и эритроцитов – на 15,0 %, общего белка – на 6,1 %; снижение мочевины – на 20,0 % и общего билирубина – на 35,7 %. Применение фитобиотика «Энервит» также оказывает положительное влияние на процесс становления нормобиоза кишечника: увеличение количества бифидобактерий – на 42,2 % и лактобактерий – на 36,6 %; снижение лактозоположительных эшерихий – на 35,5 %, эпидермальных стафилококков – на 39,8 %, энтерококков – на 45,2 %.

Ключевые слова: Энервит, телята-молочники, морфо-биохимия крови, микрофлора кишечника.

ВВЕДЕНИЕ

В промышленном животноводстве для повышения продуктивности, естественной резистентности и профилактики желудочно-кишечных заболеваний молодняка все активнее применяются технологии с использованием естественных иммуномодуляторов, энтеросорбентов, пре- и пробиотиков [1–3]. Особого внимания в этом плане заслуживает разработка и внедрение в практику животноводства и ветеринарии кормовых пребиотических добавок растительного происхождения (фитобиотиков), которые являются и сорбентами и стимуляторами роста нормальной микрофлоры желудочно-кишечного тракта, тем самым способствуя росту живой массы, снижению затрат при выращивании, повышению резистентности организма животных и стимуляции физиологических процессов [4–

11]. В настоящее время в Российской Федерации аккредитовано большое количество иностранных поставщиков различных кормовых фитодобавок для сельскохозяйственных животных и птицы [12]. Однако на практике применение этих добавок не всегда дает тот эффект, который указывается в рекламных проспектах поставляемой продукции. Помимо этого, такие добавки имеют достаточно высокую стоимость и в их состав часто входят экзотические растения, с мало изученным действием на организм животных. Поэтому актуальной и перспективной проблемой является разработка и внедрение в практику животноводства эффективных отечественных кормовых фитодобавок.

Целью наших исследований явилось изучение влияния фитобиотика – добавки биологически активной (ДБА) «Энервит» на морфо-биохимические показатели крови и микрофлору желудочно-кишечного тракта телят в раннем периоде выращивания.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Исследования проведены в СПК «Колхоз имени Горина» Белгородского района Белгородской области в осенне-зимний период, продолжительностью 90 дней. В опыте по принципу аналогов с учётом возраста, живой массы и физиологического состояния было сформировано 4 группы клинически здоровых телят 2-суточного возраста, голштинской породы, чёрно-пёстрой масти, бессоновского типа по 10 голов в каждой. Содержание групповое в клетках. Телята контрольной группы содержались на общехозяйственном рационе без пребиотика «Энервит». Телятам опытных групп препарат вводили с молоком 20 г на голову один раз в сутки по следующей схеме: первой опытной группе – 5 дней ежедневно, а затем 1 раз в 5 дней, второй – 7 дней ежедневно, затем 1 раз в 7 дней, третьей – в 1-й, 4-й, 7-й и 10-й дни, затем 1 раз в 10 дней. В течение опытного периода за телятами всех групп вели клинические наблюдения за состоянием их здоровья. Также проводили учет сохранности поголовья и оценку показателей роста телят (по живой массе) путем четырехкратного их взвешивания – перед постановкой опыта (возраст 2 сут), затем в 30, 60 и 90 суток.

Кровь для физиолого-биохимических исследований отбирали от 4 телят каждой группы из яремной вены в возрасте 1, 30, 60 и 90 суток утром перед первым кормлением. В цельной крови определяли: процент гематокрита – с помощью микроцентрифуги; содержание гемоглобина – гемоглобин-цианидным методом; количество лейкоцитов и эритроцитов – подсчетом в камере Горяева; расчетным путем: средний объем эритроцитов - отношение гематокрита к количеству эритроцитов и среднее содержание гемоглобина в эритроците (ССГЭ) – отношение гемоглобина к количеству эритроцитов. В сыворотке крови определяли: содержание общего белка – рефрактометрически; альбуминов и глобулинов – методом электрофореза; мочевины – по цветной реакции с диацетилмонооксимом; креатинин – по цветной реакции Яффе (метод Лоппера); билирубин – по диазореакции (метод Ендрассика-Клеггорна-Гроффа).

Взятие проб фекалий от телят проводили в возрасте 30, затем в 60 суток и после завершения эксперимента (90 суток).

Исследование состава микрофлоры кишечника телят проводили согласно методическим указаниям по бактериологической диагностике колибактериоза

(эшерихиоза) животных (МСХ и продовольствия РФ от 27.07.2000 г. No 13-7-2/2117); методическим указаниям по ускоренной индикации морганелл, сальмонелл и энтеропатогенных эшерихий с адгезивными антигенами в патологическом материале, кормах, объектах внешней среды в реакции коагутинации (МСХ и продовольствия РФ от 11.10.1999 г. No 13-7-2/1758); методическим указаниям по применению унифицированных микробиологических (бактериологических) методов исследования в клинико-диагностических лабораториях (приложение No 1 к приказу Министерства здравоохранения СССР от 22 апреля 1985 г. No 535 [13, 14].

Значимость различий изучаемых показателей между группами оценивали по t-критерию Стьюдента. Различия считали статистически значимыми при $p < 0,05$.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Исследование крови является важнейшим диагностическим методом. Кроветворные органы чрезвычайно чувствительны к различным физиологическим и патологическим воздействиям на организм, поэтому картина крови является отражением этих воздействий [15].

Результаты изменений морфологических и биохимических компонентов крови на фоне разных схем применения ДБА «Энервит» приведены в таблицах 1–2.

Анализ динамики морфологических показателей крови телят, находящихся в опыте (табл. 1.) показал, что введение в рацион животных всех опытных групп фитобиотика «Энервит» способствовало их повышению и нормализации, однако наиболее достоверные данные отмечены у телят второй группы.

Так, у животных этой группы по отношению к контролю (1-й группой), в возрасте 30, 60 и 90 суток концентрация гемоглобина достоверно повышалась на 8,7, 7,5 и 9,0 % соответственно ($p < 0,05$). Также отмечено достоверное повышение гематокритной величины в возрасте 90 суток на 8,7 % ($p < 0,05$). Содержание эритроцитов достоверно увеличивалось в возрасте 90 суток на 15,0 % ($p < 0,05$). Повышение количества эритроцитов и гемоглобина в крови телят опытных групп свидетельствует о повышении функциональной активности дыхательной функции крови. В отношении эритроцитарных индексов – средний объем эритроцита и среднее содержание гемоглобина в эритроците (ССГЭ) у телят существенных межгрупповых различий не выявлено.

По содержанию лейкоцитов достоверных различий между подопытными группами телят также не отмечено.

Аналогичная ситуация в пользу телят 2-й группы отмечена и по биохимическим показателям сыворотки крови (табл. 2).

Так, содержание общего белка в возрасте 30, 60 и 90 суток, у них достоверно повышалась по отношению к контролю на 4,7 ($p < 0,01$), 3,6 ($p < 0,05$) и 10,0 % ($p < 0,01$) соответственно. Фракция альбуминов также достоверно повышалась соответственно на 7,6 ($p < 0,01$), 9,7 ($p < 0,01$) и 6,7 % ($p < 0,05$). Отмечена также тенденция к повышению уровня фракции глобулинов в возрасте 60 и 90 суток соответственно на 10,4 ($p < 0,05$) и 13,4 % ($p < 0,01$). Белковый индекс во всех группах находился в пределах физиологической нормы (0,9–1,4). Содержание общего

билирубина достоверно снижалось в возрасте 60 и 90 суток соответственно на 33,7 и 37,7 % (при $p < 0,01$ в обоих случаях).

Таблица 1.
Динамика морфологических показателей крови телят на фоне разных схем применения ДБА «Энервит»

Показатель	Группы животных			
	1	2	3	4
	1 сутки			
Гематокрит, %	35,7±0,6	35,9±0,5	36,1±0,6	35,8±0,7
Гемоглобин, г/л	105,7±1,0	108,8±1,4	106,3±1,2	105,6±0,9
Эритроциты, $10^{12}/л$	7,2±0,1	7,3±0,1	7,6±0,2	7,4±0,3
Средний объем эритроцита, fl	45,8±2,1	45,4±2,8	44,5±3,1	45,7±2,6
ССГЭ, пг	13,8±0,9	13,5±1,0	14,1±1,6	13,8±1,1
Лейкоциты, $10^9/л$	7,4±0,1	7,8±0,3	7,7±0,3	7,8±0,4
30 суток				
Гематокрит, %	35,9±0,7	37,9±0,5	36,8±0,6	37,7±0,7
Гемоглобин, г/л	109,8±2,7	119,4±2,1*	113,1±2,3	111,9±2,5
Эритроциты, $10^{12}/л$	8,1±0,3	8,9±0,2	8,6±0,3	8,5±0,1
Средний объем эритроцита, fl	44,6±3,2	49,0±3,6	47,4±3,9	46,8±4,1
ССГЭ, пг	14,1±1,3	15,3±1,8	15,5±1,5	14,4±2,0
Лейкоциты, $10^9/л$	7,8±0,5	8,3±0,6	8,2±0,5	8,1±0,6
60 суток				
Гематокрит, %	36,9±0,8	38,4±0,7	38,3±0,8	38,2±0,7
Гемоглобин, г/л	111,8±2,1	120,2±2,3*	118,0±2,1	119,3±2,4
Эритроциты, $10^{12}/л$	8,3±0,4	9,6±0,6	8,9±0,6	8,7±0,5
Средний объем эритроцита, fl	43,8±3,9	50,6±4,4	47,0±3,8	45,9±4,1
ССГЭ, пг	14,8±1,1	15,9±1,6	15,6±1,3	15,8±1,4
Лейкоциты, $10^9/л$	8,0±0,4	9,1±0,5	8,5±0,3	8,6±0,4
90 суток				
Гематокрит, %	37,9±0,9	41,2±0,8*	40,9±0,8*	38,2±0,7
Гемоглобин, г/л	118,6±2,4	129,3±2,9*	128,0±3,1	129,0±3,6*
Эритроциты, $10^{12}/л$	8,0±0,2	9,2±0,4*	8,9±0,3*	9,0±0,4
Средний объем эритроцита, fl	41,0±3,5	47,2±3,4	45,6±3,6	46,1±4,0
ССГЭ, пг	14,6±2,2	15,9±1,4	15,8±1,9	15,9±2,0
Лейкоциты, $10^9/л$	8,7±0,5	9,7±0,6	9,2±0,4	9,5±0,5

Примечание: здесь и далее * – $p < 0,05$; ** – $p < 0,01$; *** – $p < 0,001$ в сравнении с 1-й группой

Таблица 2.

Динамика показателей белкового обмена в сыворотке крови телят на фоне разных схем применения ДБА «Энервит»

Показатель	Группы животных			
	1	2	3	4
	1 сутки			
Общий белок, г/л	60,1±0,4	61,2±0,6	60,0±0,3	61,0±0,5
Альбумины, г/л	29,3±0,3	29,9±0,4	29,2±0,3	29,8±0,4
Глобулины, г/л	30,8±0,5	31,3±0,6	30,8±0,6	31,2±0,7
Коэффициент А/Г	0,95	0,95	0,95	0,96
Мочевина, ммоль/л	3,4±0,3	3,6±0,2	3,4±0,3	3,5±0,2
Креатинин, мкмоль/л	103,8±6,5	106,3±7,6	110,1±6,6	103,2±8,7
Билирубин общий, мкмоль/л	4,8±0,2	4,9±0,2	4,8±0,3	5,0±0,3
30 суток				
Общий белок, г/л	61,4±0,5	64,3±0,6**	63,8±0,6*	64,0±0,5*
Альбумины, г/л	30,1±0,3	32,4±0,5**	31,3±0,3*	32,5±0,7*
Глобулины, г/л	31,3±0,5	31,9±0,7	32,5±0,9	31,5±0,8
Коэффициент А/Г	0,96	1,02	0,96	1,03
Мочевина, ммоль/л	4,6±0,2	4,0±0,2	4,4±0,3	4,5±0,2
Креатинин, мкмоль/л	110,9±7,4	100,5±7,2	103,1±7,6	102,2±8,8
Билирубин общий, мкмоль/л	4,9±0,3	4,8±0,2	5,2±0,3	5,0±0,4
60 суток				
Общий белок, г/л	67,3±0,6	69,7±0,7*	68,5±0,6	69,0±0,8
Альбумины, г/л	30,9±0,3	33,9±0,6**	31,3±0,4	32,2±0,4*
Глобулины, г/л	31,8±0,6	35,1±0,8	36,0±0,9	36,6±0,9
Коэффициент А/Г	0,97	0,97	0,90	0,90
Мочевина, ммоль/л	5,6±0,3	4,3±0,2*	4,6±0,3	4,4*±0,3
Креатинин, мкмоль/л	112,7±8,7	114,4±7,1	113,1±7,0	113,8±8,4
Билирубин общий, мкмоль/л	6,0±0,4	4,1±0,2**	5,0±0,4	5,2±0,4
90 суток				
Общий белок, г/л	62,7±0,7	69,0±0,7**	67,3±0,9*	68,8±1,0*

Альбумины, г/л	31,4±0,5	33,5±0,4*	32,8±0,4	33,4±0,6*
Глобулины, г/л	31,3±0,7	35,5±0,8**	34,5±0,7*	35,4±0,8**
Коэффициент А/Г	1,00	0,94	0,95	0,94
Мочевина, ммоль/л	4,6±0,3	3,5±0,2*	3,7±0,3	3,8±0,3
Креатинин, мкмоль/л	110,4±8,3	98,5±6,1	105,7±7,2	103,2±8,1
Билирубин общий, мкмоль/л	6,9±0,5	4,3±0,2**	4,7±0,3**	4,5±0,4**

О положительных изменениях в направленности азотистого обмена свидетельствует и снижение уровня мочевины в возрасте 30, 60 и 90 суток на 13,0 ($p>0,05$), 23,2 ($p<0,05$) и 23,9 % ($p<0,05$). Результаты наших исследований согласуются с данными других авторов о положительном влиянии фитобиотиков на биохимический статус животных [16–18].

Применение фитобиотиков способствует созданию оптимальных условий pH среды в желудочно-кишечном тракте, тем самым способствуя угнетению процесса размножения условно-патогенной и развитию полезной микрофлоры [19–22].

В нашем случае применение ДБА «Энервит» также способствовало нормализации состояния желудочно-кишечной микрофлоры телят (табл. 3).

Данные таблицы 3 свидетельствуют о том, что в исследуемые возрастные периоды (30, 60 и 90 суток) основными видами микроорганизмов в кишечнике животных опытной группы являются бифидобактерии – 11,1±1,0, 12,2±1,1 и 12,7±1,1 Ig КОЕ/г. В контрольной (1-й) группе животных количество бифидобактерий в эти возрастные периоды составило 8,2±0,7, 8,3±0,8 и 8,8±0,6 Ig КОЕ/г. У телят опытных групп их количество соответственно достоверно увеличивалось: во 2-й на 35,4 ($p<0,05$), 47,0 ($p<0,05$) и 44,3 % ($p<0,01$); в 3-й – на 34,1, 44,6 и 40,9 % ($p<0,05$); в 4-й – на 31,7, 43,4 и 38,6 % ($p<0,05$). Также была отмечена положительная динамика и в количестве лактобактерий у телят, получавших добавку (2–4 группы) на протяжении всего эксперимента. Так, у животных 2-й группы количество лактобактерий в 30-ти, 60-ти и 90-суточном возрасте составляло 6,0±0,2, 6,4±0,2 и 6,5±0,3 Ig КОЕ/г или соответственно больше контроля на 20,0 ($p<0,01$); 31,2 ($p<0,001$) и 58,5 % ($p<0,001$). Такая же положительная достоверная тенденция по содержанию лактобактерий по отношению к контрольной группе отмечена и в 3-й и 4-й группах животных.

У телят 2-й опытной группы по отношению к контрольной достоверно снизилась доля: лактозоположительных эшерихий на 30 % (30 сут) ($p<0,01$), 37,5 % (60 сут) ($p<0,01$) и 39,1 % (90 сут) ($p<0,001$), эпидермальных стафилококков на 34,6 % (30 сут) и 45 % (60 сут) ($p<0,01$ в обоих случаях), энтерококков на 35,5 % (30 сут) ($p<0,01$), 40,6 % (60 сут) ($p<0,05$) и 59,4 % (90 сут) ($p<0,01$). У животных 3-й и 4-й опытных групп также отмечено достоверное снижение по отношению к контролю доли лактозоположительных эшерихий, эпидермальных стафилококков и энтерококков на протяжении всего периода эксперимента.

Таблица 3.

Динамика содержания микроорганизмов в 1 г кала телят, Ig КОЕ/г

Виды микроорганизмов	Группы животных			
	1	2	3	4
	30 суток			
Бифидобактерии	$8,2 \times 10^8 \pm 0,7$	$11,1 \times 10^8 \pm 1,0^*$	$11,0 \times 10^8 \pm 0,9^*$	$10,8 \times 10^8 \pm 0,8^*$
Лактобактерии	$5,0 \times 10^7 \pm 0,1$	$6,0 \times 10^7 \pm 0,2^{**}$	$5,8 \times 10^7 \pm 0,3^*$	$5,9 \times 10^7 \pm 0,2^{**}$
<i>E. coli</i> лактозоположительная	$2,3 \times 10^7 \pm 0,1$	$1,6 \times 10^7 \pm 0,1^{**}$	$1,7 \times 10^7 \pm 0,1^{**}$	$1,9 \times 10^7 \pm 0,2$
<i>St. epidermidis</i>	$2,6 \times 10^4 \pm 0,1$	$1,7 \times 10^4 \pm 0,1^{**}$	$1,9 \times 10^4 \pm 0,1^{**}$	$1,8 \times 10^4 \pm 0,1^{**}$
Энтерококки	$3,1 \times 10^6 \pm 0,3$	$2,0 \times 10^6 \pm 0,2^{**}$	$2,0 \times 10^6 \pm 0,3^*$	$2,4 \times 10^6 \pm 0,2$
60 суток				
Бифидобактерии	$8,3 \times 10^8 \pm 0,8$	$12,2 \times 10^8 \pm 1,1^*$	$12,0 \times 10^8 \pm 0,9^*$	$11,9 \times 10^8 \pm 1,0^*$
Лактобактерии	$4,7 \times 10^7 \pm 0,1$	$6,4 \times 10^7 \pm 0,2^{***}$	$6,3 \times 10^7 \pm 0,2^{***}$	$6,1 \times 10^7 \pm 0,1^{***}$
<i>E. coli</i> лактозоположительная	$3,2 \times 10^7 \pm 0,2$	$2,0 \times 10^7 \pm 0,1^{**}$	$2,0 \times 10^7 \pm 0,1^{**}$	$2,4 \times 10^7 \pm 0,2^{**}$
<i>St. epidermidis</i>	$2,0 \times 10^4 \pm 0,1$	$1,1 \times 10^4 \pm 0,1^{**}$	$1,3 \times 10^4 \pm 0,1^{**}$	$1,5 \times 10^4 \pm 0,1^{**}$
Энтерококки	$3,2 \times 10^6 \pm 0,4$	$1,9 \times 10^6 \pm 0,3^*$	$2,3 \times 10^6 \pm 0,3$	$1,9 \times 10^6 \pm 0,4^*$
90 суток				
Бифидобактерии	$8,8 \times 10^8 \pm 0,6$	$12,7 \times 10^8 \pm 1,1^{**}$	$12,4 \times 10^8 \pm 0,9^*$	$12,2 \times 10^8 \pm 1,0^*$
Лактобактерии	$4,1 \times 10^7 \pm 0,1$	$6,5 \times 10^7 \pm 0,3^{***}$	$6,7 \times 10^7 \pm 0,4^{***}$	$6,6 \times 10^7 \pm 0,3^{***}$
<i>E. coli</i> лактозоположительная	$2,3 \times 10^7 \pm 0,1$	$1,4 \times 10^7 \pm 0,1^{**}$	$1,7 \times 10^7 \pm 0,2^*$	$1,5 \times 10^7 \pm 0,1^{**}$
<i>St. epidermidis</i>	-	-	-	-
Энтерококки	$3,2 \times 10^6 \pm 0,3$	$1,3 \times 10^6 \pm 0,1^{**}$	$1,5 \times 10^6 \pm 0,2^{**}$	$1,4 \times 10^6 \pm 0,1^{**}$

Содержание гемолитических эшерихий, патогенных микроорганизмов, а также *Proteus*, грибов рода *Candida* и клостридий в кале телят всех исследуемых групп не обнаружено.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Анализ результатов исследований показал, что применение телятам-молочникам, особенно 2-й группы, фитобиотика «Энервит» в дозе 20 г на голову способствовало нормализации морфо-биохимического состава крови: повышение

гематокритной величины – на 8,7 %, увеличение концентрации гемоглобина – 8,4 % и эритроцитов – на 15,0 %, общего белка – на 6,1 %; снижение мочевины – на 20,0 % и общего билирубина – на 35,7 %.

Применение фитобиотика «Энервит» также оказывает положительное влияние на процесс становления нормобиоза кишечника: увеличение количества бифидобактерий – на 42,2 % и лактобактерий – на 36,6 %; снижение лактозоположительных эшерихий – на 35,5 %, эпидермальных стафилококков – на 39,8 %, энтерококков – на 45,2 %.

Список литературы

1. Кильметова И. Р. Пробиотическая кормовая добавка Родафен в кормлении молодняка крупного рогатого скота / И. Р. Кильметова, Б. П. Струнин, И. А. Родин // Материалы международной научно-практической конференции «Научные основы повышения продуктивности и здоровья сельскохозяйственных животных», 23–25 мая 2018г., Краснодар. – Т.1. – С. 264–268.
2. Липатова О. А. Применение иммуномодуляторов для повышения иммунного статуса телят / Липатова О. А., Багманов М. А. // Ученые записки Казанской государственной академии ветеринарной медицины им. Н. Э. Баумана. – 2011. – Т. 206. – С. 125–129.
3. Топурия Л. Ю. Применение пробиотиков в ветеринарной медицине и животноводстве, монография. / Топурия Л. Ю., Топурия Г. М., Григорьева Е. В., Порваткин И. В., Ребезов М. Б. – Оренбург, 2016. – 192 с.
4. Буяров В.С. Эффективность применения фитобиотиков в птицеводстве (обзор) / В. С. Буяров, И. В. Червонова, В. В. Меднова, И. Н. Ильичева // Вестник аграрной науки. – 2020. – №3 (84). – С. 44–59.
5. Мерзленко Р. А. Эффективность использования фитобиотиков в животноводстве / Р. А. Мерзленко, О. А. Барило // Материалы национальной научно-производственной конференции «Актуальные вопросы современной ветеринарии», п. Майский, 1 декабря 2021 г. / ФГБОУ ВО Белгородский ГАУ. – Белгород: Изд-во ФГБОУ ВО Белгородский ГАУ, 2021. – С. 53–54.
6. Барило О. А. Влияние пребиотика «Энервит» на клинический статус и продуктивность телят молочного периода выращивания / О. А. Барило, Р. А. Мерзленко // Проблемы интенсивного развития животноводства и их решение: сборник научных трудов международной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых. – Брянск: Изд-во Брянский ГАУ, 2022. – С. 24–28.
7. Резниченко А. А. Эффективность применения фитобиотиков и пребиотиков в бройлерном птицеводстве / А. А. Резниченко, В. В. Мусиенко, Е. Н. Рябцева // Материалы национальной научно-производственной конференции «Актуальные вопросы современной ветеринарии», п. Майский, 1 декабря 2021 г. / ФГБОУ ВО Белгородский ГАУ. – Белгород: Изд-во ФГБОУ ВО Белгородский ГАУ, 2021. – С. 127–129.
8. Федотов В. А. Фитобиотик в кормлении птицы / В. А. Федотов, В. Е. Никитченко, Д. В. Никитченко, И. А. Егоров, Т. В. Егорова // Птицеводство. – 2018. – № 8. – С. 33–37.
9. Яковлева И. Н. Обоснование использования фитопрепаратов при выращивании цыплят-бройлеров / И. Н. Яковлева, М. С. Гурова // Материалы национальной научно-производственной конференции «Актуальные вопросы современной ветеринарии», п. Майский, 1 декабря 2021 г. / ФГБОУ ВО Белгородский ГАУ. – Белгород: Изд-во ФГБОУ ВО Белгородский ГАУ, 2021. – С. 153–154.
10. Меднова В. В. Использование фитобиотиов в животноводстве (обзор) / В. В. Меднова, А. Р. Ляшук, В. С. Буяров // Биология в сельском хозяйстве. – 2021. – № 1 (30). – С. 11–16.
11. Подобед Л. Фитобиотики в кормлении животных / Л. Подобед // Животноводство России. – Тематический выпуск. – 2019. – С. 34–35.
12. Мурзин И. И. Российский рынок пребиотиков: бизнес пищевых ингредиентов [Электронный ресурс] 2011. URL: <http://bfi-online.ru/aviews/index.html?msg1>.
13. Методические указания по бактериологической диагностике колибактериоза (эшерихиоза) животных: Минсельхоз России от 27.07.2000 г. № 13–7-2/2117. – М., 2000.

14. Методические указания по ускоренной индикации морганелл, сальмонелл и энтеропатогенных эшерихий с адгезивными антигенами в патологическом материале, кормах, объектах внешней среды в реакции коагулятинции: Минсельхоз России от 11.10.1999 г. № 13-7-2/1758. – М., 1999.
15. Полозюк О. Н. Гематология: учебное пособие / Полозюк О.Н., Ушакова Т.М. – Донской ГАУ. – Персиановский: Донской ГАУ, 2019. – 159 с.
16. Семененко М. П. Фармакодинамические эффекты кормовой добавки из вторичных растительных ресурсов. / Семененко М. П., Кузьмина Е. В., Долгов Е. П. // Сборник научных трудов ФГБНУ КНЦЗВ по материалам научно-практической конференции «Научные основы повышения продуктивности и здоровья сельскохозяйственных животных». – Краснодар, 2018. – Выпуск 7, Т. 2. – С. 171–176.
17. Ярован Н. И. Влияние препаратов природного происхождения на биохимический статус сельскохозяйственных животных и птиц при окислительном стрессе / Н. И. Ярован, Е. Ю Меркулов, Н. А. Комиссарова // Аграрная наука. – 2015. – № 6. – С. 18–20.
18. Ёылдырым Е. А. Результаты исследования эффективности действия сорбента фитобиотика Заслона-Фито в рационах дойных коров / Е. А. Ёылдырым, Л. А. Ильина, В. В. Солдатова [и др.] // Животноводство и кормопроизводство. – 2018. – Т. 101, № 1. – С. 154–160.
19. Бальшев А. В. Микробный пейзаж телят при использовании новых лактулозосодержащих биологически активных добавок / Бальшев А. В. // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. – 2011. – № 69. – С. 315–319.
20. Филиппова О. Б. Фитодобавки в рационах телят – альтернатива антибиотикам / О. Б. Филиппова, А. И. Фролов // Эффективное животноводство. – 2019. – №1(149). – С. 57–59.
21. Правдин В. Г. Фитаметабиотики: возможности и преимущества в функциональном кормлении животных / В. Г. Правдин, Л. З. Кравцова, И. В. Правдин, Н. А. Ушакова // В сборнике: Мировое птицеводство: состояние, динамика развития, инновационные перспективы (08–10 октября 2020 г.). Материалы XX Международной конференции. Российское отделение Всемирной научной ассоциации по птицеводству (ВНАП РФ); НП «Научный центр по птицеводству». – 2020. – С. 710–714.
22. Costa L. B. Review article: Herbal extracts and organic ac-ids as natural feed additives in pig diets. / Costa L. B., Luciano F. B., Miyada V. S., Gois F. D. // South African Journal of Animal Science. 2013. – 43(2). – P. 181–193. doi: 10.4314/sajas.v43i2.9

ASSESSMENT OF THE EFFECT OF DBA "ENERVIT" ON SOME MORPHO-BIOCHEMICAL PARAMETERS OF BLOOD AND THE COMPOSITION OF THE INTESTINAL MICROFLORA OF CALVES

Barilo O. A., Merzlenko R. A., Artyukh V. M.

*Belgorod SAU, Belgorod, Russia
E-mail: barilo.ox@yandex.ru*

The article presents the results of the conducted studies on the inclusion of biologically active additives "Enervit" in the diet of dairy calves of the Holstein breed, black and motley suit. 4 groups were formed (I-K- control, II, III and IV – experimental) with 10 heads each. The content is group in cells. Calves of all groups received the main diet, and II, III and IV – additionally with milk, they drank "Enervit" at the rate of 20 g per head once a day according to the following scheme: the second group – 5 days daily, and then 1 time every 5 days, the third – 7 days daily, then 1 time a day 7 days, the fourth – on the 1st, 4th, 7th and 10th days, then 1 time in 10 days. The greatest differences in morpho-

biochemical parameters of blood and the state of gastrointestinal microflora of calves relative to the control were obtained in group II. In the blood of group II calves, an increase in hematocrit value was noted – by 8.7 %, an increase in the concentration of hemoglobin – by 8.4 % and erythrocytes – by 15.0 %, total protein – by 6.1 %; a decrease in urea – by 20.0 % and total bilirubin – by 35.7 %. The use of the phytobiotic "Enervit" also has a positive effect on the process of formation of intestinal normobiosis: an increase in the number of bifidobacteria – by 42.2 % and lactobacilli – by 36.6 %; a decrease in lactose-positive escherichia – by 35.5 %, epidermal staphylococci – by 39.8 %, enterococci – by 45.2 %.

Keywords: enervit, dairy calves, morpho-biochemistry of blood, intestinal microflora.

References

1. Kilmotova I. R., Strunin B. P., Rodin I. A. *Probiotic feed additive Rodafen in the feeding of young cattle*, Materials of the international scientific and practical conference "Scientific foundations of increasing productivity and health of farm animals", **1**, 264 (Krasnodar, 2018).
2. Lipatova O. A., Bagmanov M. A. The use of immunomodulators to increase the immune status of calves, *Scientific notes of the Kazan State Academy of Veterinary Medicine named after N. E. Bauman*, **206**, 125 (2011).
3. Topuria L. Yu., Topuria G. M., Grigorieva E. V., Porvatkin I. V., Rebezov M. B. *The use of probiotics in veterinary medicine and animal husbandry*, monograph, 192 p. (Orenburg, 2016).
4. Buyarov V. S., Chervonova I. V., Mednova V. V., Ilyicheva I. N. The effectiveness of phytobiotics in poultry farming (review), *Bulletin of Agrarian Science*, **3 (84)**, 44 (2020).
5. Merzlenko R. A., Barilo O. A. *The effectiveness of the use of phytobiotics in animal husbandry*, Materials of the National scientific and production conference "Topical issues of modern veterinary medicine", P. Maysky, 53 (Belgorod State Veterinary University. – Belgorod: Publishing House of the Belgorod State Veterinary University, 2021).
6. Barilo O. A., Merzlenko R. A. *The influence of the prebiotic "Enervit" on the clinical status and productivity of calves of the dairy growing period*, Problems of intensive development of animal husbandry and their solution: a collection of scientific papers of the international scientific and practical conference of students, postgraduates and young scientists, 24 (Bryansk: Publishing House of the Bryansk State University, 2022).
7. Reznichenko A. A., Musienko V. V., Ryabtseva E. N. *The effectiveness of the use of phytobiotics and prebiotics in broiler poultry farming*, Materials of the National scientific and production conference "Topical issues of modern veterinary medicine", P. Maysky, 127 (Belgorod State Agrarian University. – Belgorod: Publishing House Belgorod State Agrarian University, 2021).
8. Fedotov V. A., Nikitchenko V. E., Nikitchenko D. V., Egorov I. A., Egorova T. V. Phytobiotic in poultry feeding, *Poultry breeding*, **8**, 33 (2018).
9. Yakovleva I. N., Gurova M. S. *Substantiation of the use of phytopreparations in the cultivation of broiler chickens*, Materials of the National Scientific and production conference "Topical issues of modern veterinary medicine", P. Maysky, 153 (Belgorod State Agrarian University. – Belgorod: Publishing House of the Belgorod State Veterinary University GAU, 2021).
10. Mednova V. V., Lyashuk A. R., Buyarov V. S. The use of phytobiotics in animal husbandry (review), *Biology in agriculture*, **1 (30)**, 11 (2021).
11. Podobed L. Phytobiotics in animal feeding, *Animal husbandry of Russia*, Thematic issue, 34 (2019).
12. Murzin I. I. *The Russian market of prebiotics: the business of food ingredients* [Electronic resource] (2011). URL: <http://bfi-online.ru/aviews/index.html?msg1>.
13. *Guidelines for the bacteriological diagnosis of colibacteriosis (escherichiosis) of animals*: Ministry of Agriculture of Russia dated 27.07.2000 No. 13-7-2/2117. (M., 2000).
14. *Guidelines for accelerated indication of morganella, salmonella and enteropathogenic escherichia with adhesive antigens in pathological material, feed, environmental objects in the coagglutination reaction*: Ministry of Agriculture of Russia dated 11.10.1999 No. 13-7-2/1758. (M., 1999).

15. Polozyuk O. N., Ushakova T. M. *Hematology: textbook*, 159 p. (Donskoy GAU. – Persianovsky: Donskoy GAU, 2019).
16. Semenenko M. P., Kuzminova E. V., Dolgov E. P. *Pharmacodynamic effects of feed additives from secondary plant resources*. Collection of scientific papers of FGBNU KNCZV based on the materials of the scientific and practical conference "Scientific foundations of increasing productivity and health of farm animals", **7, 2**, 171 (Krasnodar, 2018).
17. Yarovan N. I., Merkulov E. Yu., Komissarova N. A. The effect of drugs of natural origin on the biochemical status of farm animals and birds under oxidative stress, *Agrarian Science*, **6**, 18 (2015).
18. Yildirim E. A., Ilyina L. A., Soldatova V. V. [et al.] Results of the study of the effectiveness of the sorbent phytobiotic Zaslona-Phyto in the diets of dairy cows, *Animal husbandry and feed production*, **101, 1**, 154 (2018).
19. Balyshev A. V. Microbial landscape of calves when using new lactulose-containing biologically active additives, *Polythematic network electronic scientific journal of the Kuban State Agrarian University*, **69**, 315 (2011).
20. Filippova O. B., Frolov A. I. Herbal supplements in calves' diets – an alternative to antibiotics, *Effective animal husbandry*, 1(149), **57** (2019).
21. Pravdin V. G., Kravtsova L. Z., Pravdin I. V., Ushakova N. A. *Fitametabiotics: opportunities and advantages in functional animal feeding*, In the collection: *World and Russian poultry farming: state, dynamics of development, innovative prospects (October 08-10, 2020)*. Materials of the XX International Conference. The Russian branch of the World Scientific Association for Poultry Farming (VNAP RF); NP "Scientific Center for Poultry Farming", 710 (2020).
22. Costa L. B., Luciano F. B., Miyada V., Gois F. D. Review article: Plant extracts and organic acids as natural feed additives in the diets of pigs, *South African Journal of Animal Science*, **43(2)**, 181 (2013). doi: 10.4314/sajas.v43i2.9

УДК 591.53

ПРЫТКАЯ ЯЩЕРИЦА *LACERTA AGILIS* LINNAEUS, 1758 В РАЦИОНЕ ПТИЦ СТАВРОПОЛЬСКОГО КРАЯ

Блохин И. Г., Маловичко Л. В., Василевская А. А., Кузнецова В. В.

*Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева,
Москва, Россия*

E-mail: blokhin.ivan96@gmail.com

Проведено исследование значимости прыткой ящерицы *Lacerta agilis* Linnaeus 1758 в рационе птиц, обитающих в различных локалитетах Ставропольского края. Для этого проводили учёты с фиксацией поедания птицами ящериц, анализировали состав обнаруженных погадок и вскрытых желудков птиц. По результатам наших исследований прыткая ящерица присутствует в рационе 14 видов птиц, принадлежащих к 8 семействам. Самая частая встречаемость ящериц в желудках и погадках наблюдается у сизоворонки, степной пустельги и большой белой цапли.

Ключевые слова: прыткая ящерица, питание птиц, Ставропольский край.

ВВЕДЕНИЕ

Прыткая ящерица *Lacerta agilis* (Linnaeus 1758) является значимым звеном в трофических цепях как хищник и объект питания. Известно, что данный вид является частью рациона обыкновенной лисицы *Vulpes vulpes* [1], барсука (*Meles meles*) [2], американской норки (*Neogale vison*) [3]. Помимо этого, прыткие ящерицы составляют значительную часть рациона различных видов рептилий, таких как зеленая ящерица (*L. viridis*), желтобрюхий (*Coluber jugularis*), четырехполосый (*Elaphe quatuorlineata*), узорчатый (*E. dione*) [4] и эскулапов (*E. longissima*) полозы, обыкновенная медянка (*Coronella austriaca*) [5], восточная степная гадюка (*Vipera renardi*) [6], гадюка Никольского (*Vipera nikolskii*) [7–12].

Из представителей птиц прытких ящериц поедают такие виды, как серая цапля (*Ardea cinerea*) [13], рыжая цапля (*Ardea purpurea*) [14], обыкновенная пустельга (*Falco tinnunculus*) [15], кобчик (*Falco vespertinus*), степной лунь (*Circus macrourus*), луговой лунь (*Circus pygargus*), болотный лунь [16], чёрный коршун (*Milvus migrans*) [17], большой подорлик (*Aquila clanga*) [18], орлан – белохвост (*Haliaeetus albicilla*), обыкновенный сарыч (*Buteo buteo menetriesi*) [19], филин (*Bubo bubo*), домовый сыч (*Athene noctua*), серая неясыть (*Strix aluco*), змеяд (*Circaetus gallicus*), сизоворонка (*Coracias garrulus*) [20], удод (*Upupa epops*), жулан (*Lanius collurio*) [21], скворец (*Sturnus vulgaris*), певчий дрозд (*Turdus philomelos*) [22], зарянка (*Erithacus rubecula*), обыкновенный фазан (*Phasianus colchicus*), хохотунья (*Larus argentatus cachinnans*) [23], при этом доля прыткой ящерицы в рационе различных видов птиц может достигать 27 % [24].

Таким образом, прыткая ящерица является важным звеном трофических цепей, являясь объектом питания многих видов животных. Изучение доли ящериц в рационе птиц позволит дополнительно оценить значимость данного вида.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Для изучения роли прыткой ящерицы в питании разных видов птиц нами проводились исследования в различных районах Ставропольского края в 2018–2021 гг. (рис. 1).

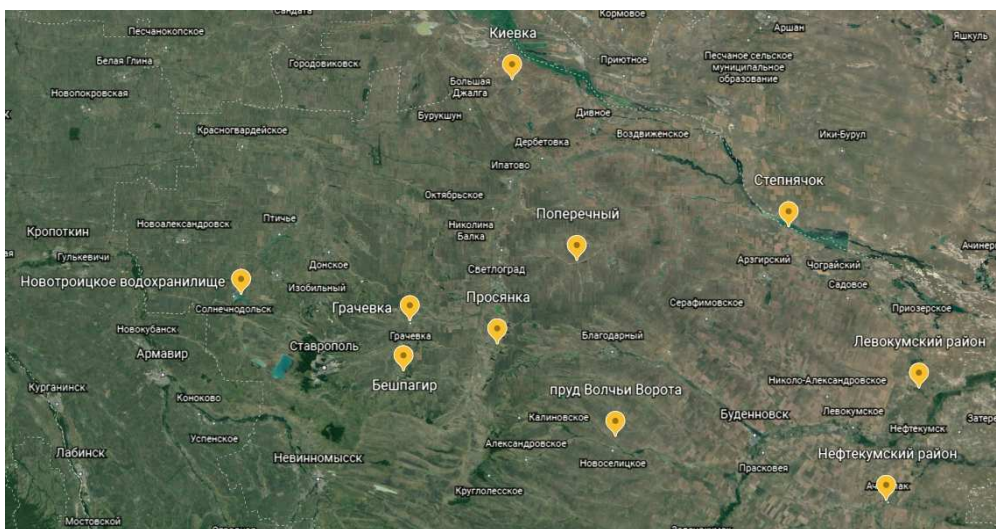


Рис. 1. Карта учётов и встреч с птицами

Питание птиц фиксировалось во время учётов в указанных локалитетах, а также по составу обнаруженных погадок и при вскрытии желудков (рис. 2–3).



Рис. 2. Погадки в гнезде серой цапли, состоящие из прытких ящериц



Рис. 3. Содержимое желудка сизоворонки

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

По результатам наших исследований, прыткая ящерица присутствует в рационе 14 видов птиц, принадлежащих к 8 семействам. Самая частая встречаемость ящериц в желудках и погадках птиц наблюдается у сизоворонки, степной пустельги и большой белой цапли (табл. 1).

Таблица 1

Встречаемость прыткой ящерицы в погадках птиц

Локалитет	Вид	Кол-во погадок, шт	Кол-во погадок с прыткой ящерицей	% встречаемости
Туркменский район	Серая цапля (<i>Ardea cinerea</i>)	28	3	11
Нефтекумский район	Степная пустельга (<i>Falco naumanni</i>)	18	11	61
Изобильненский район, Новотроицкое водохранилище	Большая белая цапля (<i>Ardea alba</i>)	9	4	44
Пруд Волчьих ворот	Обыкновенная кваква (<i>Nycticorax nycticorax</i>)	58	6	10
Всего		113	24	21,2

Стоит отметить, что в 3 желудках кавказского фазана, являющегося преимущественно растительной пищей, нами были зафиксированы остатки прыткой ящерицы, являющейся нехарактерной пищей для данного вида (табл. 2).

Таблица 2

Встречаемость прыткой ящерицы в желудках птиц

Вид	Кол-во желудков, шт	Кол-во желудков с прыткой ящерицей	% встречаемости
Фазан кавказский (<i>Phasianus colchicus</i>)	92	3	3,3
Сизоворонка (<i>Coracias garrulus</i>)	5	5	100
Всего	97	8	8,3

Наибольшее число случаев питания птиц ящерицами были зафиксированы нами в мае, когда высока активность ящериц, затем количество случаев уменьшается, доходя до минимума в августе, что можно объяснить снижением активности и встречаемости ящериц к этому времени и появлением других пищевых объектов [25, 26] (табл. 3, рис. 4). Кроме того, на май приходится пик гнездового сезона у многих видов птиц, что также может влиять на выбор кормовых объектов.

Таблица 3

Случаи поедания птицами ящериц

Локалитет	Вид	Время встречи	Кол-во случаев
Туркменский район, хутор Поперечный	Серая цапля (<i>Ardea cinerea</i>)	май	8
Грачёвский район, село Грачёвка	Ворон (<i>Corvus corax</i>)	май	2
Балка Бешпагир	Луговой лунь (<i>Circus pygargus</i>)	июнь	3
Арзгирский район, лагерь Степнячок	Сорока (<i>Pica pica</i>)	июль	2
Апанасенковский район, село Киевка	Сирийский дятел (<i>Dendrocopos syriacus</i>)	август	1
Терско-Кумский канал, посёлок Теркум	Грач (<i>Corvus frugilegus</i>)	сентябрь	2
Петровский район, с. Просянка	Серый сорокопут (<i>Lanius excubitor</i>)	октябрь	2

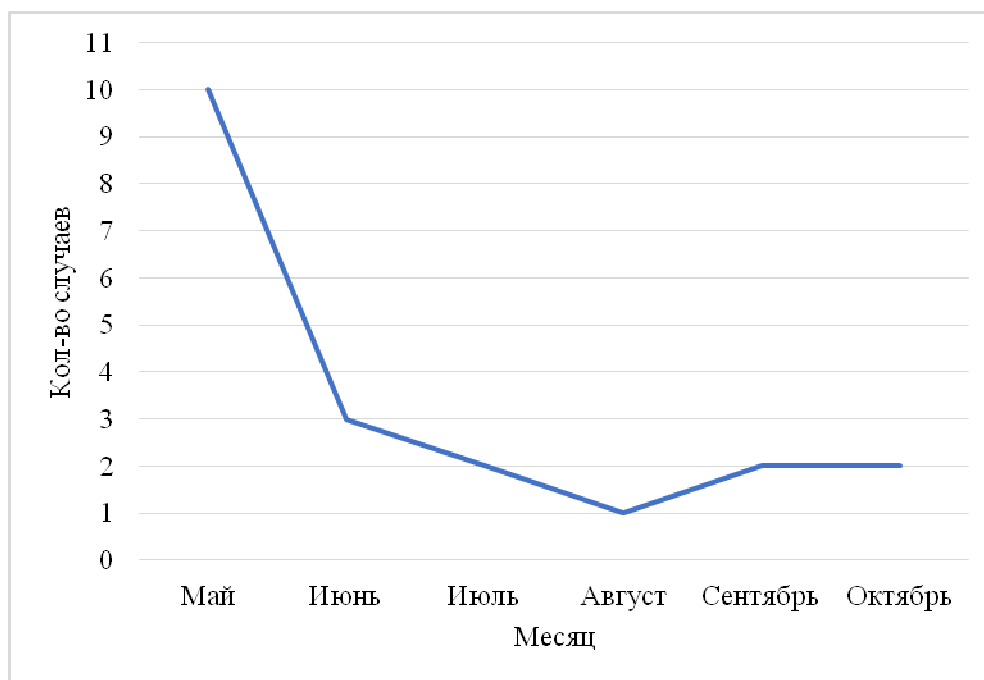


Рис. 4. Количество зафиксированных случаев поедания птицами ящериц

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На основании полученных данных можно заключить, что прыткая ящерица является важной частью рациона 14 видов птиц из 8 семейств. Наибольшая доля прыткой ящерицы была обнаружена в погадках степной пустельги, занесённой в Красную книгу Российской Федерации (1 категория – таксон, находящийся под угрозой исчезновения) и большой белой цапли, что подчёркивает значимость данного вида в рационе птиц. При этом прыткая ящерица обнаружена в желудках кавказского фазана, который является преимущественно растительным видом.

Список литературы

1. Казьмин В. Д. Хищничество корсака и обыкновенной лисицы на животных в репродуктивный период в степных экосистемах до линии Западного Маныча / В. Д. Казьмин // Степи Северной Евразии: материалы VIII Междунар. симпозиума. Оренбург. – 2018. – С. 435–438.
2. Яндарханов Х. С. Биологическая и экологическая характеристика барсука в условиях Чеченской республики / Х. С. Яндарханов, А. М. Батхив // Юг России: экология, развитие. – 2015. – Т. 10, № 1. – С. 154–160.
3. Савонин А. А. Сезонная динамика питания американской норки (*neovison vison* Schreber, 1777) в прибрежной зоне р. Большой иргиз / А. А. Савонин, Г. В. Шляхтин, А. О. Филипьев // Изв. Саратов. ун-та. Нов. сер. Сер. Химия. Биология. Экология. – 2015. – Т. 15, Вып. 3. – С. 95–102.
4. Вилкина Е. А. Особенности питания островной популяции узорчатого полоза (*elaphe diene*) острова круглый средней зоны волгоградского водохранилища / Е. А. Вилкина, В. Г. Табачишин, Г. В. Шляхтин // Современная герпетология. – 2000. – Вып. 1. – С. 66–68.
5. Гордеев Д. А. Биология и морфология медянки обыкновенной (*coronella austriaca* (Laurenti, 1768)) волгоградской области / Д. А. Гордеев // Научный журнал КубГАУ. – 2012. – №77(03). – С.1–9.

6. Бакиев А. Г. О питании восточной степной гадюки *Vipera renardi* (Christoph, 1861) в волжском бассейне / А. Г. Бакиев, Н. А. Литвинов, И. В. Шуршина // Современная герпетология. – 2010. – Т. 10, Вып. 1/2. – С. 54–56.
7. Табачишин В. Г. Особенности питания гадюки никольского (*Vipera nikolskii*) на гнездовой колонии птиц-норников в пойме р. Медведица / В. Г. Табачишин, М. В. Ермохин, О. А. Помазенко // Современная герпетология. – 2012. – Т. 12, Вып. 3/4. – С. 164–166.
8. Красавцев Б. А. Биологические наблюдения над прыткой ящерицей (*Lacerta agilis exigua* Eichw.). В сб. "Вопросы экологии и биоценологии". – 1936. – Вып. 3. Л.
9. Щепотьев Н. В. К вопросу о хозяйственном значении прыткой ящерицы (*Lacerta agilis exigua* Eichw) в защитных лесных полосах / Н. В. Щепотьев // Зоологический журнал. – 1952. – Т. 31, Вып. 4. – С. 574–583.
10. Андрушко А. М. Пресмыкающиеся Казахского нагорья и их хозяйственное значение. / Андрушко А. М. – Уч. зап. Ленингр. ун-та. – 1954. – № 181, Вып. 38.
11. Щербак Н. Н. Земноводные и пресмыкающиеся Крыма / Н. Н. Щербак – изд – во Наукова Думка, Киев – 1966. – 240 с.
12. Тертышников М. Ф. Экологический анализ и биоценологическое значение популяций прыткой ящерицы (*Lacerta agilis exigua* Eichw., 1831) и разноцветной ящурки (*Eremias arguta deserti* Gm., 1789) в условиях Ставропольской возвышенности: дис. ... канд. биол. наук. / Тертышников М. Ф. – Киев, 1972. – 182 с.
13. Винокуров А. А. Материалы по биологии некоторых голенастых птиц Приазовских лиманов / А. А. Винокуров // Охрана природы и озеленение. – 1960. – Том 4. – С. 55–67.
14. Guarino F. M. Population size, age structure and life expectancy in a *Lacerta agilis* (Squamata; Lacertidae) population from northwest Italian Alps / Guarino F. M., Crovetto F., Mezzasalma M., Salvidio S. // North-western Journal of Zoology. – 2015. – Т. 11, № 2. – P. 241–246.
15. Олейников Н. С. Искусственные гнездовья для диких уток (Из опыта Сладко Лиманского охотхозяйства). / Олейников Н. С. – М.: 1966. – С. 1–111;
16. Ильях М. П. Филин *Bubo bubo* на Ставрополье / М. П. Ильях // Русский орнитологический журнал. – 2017. – Т. 26, Экспресс-выпуск. – С. 299–323
17. Волчанецкий И. Б. Очерк орнитофауны Восточного Предкавказья / Волчанецкий И. Б. // Тр. НИИ биол. и биол. ф-та Харьков. ун-та, 1959. – 28. – С. 7–38.
18. Соколов А. Ю. Представители родов *Aquila* и *Haliaeetus* в гнездовой фауне центрального Черноземья: современное состояние и перспективы существования / А. Ю. Соколов, В. С. Сарычев, А. А. Власов // Материалы конференций, Пернатые хищники и их охрана. – 2019. – 38. – DOI: 10.19074/1814-8654-2019-38-109-126.
19. Жарков И. В. Материалы к изучению роли хищных птиц в Кавказском заповеднике / И. В. Жарков // Тр. Кавказского заповедника. – 1938. – 1. – С. 87–102.
20. Martin J. Amphibians and reptiles as prey of birds in southwestern Europe. – 1990.
21. Очаповский В. С. Материалы по фауне птиц Краснодарского края: автореф. дисс. канд. биол. наук. / Очаповский В. С. – Одесса,; 1969.
22. Киселёв Ф. А. Сельскохозяйственное значение чайки-хохотуны *Larus argentatus cachinnan* / Ф. А. Киселёв // Русский орнитологический журнал. – 2009. – Т. 18, Экспресс-выпуск. – 511 – С. 1595–1603.
23. Пекло А. М. О поедании рептилий птицами в Краснодарском крае / А. М. Пекло, В. С. Очаповский // Русский орнитологический журнал. – 2013. – Т. 22, Экспресс-выпуск. – 860. – С. 770–775.
24. Епланова Г. В. Сезонная активность настоящих ящериц в Самарской области / Г. В. Епланова // Вопросы герпетологии. – 2008. – С. 127–129.
25. Песков А. Н. К фенологии пресмыкающихся Жигулевского заповедника / Песков А. Н., Балтушко А. М., Бакиев А. Г., Епланова Г. В., Вехник В. П. // В сборнике: Заповедное дело России: принципы, проблемы, приоритеты. Материалы Международной научной конференции. Жигулевский государственный природный заповедник им. И. И. Спрыгина. – 2003. – С. 38–40.
26. Щепотьев Н. В. К изучению популяции прыткой ящерицы *Lacerta agilis exigua* Eichw. в условиях лесостепи Нижнего Заволжья / Щепотьев Н. В. // Зоол. журн. – 1948. – Т. 27, Вып. 4. – С. 363–370.

THE SAND LIZARD LACERTA AGILIS LINNAEUS 1758 IN THE BIRD DIET OF THE STAVROPOL TERRITORY

Blokhin I. G., Malovichko L. V., Vasilevskaya A. A., Kuznetsova V. V.

*Russian State Agrarian University - Moscow Timiryazev Agricultural Academy, Moscow, Russian
E-mail: blokhin.ivan96@gmail.com*

The Sand Lizard is an important link in trophic chains, being a food item for many animal species. Among the bird species, the sand lizard is eaten by the grey heron (*Ardea cinerea*), red heron (*Ardea purpurea*), common kestrel (*Falco tinnunculus*), pygmy hare (*Falco vespertinus*), steppe harrier (*Circus macrourus*) and many other species and the proportion of the sand lizard in the diet of different bird species can be as high as 27 %. A study of the proportion of the sand lizard in the diet of birds will further assess the importance of this species. To study the role of the sand lizard in the diet of different bird species, we carried out studies in different districts of Stavropol Krai in 2018–2021. Further analysis of the collected samples was conducted at the Department of Zoology of the Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy. Bird nutrition was recorded during censuses in the specified localities, as well as from the composition of found pellets and from stomach dissections. According to the results of our surveys, the sand lizard is present in the diet of 14 bird species belonging to 8 families. The most frequent occurrence of lizards in the stomachs and pellets of birds is observed in Siskins, Kestrels and Great White Herons. It is worth noting that the steppe kestrel is included in the Red Book of the Russian Federation as an endangered species, which makes research into the role of lizards in feeding even more relevant. It is worth noting that in 3 stomachs of the North Caucasian Pheasant, a predominantly herbivorous species, we recorded remains of the sand lizard, which is an uncharacteristic food for this species. We recorded the highest number of bird feedings in May, when lizard activity is high, then the number of cases decreases, reaching a minimum in August, which can be explained by the reduced occurrence of lizards by this time and the appearance of other food items. Thus, to summarise the above, the sand lizard is not only an important link in evolutionary processes, as it is often considered, but also an important node in trophic chains and one of the species that shape the biodiversity of occupied habitats.

Keywords: sand lizard, bird nutrition, Stavropol Territory.

References

1. Kazmin V. D. Predation by corsac and common fox on animals during the reproductive period in steppe ecosystems to the line of Western Manych, *Steppes of Northern Eurasia: Proceedings of VIII International Symposium*. (Orenburg, 2018), p. 435.
2. Yandarkhanov Kh. S., Batkhiev A. M. Biological and ecological characteristics of badger in conditions of the Chechen Republic, *South of Russia: Ecology, development*, **10, 1**, 154 (2015).
3. Savonin A. A., Shlyakhtin G. V., Filippichev A. O. Seasonal dynamics of feeding of American mink (*Neovison vison* Schreber, 1777) in the coastal zone of the Bolshoi Irgiz River, *Izv. of Sarat. Ser. Chemistry. Biology. Ecology*, **15, 3**, 95 (2015).

4. Vilkina E. A., Tabachishin V. G., Shlyakhtin G. V. Peculiarities of feeding of island population of patterned racer (*Elaphe dione*) of Round Island in the middle zone of Volgograd Reservoir, *Modern Herpetology*, **1**, 66 (2000).
5. Gordeev D. A. Biology and morphology of common cocklebur (*Coronella austriaca* (Laurenti, 1768)) of Volgograd Region, *Scientific journal of KubGAU*, **77**, **3**, 1 (2012).
6. Bakiev A. G., Litvinov N. A., Shurshina I. V. On feeding of oriental steppe viper *Vipera renardi* (Christoph, 1861) in Volga basin, *Modern Herpetology*, **10**, **1/2**, 54 (2010).
7. Tabachishin V. G., Ermokhin M. V., Pomazenko O. A. Peculiarities of feeding of *Vipera nikolskii* (*Vipera nikolskii*) on a nesting colony of nornbills in the floodplain of the Medveditsa River, *Modern Herpetology*, **12**, **3/4**, 164 (2012).
8. Krasavtsev B. A. Biological observations on the sand lizard (*Lacerta agilis exigua* Eichw.). In *Problems of Ecology and Biocenology*, **3** (1936).
9. Shchepot'ev N. V. To a question on economic significance of the jumpy lizard (*Lacerta agilis exigua* Eichw.) in forest shelter belts, *Zoological journal*, **31**, **4**, 574 (1952).
10. Andrushko A. M. The reptiles of the Kazakh Uplands and their economic importance, *Uch zapas. of Leningrad University*, **181**, **38** (1954).
11. Shcherbak N. N. *Amphibians and reptiles of Crimea* (Naukova Dumka, Kyiv, 1966).
12. Tertysnikov M. F. Ecological analysis and biocenological significance of the populations of the jumping lizard (*Lacerta agilis exigua* Eichw., 1831) and the multicoloured lizard (*Eremias arguta deserti* Gm., 1789) in the Stavropol upland: *Dr. Sci. ... Ph.D. in Biology* (Kiev, 1972).
13. Vinokurov A. A. Materials on biology of some shiners of Azov estuaries, *Nature Protection and landscaping*, **4**, 54 (1960).
14. Guarino F. M. Population size, age structure and life expectancy in a *Lacerta agilis* (Squamata; Lacertidae) population from northwest Italian Alps, *North-Western Journal of Zoology*, **11**, **2**, 241 (2015).
15. Oleinikov N. S. *Artificial nesting boxes for wild ducks* (Sladko-Limanskiy game farm, 1966).
16. Ilyukh M. P. Owl *Bubo bubo* in Stavropol, *Russian Ornithological Journal*, **26**, 299 (2017).
17. Volchanetsky I. B. Sketch of the ornithofauna of the Eastern Precaucasus, *Proc. Research Institute of Biol. and Biology*, **28** (Faculty of Economics, Kharkiv University, 1959), p. 7.
18. Sokolov A. Yu. Sarychev V. S., Vlasov A. A. Representatives of genera *Aquila* and *Haliaeetus* in breeding fauna of Central Black Earth Region: current status and prospects, *Proceedings of conferences, Raptors and their protection*, **38**, (2019).
19. Zharkov I. V. Materials for the study of the role of birds of prey in the Caucasus Nature Reserve, *Tr. of the Caucasian reserve*, **1**, 87 (1938).
20. Martin J. *Amphibians and reptiles as prey of birds in southwestern Europe* (Museo Nacional de Ciencias Naturales de Madrid, 1990).
21. Ochapovsky V. S. Materials on bird fauna of Krasnodar Krai. Dissertation of Candidate of Biological Sciences (Odessa, 1969).
22. Kiselev F. A. Agricultural importance of the Common Gull *Larus argentatus cachinnan*, *Russian Ornithological Journal*, **18**, **511**, 1595 (2009).
23. Peklo A. M. Ochapovsky V. S. On the eating of reptiles by birds in Krasnodar Krai, *Russian Ornithological Journal*, **22**, **860**, 770 (2013).
24. Eplanova G. V. Seasonal activity of true lizards in the Samara Region, *Voprosy Herpetologii* **127** (2008).
25. Peskov A. N., Baltushko A. M., Bakiev A. G., Eplanova G. V., Vekhnik V. P. Phenology of reptiles of Zhigulevskiy Reserve, *Materials of the International Scientific Conference*, (Zhigulevsky state nature reserve named after I.I.Sprygin, 2003), p. 38.
26. Shchepot'ev N. V. To the study of population of jumping lizard *Lacerta agilis exigua* Eichw. in forest-steppe conditions of Nizhny Zavolzhye, *Zool. jurn*, **27**, **4**, 363 (1948).

УДК 57.034; 577.3; 591.1

СВЯЗЬ УЛЬТРАДИАННЫХ РИТМОВ ТЕМПЕРАТУРЫ ТЕЛА ЛАБОРАТОРНЫХ МЫШЕЙ С ФЛУКТУАЦИЯМИ РАДИОАКТИВНОГО РАСПАДА ПРИРОДНОГО ИЗОТОПА КАЛИЯ-40

Диатроптов М. Е.^{1,2}, Диатроптова М. А.³

¹ФГБУН Институт проблем экологии и эволюции им. А. Н. Северцова РАН, Москва, Россия

²ФГБНУ НИИ ревматологии им. В. А. Насоновой, Москва, Россия

³НИИ морфологии человека им. акад. А. П. Авцына ФГБНУ «Российский научный центр имени академика Б. В. Петровского», Москва, Россия

E-mail: diatrom@inbox.ru

Показан синхронный характер флуктуаций радиоактивного распада калия-40 между двумя измерительными системами, находящимися на удалении в 1,5 км друг от друга. Этот факт указывает на наличие внешнего фактора, влияющего на флуктуации радиоактивного распада, и предполагает обоснованность сопоставления интенсивности флуктуаций распада ⁴⁰K с динамикой изменения температуры тела по группе мышей. Методом наложенных эпох установлено, что периоды значимых приростов температуры тела мышей приходятся на повышение интенсивности флуктуаций радиоактивности ⁴⁰K. Также между этими процессами наблюдаются статистически значимые положительные коэффициенты корреляции. Все эти факты указывают на наличие связи между регистрируемой интенсивностью флуктуаций радиоактивного распада ⁴⁰K и динамикой температуры тела мышей, которая в свою очередь отражает ультрадианные циклы активность/покой.

Ключевые слова: ультрадианные ритмы, температура тела, цикл активность/покой, синхронизаторы, радиоактивный распад.

ВВЕДЕНИЕ

Работа по поиску внешних синхронизаторов ультрадианных ритмов является актуальной, т.к. помимо фундаментального значения, выявление таких факторов позволит корректировать патологические состояния, связанные с нарушением баланса симпатического и парасимпатического вегетативного тонуса и цикличности активность/покой. В настоящее время цикл активности/покой у мелких грызунов, составляющий 1–5 ч, считается эндогенным [1–4]. Однако установлен факт взаимосвязи ультрадианных ритмов активности двух изолированных друг от друга групп лабораторных мышей, находящихся без световых ориентиров день/ночь [5], что указывает на существование внешнего не светового фактора среды, влияющего на активность животных.

Ранее нами было установлено, что ультрадианные ритмы температуры тела животных, отражающих цикл активность/покой, связаны с флуктуациями интенсивности счета нейтронного монитора у поверхности Земли [6]. Однако, т. к. интенсивность потока этих частиц крайне мала, данный фактор является только

маркером другого, пока не установленного, биотропного фактора, влияющего на активность животных.

Примечательным является факт совпадения основных гармоник установленных в динамике температуры тела у лабораторных животных с таковыми, выявленными в процессе альфа-распада [7, 8]. Предполагается, что флуктуации в радиоактивном распаде определяются не только случайным образом, но и на их интенсивность действует пока не выявленный внешний фактор среды [9, 10]. На настоящий момент нельзя утверждать о прямой взаимосвязанности этих биологических и физических процессов, но выявленные закономерности могут быть интерпретированы как возможное использование данных по флуктуациям радиоактивного распада в качестве маркера пока не установленного биотропного фактора среды.

По данным литературы флуктуации бета-распада более значимы, чем альфа-распада, и для их выявления не требуется сложный математический аппарат [11–13]. Перспективным представляется изучение динамики флуктуаций от ^{90}Sr – ^{90}Y источника, но он доступен только узкому кругу исследователей. В качестве альтернативного источника радиоактивности можно рассматривать калийные удобрения. Природный изотоп калия-40 является источником, как бета-частиц, так и гамма-квантов с энергией 1,46 МэВ которые возникают при электронном захвате $^{40}\text{K} \rightarrow ^{40}\text{Ar}$.

Цель исследования – сопоставить динамики флуктуаций радиоактивности природного изотопа ^{40}K и температуры тела лабораторных мышей, изолированных от внешнего режима ночь/день условиями постоянного освещения.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Исследование проведено на половозрелых самцах мышей линии С57В1/6, массой тела 26–30 г ($n=18$), полученных из вивария ИППЭ РАН. При работе с экспериментальными животными руководствовались Директивой 2010/63/EU Европейского парламента и Совета ЕС об охране животных, используемых в научных целях. Эксперимент одобрен комиссией по биоэтике ИПЭЭ РАН (Протокол № 14 от 15. 01. 2018 г.).

Мышей содержали по две особи в клетке (40×14.5×24 см) при постоянном умеренном освещении (200–300 лк от источника с цветовой температурой 4200 К). В условиях содержания всех животных в одной комнате между особями наблюдается синхронизация активности, поэтому для получения более репрезентативной выборки исследование проводилось в трех помещениях, находящихся друг от друга на расстоянии 1–2 км. В каждом из таких помещених находилось по три клетки (т.е. по 6 животных). Доступ к воде и пище был свободным. С целью исключить беспокойство животных обслуживающим персоналом, запас воды и еды был достаточен для нормального жизнеобеспечения в течение 20 сут.

Температура регистрировалась датчиками ДТН4-28/ТЛ4-28 (ООО "ЭМБИ РЕСЕРЧ") имплантированных в брюшную полость животных не позднее, чем за 20 сут до начала эксперимента. При операции в качестве анестетика использовали золетил (Virbac Sante Animale) в дозе 5–7 мг/кг внутримышечно. Измерения

температуры тела выполнялись с шагом 1 мин. После проведения эксперимента данные о температуре тела считывали бесконтактным способом. Исследование было проведено с 12 по 26 сентября 2022 г.

Интенсивность потока радиации от ^{40}K , входящего в состав сульфата калия (ОАО «Буйский химический завод», Костромская обл.), измерялась с помощью сцинтилляционных детекторов Atom Fast 8850 и Atom Fast 77100 (НПП «КБ Радар», Москва), основой которого является кристалл йодида цезия (CsI). Размером кристалла в Atom Fast 8850 составляет 8x8x50 мм, а в Atom Fast 77100 – 7x7x100 мм. При анализе связи интенсивности радиоактивного распада с активностью мышей данные по двум приборам усреднялись. С целью изоляции системы от атмосферных гамма-квантов пакеты с сульфатом калия вместе с детектором были помещены в свинцовый короб 15x15x15 см и толщиной стенки 12 мм. Такой экран ослаблял фоновые значения скорости счета примерно в 10 раз.

Статистическую обработку полученных результатов проводили в программе Statistica 7.0 (StatSoft, Inc.). Для выявления связи динамик температуры тела и радиоактивного распада использованы методы вычисления коэффициента корреляции по Пуассону (r), метод наложения эпох. Статистическую значимость различий между значениями показателей определяли в зависимости от характера распределения по U критерию Манна-Уитни (ненормальное) или t критерию Стьюдента (нормальное). Результаты расчетов считали статистически значимыми при $p < 0.05$.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Выполнение поставленной в работе задачи было бы бессмысленным, если не убедиться в наличии определенной степени синхронности между показателями флуктуации радиоактивного распада полученных от двух установок (свинцовый короб с 2,5 кг сульфата калия и датчиком в центре), находящихся в разных помещениях. Интенсивности флуктуаций распада рассчитывали как модуль ежеминутных изменений значения скорости счета. Далее проводили сглаживание кривых путем усреднения плавающим окном в 13 мин. Такой параметр нами был введен из предположения, что биотропное действие оказывают именно изменения фактора внешней среды, а не его абсолютная величина. На рисунке 1 представлен пример динамик интенсивности флуктуаций радиоактивного распада ^{40}K на двух независимых установках. В различные календарные даты (с 12 по 26 сентября 2022 г) коэффициенты корреляции изменялись в диапазоне от 0,02 до 0,21. Только 13, 22 и 23 сентября статистическая значимость коэффициентов корреляции отсутствовала. Нужно отметить, что прибор Atom Fast 77100 имеет в два раза более крупный кристалл, чем Atom Fast 8850. Чем больше кристалл, тем меньше должна быть теоретическая погрешность измерения. Интенсивность изучаемых флуктуаций в приборе Atom Fast 8850 была выше, чем у Fast 77100 всего на 20 %. Выявленное преобладание синхронных изменений интенсивности флуктуаций радиоактивности калия-40 само по себе представляет большой интерес и заслуживает последующего изучения. Необходимо проведение дальнейшего длительного эксперимента со значительно более крупными кристаллами.

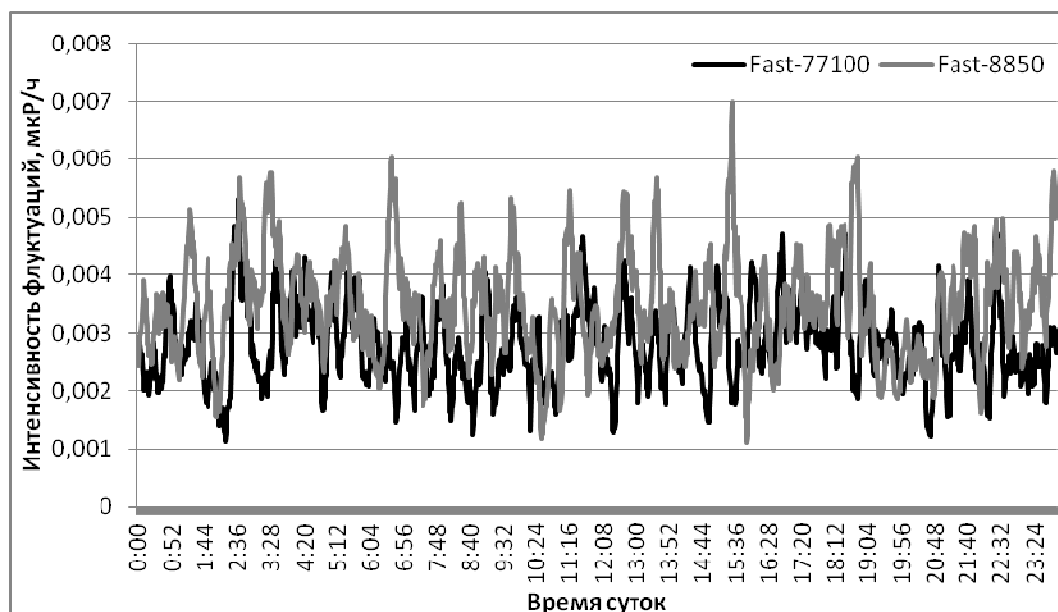


Рис. 1. Динамика флуктуаций радиоактивного распада ^{40}K в условиях экранирования от внешнего радиационного фона свинцовым коробом с толщиной стенок 12 мм. Две аналогичные установки расположены на расстоянии 1,5 км. Представлены данные за 25 сентября 2022 г. Коэффициент корреляции составил 0,18 ($p < 0,001$).

На рисунке 2 представлены примеры сопоставления интенсивности флуктуаций радиоактивного распада ^{40}K и ежеминутных изменений температуры тела мышей. Исходя из предположения о неравнозначности действия внешнего фактора на отдельных животных, вычисляли медианное значение ежеминутных изменений температуры тела по группе мышей, что обеспечивало выделение синхронных между наибольшим количеством особей моментов активизаций. Коэффициенты корреляции между интенсивностью флуктуаций радиоактивного распада ^{40}K и ежеминутными изменениями температуры тела мышей в разные дни колебались от 0,06 до 0,22, но всегда были статистически значимыми ($p < 0,01$). При выявлении связи динамики внешнего фактора среды как возможного синхронизатора ультрадианных ритмов нужно понимать, что чувствительность организма к внешнему воздействию может изменяться в зависимости от фазы цикла активность/покой. Сразу после периода активности очередное повышение интенсивности внешнего фактора не приводит к возбуждению животного, и, наоборот – перед пробуждением животного самое незначительное повышение интенсивности внешнего воздействия приводит к пробуждению и резкому повышению температуры тела. Вероятно, по этой причине высоких значений коэффициента корреляции не выявляется.

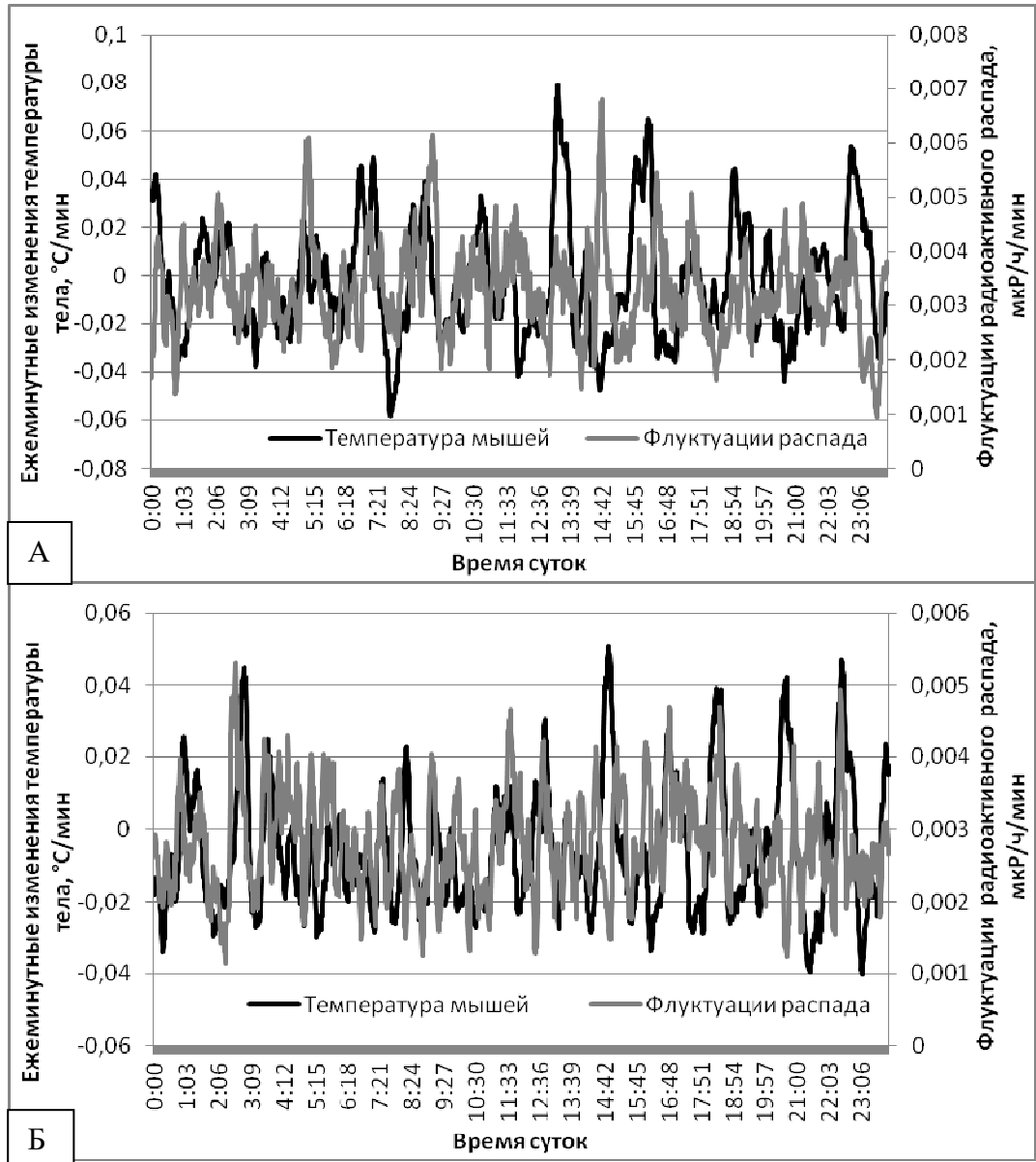


Рис. 2. Динамика ежеминутных изменений температуры тела мышей в группе мышей ($n=18$) и интенсивности флуктуаций радиоактивного распада ^{40}K . А – 24 сентября 2022 г ($r=0,10$). Б – 25 сентября 2022 г ($r=0,22$).

Можно заметить, что не каждому повышению уровня флуктуаций соответствует повышение температуры тела, но почти каждому повышению температуры тела соответствует повышение интенсивности флуктуаций радиоактивного распада (Рис. 2). Поэтому наиболее убедительным приемом,

позволяющим оценить связь ритмов организма с динамикой внешнего фактора среды, является метод наложенных эпох. Распределение методом наложенных эпох интенсивности флуктуаций распада калия-40 относительно точек максимума ежеминутных приростов температуры тела в группе мышей представлены на рисунке 3. В момент максимумов динамики температуры тела (нулевая точка по оси абсцисс) наблюдаются статистически значимо более высокие относительно среднего уровня показатели интенсивности флуктуаций радиоактивного распада ^{40}K ($p < 0.001$). Таким образом, периоды значимых приростов температуры тела мышей сопровождаются повышением интенсивности флуктуаций природного изотопа калий-40, что указывает на связь между этими параметрами.



Рис. 3. Распределение методом наложенных эпох значений интенсивности флуктуаций радиоактивности ^{40}K относительно точек максимумов ежеминутных приростов температуры тела по группе мышей. Представлены медианы и интерквартильный размах.

Несмотря на то, что калий-40 содержится в организме и является источником внутренней радиоактивности, по нашему мнению в силу своей низкой радиоактивности интенсивность флуктуаций его распада не может непосредственно определять выявленный биологический эффект. Дальнейшие исследования должны быть направлены на поиск причины вызывающей флуктуации радиоактивного распада и выявлению других физических мишеней для этого неустановленного фактора. В частности, это могут быть изменения свойств воды, имеющие аналогичный спектр колебаний в около-часовом диапазоне периодов [14] или механизмы энергетического обеспечения клеток [15, 16]. По мнению Б. М. Владимирского на все эти процессы напрямую, или на методы их

регистрации, влияют низкочастотные электромагнитные поля, которые и могут являться искомым биотропным фактором среды [17].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Динамика интенсивности флуктуаций радиоактивного распада ^{40}K в условиях экранирования от внешнего радиационного фона свинцовым коробом с толщиной стенок 12 мм синхронна между установками, находящимися на расстоянии 1,5 км. Этот факт указывает на неслучайный характер исследуемых флуктуаций и требует детального дальнейшего изучения.
2. Ультрадианные ритмы активности мышей, находящихся в условиях постоянного неяркого освещения, синхронизированы с флуктуациями радиоактивного распада ^{40}K – в моменты повышения интенсивности флуктуаций радиоактивности наблюдается активизация животных и резкое повышение их температуры тела.

На основании представленных результатов, а также наших предыдущих исследований [5, 6] можно утверждать, что активность мышей не случайна во времени, а определяется активизирующим влиянием на организм квазиритмического фактора внешней среды. Маркерами этого фактора являются флуктуации скорости счета нейтронных мониторов у поверхности Земли и установленные в настоящей работе флуктуации радиоактивного распада калия-40. Выявление физической причины таких флуктуации или внутриорганизменных механизмов реализации действия этого не учтенного фактора среды приведет к разработке способа немедикаментозного метода влияния на нервную систему организма с целью коррекции ряда заболеваний, в том числе и нарушений сна.

Список литературы

1. Blum I. D. A highly tunable dopaminergic oscillator generates ultradian rhythms of behavioral arousal / I. D. Blum, L. Zhu, L. Moquin, M. V. Kokoeva, A. Gratton, B. Giros, K.-F. Storch // *Elife*. – 2014. – Vol. 3.
2. Blessing W. Timing of activities of daily life is jaggy: How episodic ultradian changes in body and brain temperature are integrated into this process / W. Blessing, Y. Ootsuka // *Temperature (Austin)*. – 2016. – Vol. 3, № 3. – P. 371–383.
3. Bourguignon C. Control of rest: activity by a dopaminergic ultradian oscillator and the circadian clock / C. Bourguignon, K. F. Storch // *Frontiers in Neurology*. – 2017. – Vol. 8. – P. 614.
4. Goh G. H. Episodic ultradian events-ultradian rhythms / G. H. Goh, S. K. Maloney, P. J. Mark, D. Blache // *Biology (Basel)*. – 2019. – Vol. 8, № 1.
5. Диатроптов М. Е. О взаимосвязанности изменений ультрадианных ритмов температуры тела двух изолированных друг от друга групп мышей / М. Е. Диатроптов, Г. Н. Арсеньев, В. С. Шатеева, Н. В. Лигун, В. Б. Дорохов // *Ученые записки Крымского федерального университета имени В. И. Вернадского. Биология. Химия*. – 2022. – Т. 8, № 1. – С. 76–88.
6. Диатроптов М. Е. Ультрадианные около 2-4-часовые ритмы температуры тела у лабораторных грызунов зависят от влияния внешнего гелиогеофизического фактора среды, связанного с интенсивностью флуктуаций скорости счёта нейтронного монитора / М. Е. Диатроптов., М. А. Диатроптова, А. В. Суров // *Бюллетень экспериментальной биологии и медицины*. – 2022. – Т. 173, № 1. – С. 108–114.

7. Панчелюга В. А. Локальный фрактальный анализ шумоподобных временных рядов методом всех сочетаний в диапазоне периодов 1–115 мин / В. А. Панчелюга, М. С. Панчелюга // Биофизика. – 2015. – Т. 60, № 2. – С. 395–410.
8. Диатроптов М. Е. Околочасовые ритмы температуры тела у млекопитающих и птиц с разным уровнем обмена веществ / М. Е. Диатроптов, В. А. Панчелюга, М. С. Панчелюга, А. В. Суров // Доклады Российской Академии Наук. Науки о жизни. – 2020. – Т. 494, № 1. – С. 472–476.
9. Пархомов А. Г. Ритмические и спорадические изменения скорости бета распадов. Возможные причины / А. Г. Пархомов // Журнал Формирующихся Направлений Науки. – 2018. – Т. 21–22, № 6. – С. 86–96.
10. Панчелюга В. А. О внешних воздействиях на скорость радиоактивного распада / В. А. Панчелюга // Метафизика. – 2020. – № 4 (38). – С. 10–34.
11. Parkhomov A. G. Bursts of Count Rate of Beta-Radioactive Sources during Long-Term Measurements / A. G. Parkhomov // International Journal of Pure and Applied Physics. – 2005. – Vol.1, № 2. – P. 119–128.
12. Бауров Ю. А. Экспериментальные исследования скорости β -распада радиоактивных элементов / Ю. А. Бауров, Ю. Г. Соболев, Ю. В. Рябов, В. Ф. Кушнирук // Ядерная физика. – 2007. – Т. 70, № 11. – С. 1875–1885.
13. Пархомов А. Г. Космос. Земля. Человек. Новые грани науки. / А. Г. Пархомов. – М: Наука, 2009. – 272 с.
14. Дроздов А. В. Квазипериодический характер межмолекулярных взаимодействий в воде / А. В. Дроздов, Т. П. Нагорская // Биофизика. – 2014. – Т. 59, № 6. – С. 973–985.
15. Бродский В. Я. Околочасовые метаболические ритмы (Обзор) / В. Я. Бродский // Биохимия. – 2014. – Т. 7, № 6. – С. 619–632.
16. Дроздов А. В. Анализ динамики интенсивности биолюминесценции светящихся бактерий *Photobacterium phosphoreum* / А. В. Дроздов, Е. Н. Громозова, И. А. Грецкий // Биофизика. – 2015. – Т. 60, № 2. – С. 316–321.
17. Брунс А. В. Динамика нетепловых шумов в элементах стандартных электронных устройств – короткие космофизические периоды на установке “ЭКЗАКТ” / А. В. Брунс, Б. М. Владимирский // Изв. Крымской Астрофиз. Obs. – 2007. – Т. 103, № 4. – С. 314–325.

**RELATIONSHIP OF ULTRADIAN BODY TEMPERATURE RHYTHMS IN
LABORATORY MICE WITH FLUCTUATIONS OF RADIOACTIVE DECAY OF
NATURAL POTASSIUM-40 Isotope**

Diatroptov M. E.^{1,2}, Diatroptova M. A.³

¹*Institute of Ecology and Evolution A.N. Severtsov Russian Academy of Sciences, Moscow, Russian Federation*

²*V. A. Nasonova Research Institute of Rheumatology, Moscow, Russian Federation*

³*Avtsyn Research Institute of human morphology of Federal State Budgetary Scientific Institution “Pretrovsky national research Centre of Surgery”, Moscow, Russian Federation
E-mail: diatrom@inbox.ru*

Previously, we found the coincidence of the main harmonics established in the dynamics of body temperature in laboratory animals with those identified in the process of alpha decay [7, 8]. It is assumed that fluctuations in radioactive decay are determined not only randomly, but their intensity is also affected by an as yet unidentified external environmental factor [9, 10]. At the moment, it is impossible to assert the direct interconnection of these biological and physical processes, but the revealed patterns can

be interpreted as a possible use of data on radioactive decay fluctuations as a marker of a biotropic factor of the environment that has not yet been established.

According to the literature, beta decay fluctuations are more significant than alpha decay fluctuations, and their detection does not require a complex mathematical apparatus [11–13]. The natural isotope of potassium-40 is a source of both beta particles and gamma rays with an energy of 1.46 MeV, which occur during electron capture $^{40}\text{K} \rightarrow ^{*40}\text{Ar}$.

The purpose of the study is to compare the dynamics of fluctuations in the radioactivity of the natural ^{40}K isotope and the body temperature of laboratory mice isolated from the external night/day regime under constant lighting conditions.

The study was carried out on mature male mice of the C57Bl/6 line, weighing 26–30 g (n=18), obtained from the IPPE RAS vivarium.

Mice were kept two individuals in a cage (40×14.5×24 cm) under constant moderate illumination (200–300 lux from a source with a color temperature of 4200 K). Under the conditions of keeping all animals in one room, synchronization of activity is observed between individuals, therefore, in order to obtain a more representative sample, the study was carried out in three rooms located at a distance of 1–2 km from each other.

The temperature was recorded with DTN4-28/TL4-28 sensors (EMBI RESEARCH LLC) implanted in the abdominal cavity of the animals no later than 20 days before the start of the experiment. During surgery, Zoletil (Virbac Sante Animale) was used as an anesthetic at a dose of 5–7 mg/kg intramuscularly.

The intensity of the radiation flux from ^{40}K , which is part of potassium sulfate (JSC "Buysky Chemical Plant", Kostroma region), was measured using scintillation detectors Atom Fast 8850 and Atom Fast 77100 (NPP "KB Radar", Moscow), which is based on a crystal cesium iodide (CsI). The die size in Atom Fast 8850 is 8x8x50mm, while in Atom Fast 77100 it is 7x7x100mm. When analyzing the relationship between the intensity of radioactive decay and the activity of mice, the data from the two devices were averaged. In order to isolate the system from atmospheric gamma rays, the packages with potassium sulfate, together with the detector, were placed in a lead box 15×15×15 cm with a wall thickness of 12 mm. Such a screen attenuated the background values of the count rate by about 10 times.

It is shown that the intensity dynamics of ^{40}K radioactive decay fluctuations under conditions of shielding from an external radiation background by a lead box with a wall thickness of 12 mm is synchronous between installations located at a distance of 1.5 km. This fact indicates the nonrandom nature of the fluctuations under study and requires detailed further study.

Using the method of superimposing epochs and calculating the correlation, it was found that the ultradian activity rhythms of mice under constant dim lighting conditions are synchronized with fluctuations in ^{40}K radioactive decay – at the moments of increasing intensity of radioactivity fluctuations, animals are activated and their body temperature rises sharply.

Despite the fact that potassium-40 is contained in the body and is a source of internal radioactivity, in our opinion, due to its low radioactivity, the intensity of its decay fluctuations cannot directly determine the revealed biological effect. Further research should be aimed at finding the cause of the fluctuation in radioactive decay and

identifying other physical targets for this unidentified factor. In particular, these can be changes in the properties of water, which have a similar spectrum of fluctuations in the near-hour range of periods [14] or mechanisms of energy supply to cells [15, 16]. According to B. M. Vladimirsky, all these processes directly, or the methods of their registration, are affected by low-frequency electromagnetic fields, which can be the desired biotropic factor of the environment [17].

Keywords: ultradian rhythms, body temperature, activity/rest cycle, synchronizers, radioactive decay.

References

1. Blum I. D., Zhu L., Moquin L., Zhu L., Moquin L., Kokoeva M. V., Gratton A., Giros B, Storch K.-F. A highly tunable dopaminergic oscillator generates ultradian rhythms of behavioral arousal. *Elife*, **3** (2014).
2. Blessing W., Ootsuka Y. Timing of activities of daily life is jaggy: How episodic ultradian changes in body and brain temperature are integrated into this process. *Temperature (Austin)*, **3(3)**, 371 (2016).
3. Bourguignon C., Storch K. F. Control of rest: activity by a dopaminergic ultradian oscillator and the circadian clock. *Frontiers in Neurology*, **8**, 614 (2017).
4. Goh G. H., Maloney S. K., Mark P. J., Blache D. Episodic ultradian events-ultradian rhythms. *Biology (Basel)*, **8(1)**, (2019).
5. Diatryptov M. E., Arseniev G. N., Shateeva V. S., Ligun N. B., Dorokhov V. B. On the relationship of changes in the ultradian rhythms of the body temperature of two mice groups isolated from each other. *Scientific notes of the Crimean Federal University named after V. I. Vernadsky. Biology. Chemistry*, **8(1)**, 76 (2022).
6. Diatryptov M. E., Diatryptova M. A., Surov A. V. Ultradian near 2-4-h rhythms of body temperature in laboratory rodents depend on external environmental heliogeophysical factor reflected by neutron monitor count rate. *Bulletin of Experimental Biology and Medicine*, **173**, 92 (2022).
7. Panchelyuga V. A., Panchelyuga M. S. Local fractal analysis of noise-like time series by the all-permutations method 1–115 min periods. *Biophysics*, **60(2)**, 317 (2015).
8. Diatryptov M. E., Panchelyuga V. A., Panchelyuga M. S., Surov A. V. Circahoralian rhythms of body temperature in mammals and birds with different metabolism levels. *Doklady Biological Sciences*, **494**, 228 (2020).
9. Parkhomov A. G. Rhythmic and sporadic changes in the rate of beta decays. Possible reasons. *Journal of Emerging Areas of Science*, **21-22(6)**, 86 (2018).
10. Panchelyuga V. A. On external influences on the rate of radioactive decay. *Metaphysics*, **38**, 10 (2020).
11. Parkhomov A. G. Bursts of Count Rate of Beta-Radioactive Sources during Long-Term Measurements. *International Journal of Pure and Applied Physics*, **1(2)**, 119 (2005).
12. Baurov Yu. A., Sobolev Yu. G., Kushniruk V. F., Ryabov Yu. V. Experimental investigations of changes in the rate of beta decay of radioactive elements. *Physics of Atomic Nuclei*, **70(11)**, 1825 (2007).
13. Parkhomov A. G. *Space. Earth. People. New facets of science* (Nauka, Moscow, 2009) 272 pp.
14. Drozdov A. V., Nagorskaya T. P. The quasi-periodic character of intermolecular interactions in water. *Biophysics*, **59(6)**, 973 (2014).
15. Brodsky V. Y. Circahoralian (ultradian) metabolic rhythms. *Biochemistry (Moscow)*, **79(6)**, 483 (2014).
16. Drozdov A. V., Gromozova E. N., Gretskey I. A. An analysis of the bioluminescence intensity dynamics of the luminous bacteria (*Photobacterium phosphoreum*). *Biophysics*, **60(2)**, 251 (2015).
17. Bruns A. V., Vladimirsky B. M. Dynamics of non-thermal noise in elements of standard electronic devices – short cosmophysical periods at the “EXACT” installation. *News of the Crimean Astrophysical Observatory*, **103(4)**, 314 (2007).

УДК 582.271/275:502.7(262.5)

**ФЛОРИСТИЧЕСКИЙ СОСТАВ И ТАКСОНОМИЧЕСКАЯ СТРУКТУРА
МАКРОФИТОБЕНТОСА ГИДРОЛОГИЧЕСКОГО ПАМЯТНИКА ПРИРОДЫ
«ПРИБРЕЖНЫЙ АКВАЛЬНЫЙ КОМПЛЕКС У МЫСА САРЫЧ» (ЧЕРНОЕ
МОРЕ) В СОВРЕМЕННЫХ УСЛОВИЯХ**

Евстигнеева И. К., Танковская И. Н.

*ФГБУН ФИЦ «Институт биологии южных морей имени А. О. Ковалевского РАН»,
Севастополь, Россия
E-mail: ikevstigneeva@gmail.com*

Исследованы флористический состав, таксономическая структура макрофитобентоса и их пространственно-временная изменчивость в акватории памятника природы «Прибрежный аквальный комплекс у мыса Сарыч» в Черном море. На основе собственных, архивных и литературных данных и с учетом результатов таксономической ревизии составлен список из 104 видов 64 родов, 36 семейств, 21 порядка, 5 классов отделов Chlorophyta, Ochrophyta и Rhodophyta. Определен уровень таксономического разнообразия бентосной флоры и качественный состав охраняемых видов на современном этапе. С учетом показателя встречаемости видов выявлены доминирующие группы постоянства и фитоценотической активности. Установлены константные и лабильные во времени (внутригодовая и межгодовая изменчивость) и пространстве (на разных участках акватории) признаки. Показано, что флористический состав в большей мере подвержен изменениям во времени, чем в пространстве.

Ключевые слова: макроводоросли, флористический состав, таксономическая структура, встречаемость, изменчивость, охраняемая акватория, Крым, Черное море.

ВВЕДЕНИЕ

Одной из форм особо охраняемых природных территорий (ООПТ) являются памятники природы как уникальные природные комплексы или объекты. К ним относится гидрологический памятник природы регионального значения «Прибрежный аквальный комплекс у мыса Сарыч», расположенный на юго-западе Крыма. Его основное назначение – охрана оригинальных прибрежных биоценозов и, прежде всего, сообществ, играющих важную роль в процессе самоочищения акватории. При формировании цели и задач исследований морской фитосистемы ООПТ учитывалось, что «...организация фитоценозов характеризуется их составом и структурой и представляет собой явление динамическое...» [1]. Важность таких исследований возрастает на современном этапе разработки методов инвентаризации и мониторинга на охраняемых природных территориях, принимающей за основу то, что «...уровень видового разнообразия является базовым для других исследований» [2]. Без сведений о качественных и количественных показателях биоты охраняемых акваторий процесс формирования региональных экосетей приобретает формальный

характер [3–5]. В настоящее время на основе долгосрочных наблюдений разрабатываются новые системы критериев для выделения ключевых морских участков, обосновывается важность картирования местообитаний гидробионтов, находящихся под угрозой исчезновения, выявляются основные факторы стресса для морского биоразнообразия на местном, региональном и глобальном уровнях [6–8].

ООПТ «Прибрежный аквальный комплекс у мыса Сарыч» является частью бухты Ласпи, ограничивая ее с восточной стороны. С юга и юго-запада он оконтурируется обрывистыми и крутыми клифовыми склонами, которые в крайней восточной части представлены глыбовым навалом известняка. В прибрежной зоне этот навал чередуется с участками галечникового бенча шириной 1–10 м. Подводный склон приглубый, дно ступенчатое [9]. Частые и сильные ветра обеспечивают круглогодичное воздействие волн на берег. Летом наблюдается кратковременное понижение температуры воды у берега за счет подъема глубинной воды при сгонных ветрах [10].

Бухта Ласпи длительное время рассматривалась как одна из чистых морских акваторий Севастопольского региона. Открытый тип бухты обеспечивал динамическую активность и аэрацию вод, а ее акватория в прибрежной зоне ЮБК была менее всего подвержена сбросу сточных вод. В последние годы ситуация существенно изменилась вследствие возросшего интереса к побережью бухты как к району перспективного строительства. Сейчас на склонах бухты и у мыса Сарыч возводятся многоэтажные объекты, что нередко сопровождается уничтожением краснокнижных растений, а неизбежное при строительных мероприятиях сокращение лесных площадей активизирует обвально-оползневые процессы, следствием чего является нарушение прибрежных и приморских ландшафтов [11, 12]. Развитие рекреационной инфраструктуры вызывает возрастание объемов береговых стоков. Сравнение величин гидрохимических показателей, полученных в марте 2017 г. во время рейса НИС «Профессор Водяницкий» и в 2010 и 2011 гг., показало увеличение концентрации минеральных форм азота и кремния в три раза, а органического азота – в семь [13]. В настоящее время в районе бухты Ласпи и у мыса Сарыч повышение величины биологического потребления кислорода можно наблюдать даже на значительном расстоянии от берега. По мнению исследователей, источник загрязнения – сброс стоков с канализационно-очистных сооружений поселка Форос [14].

В сложившихся условиях особо важным становится соблюдение законодательно регламентированных принципов деятельности на охраняемых природных территориях, одним из которых является проведение научных исследований и осуществление научного контроля последствий хозяйственного освоения [15]. Уже на сегодняшний день известно, что усиление антропогенной нагрузки при отсутствии системного подхода к рациональному использованию потенциала бухты Ласпи и надлежащих охранных мер привело к структурным изменениям зообентоса рыхлых грунтов [16]. Учитывая важность макрофитного звена в структуре и функционировании прибрежной экосистемы, *целью работы* стало изучение флористического состава и таксономической структуры донных фитоценозов на разных участках гидрологического памятника природы

«Прибрежный аквальный комплекс у мыса Сарыч», их внутри- и межгодовой изменчивости на современном этапе. Актуальность такого исследования обусловлена и тем, что существующие сведения о состоянии фитобиоты района мыса Сарыч были получены более полувека назад.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Отбор проб производили летом 2020 г. с применением легководолазного снаряжения и с использованием маломерных судов. На трех вертикальных гидробиотических трансектах, заложенных от границ буферной зоны памятника природы до нижней границы обитания бентосных макроводорослей, на глубинах 0,5; 1, 3, 5 и 10 м закладывали по четыре учетных рамки со стороной 25 см [17, 18]. На рисунке 1 представлена схема расположения трансект.

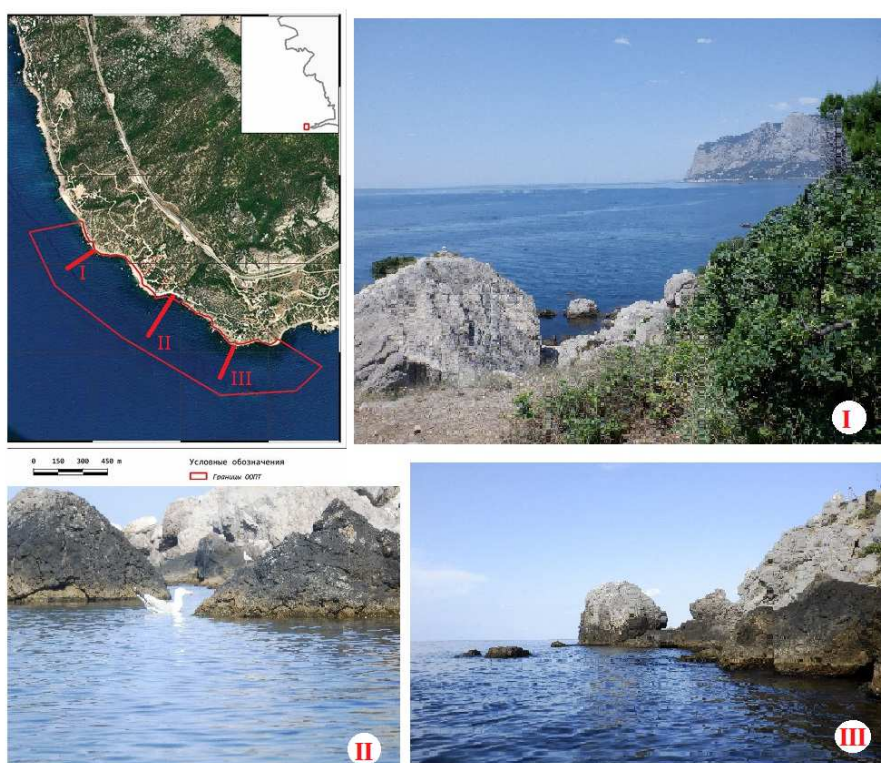


Рис. 1. Район исследования: гидробиотические трансекты и граница ПАК;
I трансекта – северная широта $44^{\circ}23.569'$, восточная долгота $033^{\circ}43.616'$,
II трансекта – северная широта $44^{\circ}23.475'$, восточная долгота $033^{\circ}43.839'$,
III трансекта – северная широта $44^{\circ}23.243'$, восточная долгота $033^{\circ}44.267'$.

Трансекта I была заложена в районе Скалы-туннеля, трансекта II – по центру охраняемой территории, где функционирует пляж и выпуски сточных вод,

трансекта III – возле Маяка. Координаты трансект определяли при помощи GPS-приемника Oregon 650. Всего было собрано и обработано 56 количественных и 20 качественных проб. Идентификацию водорослей проводили по базовому определителю [19] с учетом современных номенклатурных изменений [20]. При описании таксономической структуры применяли сведения о пропорциях флоры [21]. Данные о видовом составе привлекали для оценки принадлежности морской флоры к конкретной географической зоне (коэффициент Фельдманна) и для определения степени эвтрофирования водной среды (индекс Ченя) [22, 23]. На основе сведений о встречаемости виды распределяли по группам постоянства (постоянные, добавочные, случайные) и фитоценотической активности (особоактивные, высокоактивные, среднеактивные, мало- и неактивные), рассчитывали индексы гомотонности ($J_1, 2$) (соотношение частот видов в 5 классах разного постоянства) [24, 25]. К константному ядру флоры относили виды со 100 %-ной встречаемостью. Для сравнения флоры на трех участках охраняемой акватории и в разные периоды времени применяли коэффициент общности видового состава по Жаккару ($K_j, \%$) [26]. Для выявления варибельности анализируемых характеристик сообщества вычисляли их среднее значение с доверительным интервалом и коэффициент вариации ($C_v, \%$). С учетом величины C_v оценивали степень изменчивости признаков по шкале Г. Н. Зайцева (верхне- и нижненормальная, значительная, большая, очень большая, аномально высокая) [27]. Описание состава макрофитобентоса на разных участках охраняемой зоны базировалось на результатах описываемой съемки, обобщенных для всего спектра глубин. Особенности батиметрической изменчивости в данной работе не обсуждаются. Для выявления внутри- и межгодовых изменений фитобентоса в акватории мыса Сарыч воспользовались результатами исследований, проведенных авторами в периоды с марта по октябрь 2008 г. и летом 2002–2020 гг. в районе Маяка (трансекта III) на одной и той же глубине 0,5 м.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Общая характеристика макрофитобентоса охраняемой акватории (2020 г.)

Летом 2020 г. макрофитобентос у мыса Сарыч состоял из 77 видов 53 родов, 31 семейства, 19 порядков, 5 классов отделов Chlorophyta (Ch), Ochrophyta (Och), Rhodophyta (Rh) (табл. 1).

Таблица 1

Видовой и таксономический состав макрофитобентоса памятника природы «Прибрежный аквальный комплекс у мыса Сарыч»

№	Таксон	1*	2	3	4
1	2	3	4	5	6
CHLOROPHYTA Rchb.					
Ulvophyceae Mattox et K. D. Stewart					
Cladophorales Haecckel					
Cladophoraceae Wille					

1	2	2	4	5	6
<i>Chaetomorpha</i> Kütz.					
1	<i>Chaetomorpha linum</i> (O. F. Müll.) Kütz.	+	+	+	+
2	<i>Chaetomorpha aerea</i> (Dillwyn) Kütz.	+	+	+	+
3	<i>Chaetomorpha ligustica</i> (Kütz.) Kütz.[<i>Chaetomorpha tortuosa</i> Kütz.]			+	
<i>Cladophora</i> Kütz.					
4	<i>Cladophora laetevirens</i> (Dillwyn) Kütz.	+		+	
5	<i>Cladophora liniformis</i> Kütz.	+			
6	<i>Cladophora albida</i> (Nees) Kütz.	+	+	+	
7	<i>Cladophora sericea</i> (Huds.) Kütz.	+			
8	<i>Cladophora vadorum</i> (Aresch.) Kütz.		+		
9	<i>Cladophora vagabunda</i> (L.) Hoek		+		
<i>Rhizoclonium</i> Kütz.					
10	<i>Rhizoclonium riparium</i> (Roth) Harvey			+	
Ulvales F. F. Blackman et Tansley					
Ulvaceae J. V. Lamour. ex Dumort.					
<i>Ulva</i> L.					
11	<i>Ulva torta</i> (Mertens) Trevisan	+			
12	<i>Ulva intestinalis</i> L.	+	+	+	+
13	<i>Ulva rigida</i> C. Agardh	+	+	+	
14	<i>Ulva linza</i> L.	+	+	+	
15	<i>Ulva prolifera</i> O. F. Müller	+			
16	<i>Ulva flexuosa</i> Wulfen		+		
Ulvellaceae Schmidle					
<i>Ulvella</i> P. Crouan et H. Crouan					
17	<i>Ulvella viridis</i> (Reinke) R. Nielsen, O'Kelly et B. Wysor	+		+	
18	<i>Ulvella scutata</i> (Reinke) R. Nielsen, C. J. O'Kelly et B. Wysor	+		+	
19	<i>Ulvella lens</i> P. Crouan et H. Crouan	+			
Kornmanniaceae L. Golden et K. M. Cole					
<i>Blidingia</i> Kylin					
20	<i>Blidingia marginata</i> (J. Agardh) P. J. L. Dangeard et Bliding	+			
Bolbocoleonaceae C. J. O'Kelly et B. Rinkel					
<i>Bolbocoleon</i> Pringsheim					
21	<i>Bolbocoleon piliferum</i> Pringsheim			+	
Ulotrichales Borzi					
Ulotrichaceae Kütz.					
<i>Ulothrix</i> Kütz.					
22	<i>Ulothrix implexa</i> (Kütz.) Kütz.	+		+	
Bryopsidales J. H. Schaffner					
Bryopsidaceae Bory					
<i>Bryopsis</i> J. V. Lamour.					
23	<i>Bryopsis plumosa</i> (Huds.) C. Agardh	+		+	+

ФЛОРИСТИЧЕСКИЙ СОСТАВ И ТАКСОНОМИЧЕСКАЯ СТРУКТУРА ...

Продолжение таблицы 1

1	2	3	4	5	6
24	<i>Bryopsis hypnoides</i> J. V. Lamour.			+	
25	<i>Bryopsis cupressina</i> var. <i>adriatica</i> (J. Agardh) M. J. Wynne	+			
Codiaceae Kütz. <i>Codium</i> Stackhouse					
26	<i>Codium vermilara</i> (Olivi) Delle Chiaje	+		+	
OCHROPHYTA Caval.-Sm. Phaeophyceae Kjellm.					
Fucales Bory Sargassaceae Kütz. <i>Gongolaria</i> Boehmer					
27	<i>Gongolaria barbata</i> (Stackh.) Kuntze	+	+	+	+
<i>Ericaria</i> Stackhouse					
28	<i>Ericaria crinita</i> (Duby) Molinari et Guiry	+	+	+	
Dictyotales Bory Dictyotaceae J. V. Lamour. et Dumortier <i>Dictyota</i> J. V. Lamour.					
29	<i>Dictyota fasciola</i> (Roth) J. V. Lamour.	+	+	+	
30	<i>Dictyota spiralis</i> Montagne	+			
31	<i>Dictyota dichotoma</i> (Hud.) J. V. Lamour.		+	+	+
32	<i>Dictyota implexa</i> (Desfontaines) J. V. Lamour.			+	
<i>Padina</i> Adanson					
33	<i>Padina pavonica</i> (L.) Thivy	+		+	
Sphacelariales Mig. Cladostephaceae Oltm. <i>Cladostephus</i> C. Agardh					
34	<i>Cladostephus spongiosus</i> (Huds.) C. Agardh	+		+	+
Sphacelariaceae Decne. <i>Sphacelaria</i> Lyngb.					
35	<i>Sphacelaria cirrosa</i> (Roth) C. Agardh.	+		+	
<i>Sphacelorbis</i> Draisma Prud'homme et H. Kawai					
36	<i>Sphacelorbis nanus</i> (Nageli et Kütz.) Draisma, Prud'homme et H. Kawai	+		+	+
Stypocaulaceae Oltmanns <i>Halopteris</i> Kütz.					
37	<i>Halopteris scoparia</i> (L.) Sauvageau	+			
Ectocarpales Bessey Acinetosporaceae G. Hamel et Feldmann <i>Feldmannia</i> Hamel					
38	<i>Feldmannia irregularis</i> (Kütz.) Hamel	+	+	+	+
39	<i>Feldmannia paradoxa</i> (Montagne) Hamel			+	+
Ectocarpaceae C. Agardh <i>Ectocarpus</i> Lyngb.					
40	<i>Ectocarpus siliculosus</i> (Dillwyn) Lyngb.		+	+	

Продолжение таблицы 1

1	2	3	4	5	6
41	<i>Ectocarpus flagelliformis</i> Kütz. [<i>Ectocarpus fasciculatus</i> Kütz.]			+	+
Chordariaceae Grev. <i>Stilophora</i> J. Agardh					
42	<i>Stilophora tenella</i> (Esper) P. C. Silva.	+		+	+
43	<i>Stilophora nodulosa</i> (C. Agardh) P. C. Silva in P. C. Silva, Basson et Moe			+	+
<i>Corynophlaea</i> Kütz.					
44	<i>Corynophlaea umbellata</i> (C. Agardh) Kütz.	+		+	+
45	<i>Corynophlaea flaccida</i> (C. Agardh) Kütz.	+		+	+
<i>Myriactula</i> Kuntze					
46	<i>Myriactula arabica</i> (Kütz.) Feldmann	+			
47	<i>Myriactula rivularia</i> (Suhr et Aresch.) Feldmann			+	
<i>Myrionema</i> Grev.					
48	<i>Myrionema balticum</i> (Reinke) Foslie	+			
<i>Desmotrichum</i> Kütz.					
49	<i>Desmotrichum tenuissimum</i> (C. Agardh) Athanasiadis	+		+	
<i>Spermatochnus</i> Kütz.					
50	<i>Spermatochnus paradoxus</i> (Roth) Kütz.	+			
<i>Eudesme</i> J. Agardh					
51	<i>Eudesme virescens</i> (Carmichael et Berkeley) J. Agardh			+	+
<i>Giraudia</i> Derbès et Solier					
52	<i>Giraudia sphacelarioides</i> Derbès et Solier			+	+
<i>Punctaria</i> Grev.					
53	<i>Punctaria latifolia</i> Grev.		+		
Sporochnales Sauvageau Sporochnaceae Grev. <i>Nereia</i> Zanard.					
54	<i>Nereia filiformis</i> (J. Agardh) Zanard.	+		+	+
Tilopteridales Bessey Cutleriaceae J. W. Griffith et A. Henfrey <i>Zanardinia</i> Nardo et Zanard.					
55	<i>Zanardinia typus</i> (Nardo) P. C. Silva			+	+
RHODOPHYTA Wettst. Florideophyceae Cronquist Ceramiales Nägeli Rhodomelaceae Horan. <i>Vertebrata</i> Gray					
56	<i>Vertebrata subulifera</i> (C. Agardh) Kuntze	+		+	+
57	<i>Vertebrata fucoides</i> (Huds.) Kuntze	+			
<i>Carradoriella</i> P. C. Silva					
58	<i>Carradoriella denudata</i> (Dillwyn) Savoie et G. W. Saunders	+	+	+	

ФЛОРИСТИЧЕСКИЙ СОСТАВ И ТАКСОНОМИЧЕСКАЯ СТРУКТУРА ...

Продолжение таблицы 1

1	2	3	4	5	6
59	<i>Carradoriella elongata</i> (Huds.) Savoie et G. W. Saunders	+		+	+
<i>Leptosiphonia</i> Kylin.					
60	<i>Leptosiphonia brodiei</i> (Dillwyn) Savoie et G. W. Saunders	+			
<i>Polysiphonia</i> Grev.					
61	<i>Polysiphonia opaca</i> (C. Agardh) Moris et De Notaris	+		+	
62	<i>Polysiphonia breviarticulata</i> (C. Agardh) Zanard.	+			
63	<i>Polysiphonia sanguinea</i> (C. Agardh) Zanard.	+			
<i>Laurencia</i> J. V. Lamour.					
64	<i>Laurencia coronopus</i> J. Agardh.	+	+	+	+
65	<i>Laurencia obtusa</i> (Huds.) J. V. Lamour.	+		+	+
<i>Osmundea</i> Stackhouse					
66	<i>Osmundea pinnatifida</i> (Huds.) Stackhouse	+			+
67	<i>Osmundea truncata</i> (Kütz.) K. W. Nam et Maggs			+	
<i>Palisada</i> K. W. Nam					
68	<i>Palisada perforata</i> (Bory) K. W. Nam	+	+	+	
<i>Lophosiphonia</i> Falkenberg					
69	<i>Lophosiphonia obscura</i> (C. Agardh) Falkenberg	+			+
<i>Chondria</i> C. Agardh					
70	<i>Chondria capillaris</i> (Huds.) M. J. Wynne	+		+	
71	<i>Chondria dasyphylla</i> (Woodw.) C. Agardh	+			
Ceramiaceae Dumort. <i>Ceramium</i> Roth					
72	<i>Ceramium diaphanum</i> (Lightf.) Roth	+	+	+	+
73	<i>Ceramium virgatum</i> Roth	+	+	+	+
74	<i>Ceramium ciliatum</i> (Ell.) Ducl.	+	+	+	
75	<i>Ceramium secundatum</i> Lyngb.	+	+	+	+
76	<i>Ceramium circinatum</i> (Kütz.) J. Agardh			+	
77	<i>Ceramium deslongchampsii</i> Chauvin et Duby	+		+	
<i>Antithamnion</i> Nägeli					
78	<i>Antithamnion cruciatum</i> (Agardh) Nägeli	+		+	+
<i>Pterothamnion</i> Nägeli					
79	<i>Pterothamnion plumula</i> (J. Ellis) Nägeli	+	+	+	+
Callithamniaceae Kütz. <i>Callithamnion</i> Lyngb.					
80	<i>Callithamnion corymbosum</i> (J. E. Smith.) Lyngb.	+	+	+	+
Delesseriaceae Bory <i>Dasya</i> C. Agardh					
81	<i>Dasya baillouviana</i> (S. G. Gmelin) Montagne	+	+	+	
<i>Apoglossum</i> (J. Agardh) J. Agardh					
82	<i>Apoglossum ruscifolium</i> (Turn.) J. Agardh	+	+	+	
Wrangeliaceae J. Agardh <i>Spermothamnion</i> Aresch.					
83	<i>Spermothamnion strictum</i> (C. Agardh)	+	+		

1	2	3	4	5	6
Gelidiales Kylin Gelidiaceae Kütz. <i>Gelidium</i> J. V. Lamour.					
84	<i>Gelidium crinale</i> (Hare et Turner)	+		+	
85	<i>Gelidium spinosum</i> (S. G. Gmel.) P. C. Silva	+	+	+	+
Halymeniales G. W. Saunders et Kraft Halymeniaceae Bory <i>Dermocorynus</i> P. Crouan et H. Crouan					
86	<i>Dermocorynus dichotomus</i> (J. Agardh) Gargiulo, M. Morabito et Manghisi	+	+	+	+
Corallinales P. C. Silva et H. W. Johans. Corallinaceae J. V. Lamour. <i>Ellisolandia</i> K. R. Hind et G. W. Saunders					
87	<i>Ellisolandia elongata</i> (J. Ellis et Solander) K. R. Hind et G. W. Saunders	+		+	
<i>Corallina</i> L.					
88	<i>Corallina officinalis</i> L.	+		+	+
<i>Jania</i> J. V. Lamour.					
89	<i>Jania virgata</i> (Zanard.) Montagne			+	+
90	<i>Jania rubens</i> (L.) J. V. Lamour.		+		+
<i>Hydrolithon</i> (Foslie) Foslie					
91	<i>Hydrolithon farinosum</i> (J. V. Lamour.) Penrose et Y. M. Chamb.	+	+	+	+
<i>Pneophyllum</i> Kütz.					
92	<i>Pneophyllum confervicola</i> (Kütz.) Y. M. Chamberlain			+	
93	<i>Pneophyllum fragile</i> Kütz.			+	
Hapalidiaceae J. E. Gray <i>Phymatolithon</i> Foslie					
94	<i>Phymatolithon lenormandii</i> (Aresch.) W. H. Adey		+		
Lithophyllaceae Athanasiadis <i>Lithophyllum</i> Philippi					
95	<i>Lithophyllum cystoseirae</i> (Hauck) Heydrich				+
Nemaliales F. Schmitz Nemaliaceae De Toni et Levi <i>Nemalion</i> Duby					
96	<i>Nemalion elminthoides</i> (Velley) Batters	+		+	+
Peyssonneliales Kravesky, Fredericq et J. N. Norris Peyssonneliaceae Denizot <i>Peyssonnelia</i> Decaisne					
97	<i>Peyssonnelia armorica</i> (P. Crouan et H. Crouan) Weber Bosse	+		+	+
98	<i>Peyssonnelia dubyi</i> P. Crouan et H. Crouan			+	
Acrochaetiales Feldmann Acrochaetiaceae Fritsch et W. R. Taylor					

Продолжение таблицы 1

1	2	3	4	5	6
<i>Grania</i> (Rosenvinge) Kylin					
99	<i>Grania efflorescens</i> (J. Agardh) Kylin	+			
Rhodochortonaceae (нет автора) <i>Rhodochorton</i> Nägeli					
100	<i>Rhodochorton purpurem</i> (Light.) Rosenv.	+		+	+
Gigartinales F. Schmitz					
Phyllophoraceae Willk.					
<i>Phyllophora</i> Grev.					
101	<i>Phyllophora crispa</i> (Huds.) P. S. Dixon	+	+	+	+
Rhodymeniales F. Schmitz Lomentariaceae Willkomm <i>Lomentaria</i> Lyngb.					
102	<i>Lomentaria clavellosa</i> (Turn.) Gail.	+			
Bangiophyceae Wettstein Bangiales Nägeli Bangiaceae Duby <i>Bangia</i> Lyngb.					
103	<i>Bangia atropurpurea</i> (Mertens et Roth) C. Agardh	+			
Compsopogonophyceae G. Saunders et Hommersand Erythropeltales Garbary, G. I. Hansen et Scagel Erythrotrichiaceae G. M. Smith <i>Erythrotrichia</i> Aresch.					
104	<i>Erythrotrichia carnea</i> (Dillwyn) J. Agardh	+		+	

Примечание: * цифрами 1–4 обозначены периоды сбора проб: 1 – 2020 г., 2 – 2002–2018 гг. (глубина 0,5 м, район Маяка), 3 – 1964–1989 гг. (цит. по [28, 29], 4 – 1964 г. (глубина 0,5 м, район Маяка)

Таксономическая пропорция бентосной флоры была представлена как 1 порядок : 2 семейства : 3 рода : 4 вида. Среди водорослей были обнаружены 17 видов с охранным статусом и включенных в отечественные и международные Красные книги и списки [30–35]. Высокая доля краснокнижных видов (22 %) подтверждала природоохранную значимость гидрологического памятника. Видовое соотношение отделов (1 Ch : 1 Och : 2 Rh) свидетельствовало о количественном преимуществе красных водорослей. Оно полностью соответствовало данным о видовой насыщенности отделов, представленным в работе [36]. Значение коэффициента Фельдманна (2,3) указывало на принадлежность исследованного фитоценона тепловодной, субтропической флоре. Отметим, что бухта Ласпи, частью которой является акватория мыса Сарыч, находится на стыке континентального и субтропического климатических поясов [37]. Уровень индекса Ченя (3,3) позволил отнести среду обитания водорослей в исследованном районе к пограничной между чистой и загрязненной. Лидирующие таксоны в основном принадлежали отделам Ch и Rh и в единичных случаях – Och. В таблице 2 приведен спектр ведущих родов, семейств и порядков, объединяющих в своем составе 29, 47 и 53 % видов.

Таблица 2
Флористический спектр ведущих (по числу видов, N) надвидовых таксонов в составе макрофитобентоса «Прибрежного аквального комплекса у мыса Сарыч» (2020 г.)

Роды	N, ед.	Ранг	Семейства	N, ед.	Ранг	Порядки	N, ед.	Ранг
<i>Ulva</i>	5	1	Rhodomelaceae	15	1	Ceramiales	24	1
<i>Cladophora</i>	4	2	Ceramiales	8	2	Ulvales	9	2
<i>Ceramium</i>	4	2	Chordariaceae	7	3	Ectocarpales	8	3
<i>Dictyota</i>	3	3	Cladophoraceae	6	4	Всего видов: 41		
<i>Polysiphonia</i>	3	3	Всего видов: 36					
<i>Ulvella</i>	3	3						
Всего видов: 22								

Роды, представленные одним или двумя видами, составляли большинство (89 % от их общего числа), что свидетельствовало о таксономической «пестроты» сообщества в акватории памятника. Высоким родовым разнообразием отличались Chordariaceae, Ceramiales, Rhodomelaceae, Ectocarpales (38–40 % общего числа родов). К порядкам с большим содержанием семейств относились Ulvales, Sphacelariales и Ceramiales.

Показателем систематической структуры флоры являются таксономические спектры, отражающие, в частности, распределение видов по родам, семействам и порядкам [21]. Пропорции соподчиненных таксонов в фитоценозе и каждом отделе отображены в таблице 3.

Таблица 3
Пропорции таксонов и таксономические спектры отделов

Пропорции таксонов (п:с:р:в) *	
фитоценоз	1:2:3:4
Chlorophyta	1:2:2:4
Ochrophyta	1:2:3:4
Rhodophyta	1:2:3:4
Таксономические спектры отделов (Ch; Och; Rh)	
вид / род	2,3; 1,2; 1,4
вид / семейство	2,6; 2,2; 2,6
вид / порядок	4,5; 3,6; 4,1
род / семейство	1,1; 2,2; 1,9
род / порядок	2,0;3,0; 3,0
семейство / порядок	1,7; 1,6; 1,6

Примечание: * здесь и далее п – порядок, с – семейство, р – род, в – вид

У фитоценоза, Och и Rh соотношение видового и надвидовых таксонов полностью совпадало, Ch с ними объединяла только пропорция семейств и

порядков. Анализируемые соотношения демонстрировали высокую видовую насыщенность надродовых таксонов и особенно порядков. Пропорция соподчиненных таксонов у Och скорее являлась особенностью комплекса бурых водорослей, обитающих в охраняемой акватории, поскольку исследования показывают, что на большинстве участков прибрежной зоны Черного моря и даже в обрастании расположенных здесь же берегозащитных сооружений она отличалась упрощенностью (1:1:1:1) [38, 39]. Данные таблицы 3 иллюстрировали преимущество Ch и Rh по видовой насыщенности семейств и порядков, а Och и Rh – по числу родов, приходящихся на эти же таксоны. Пропорция «семейство: порядок» у отделов была одинаковой. Вместе с тем их таксономические спектры в определенной мере проявляли индивидуальность. Так, Ch характеризовался самым высоким среди отделов родовым коэффициентом (2,3) и наибольшей видовой насыщенностью порядков, низким числом родов, приходящихся на семейство и порядок. Особенностью Och стали небольшой родовой коэффициент, малое число видов в семействах и порядках, самое высокое родовое разнообразие семейств. По ряду таксономических параметров Rh занимал промежуточное положение.

Встречаемость видов и распределение таксономического состава на разных участках памятника природы (2020 г.)

Существенным дополнением показателей разнообразия, обилия и т. д. является встречаемость видов, применение которой призвано устранить возможную ошибочность выводов о роли различных групп водорослей в формировании биологического разнообразия [40]. Встречаемость видов на обследованных участках охраняемой акватории варьировала в широких границах (33–100 %), достигая в среднем 57 % у видов Ch, 80 % – у Och и 74 % – у Rh. В соответствии со шкалой, учитывающей уровень встречаемости [24], были выявлены виды двух категорий: постоянной и добавочной (табл. 4).

Таблица 4

Пространственно-временное распределение видов между группами постоянства и фитоценотической активности (2020 г.)

Группа видов	Пространственное распределение (трансекты)				Временное распределение	
	I	II	III	фитоценоз	месяцы	годы
постоянная	21*	19	29	70**	29*	25*
добавочная	34	47	37	30	38	39
случайная	45	34	34	–	33	36
константная	–	3	2	43	3	4
особоактивная	4	8	10	44	22	15
высокоактивная	36	29	31	26	22	24
среднеактивная	15	27	24	30	22	25
малоактивная	45	36	35	–	33	36

Примечание: * – процент от числа видов на разрезе, за месяц или год; ** – процент от общего числа видов в фитоценозе 2020 г.

На постоянную группу приходилось 70 % видов, обнаруженных в 2020 г., среди которых 33 вида имели 100 %-ную встречаемость. В данную группу входили представители трех отделов с преобладанием Rh. Постоянные виды занимали лидирующую позицию в составе ценоза, среди Och (83 %) и Rh (73 %). У Ch обе категории были представлены равной долей. Индексы гомотонности ($J_{1,2}$) свидетельствовали о том, что структура ценоза на трех участках была промежуточной между гомо- и гетеротонной.

С учетом факта встречаемости видов на трансектах они были дифференцированы на три группы фитоценотической активности в акватории памятника природы (табл. 4). Мало- и неактивные виды не были обнаружены. Особенностью фитоценоза стало превалирование видов с показателем встречаемости 75 % и более. Таких видов было много среди Och и Rh. Половина видов Ch отличалась средней активностью, в других отделах этих видов былократно меньше (рис. 2).

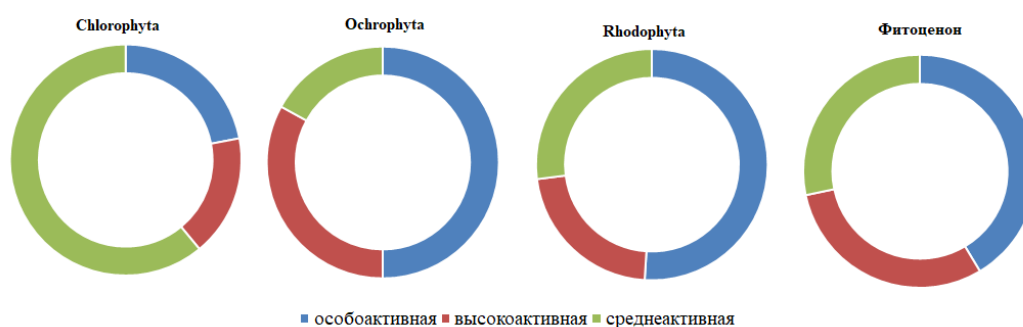


Рис. 2. Флористический состав групп видов с разной фитоценотической активностью.

Господство постоянных, особо- и высокоактивных видов, отсутствие представителей мало- и неактивной групп, большой вклад видов с максимальной встречаемостью свидетельствовали о высоком качественном сходстве и однородности фитоценоза на разных участках памятника природы. Еще одним подтверждением этого стала средняя величина коэффициента Жаккара, показавшая, что сходство касалось почти 60 % видового состава. Ранее такая же величина коэффициента была отмечена А. А. Калугиной-Гутник для водорослей в прибрежной части бухты Ласпи [28].

Сведения, представленные в таблице 5, свидетельствовали о повсеместном количественном превосходстве красных водорослей, доля участия которых достигала 47–64 % общего числа видов на трансекте.

Вторую позицию занимали бурые водоросли, третью, но с небольшим отрывом – зеленые. Господство Rh было наиболее характерно для фитобентоса трансекты I. Среднее значение коэффициента Фельдманна (Rh/Och) указывало на тепловодный характер исследованной флоры. Сапробиологический индекс Ченя (Ch+Rh/Och) свидетельствовал о том, что среда обитания макрофитов летом 2020 г. на большей

части обследованной акватории была чистой. Максимум видового разнообразия фитоценоза и входящих в его состав Och и Ch был зафиксирован на трансекте II, у Rh – на трансекте I. Количественные изменения видового состава, флористического и сапробиологического индексов происходили в пределах биологической нормы, чаще соответствуя ее нижненормальному подтипу. Ключевые надвидовые таксоны первого ранга, за единственным исключением, относились к Rh. Только в районе функционирования пляжа и выпуска канализационных стоков (трансекта II) среди таксонов с высоким видовым разнообразием были обнаружены представители зеленых водорослей (*Ulva* L., *Cladophora* Kütz.), большая часть которых обладает широкой экологической валентностью и являются индикаторами органического загрязнения водной среды [41]. Среди таксонов второго ранга встречались представители всех отделов. На первой и третьей трансектах роды второго ранга отсутствовали.

Таблица 5

Флористический состав и лидирующие таксоны I и II ранга

Сравниваемый параметр	Номер трансекты			X _{ср} ±σ (C _v , %)
	I	II	III	
Общее число видов	53	59	49	54±6 (9)
Число видов Ch	8	14	7	10±4 (39)
Число видов Och	11	17	14	14±3 (21)
Число видов Rh	34	28	28	30±4 (12)
Ch:Och:Rh	1:1:4	1:1:2	1:2:4	
Rh/Och	3,0	1,6	2,0	2±0,8 (33)
Ch+Rh/Och	3,8	2,5	2,5	2,9±0,8 (26)
Роды I ранга	<i>Ceramium</i>	<i>Ulva</i>	<i>Ceramium</i>	
Семейства I ранга	Rhodomelaceae	Rhodomelaceae	Rhodomelaceae	
Порядки I ранга	Ceramiales	Ceramiales	Ceramiales	
Роды II ранга	–	<i>Cladophora</i>	–	
Семейства II ранга	Ceramiaceae	Chordariaceae	Ceramiaceae	
Порядки II ранга	Ectocarpales	Ectocarpales	Ectocarpales	

В итоге, проведенные исследования позволили выделить комплекс общих характеристик макрофитобентоса охраняемой акватории. Так, на любом участке акватории господствуют красные водоросли, доля общих видов достаточно высокая, качественный состав надродовых таксонов I ранга и порядков 2 ранга идентичен. Макрофитобентос на трансектах I и II характеризуется одинаковым видовым соотношением Ch и Och. При сравнении фитоценозов в пределах трансект I и III выявлено примерно равное число видов Ch, среди родов 1 ранга и семейств 2 ранга встречаются одинаковые таксоны, а роды 2 ранга отсутствуют (табл. 5). Фитобентос на трансектах II и III содержит равное число видов Rh, ему характерен одинаковый индекс Ченя.

В таблице 6 приведены данные о таксономическом разнообразии и пропорциях флоры на разных участках акватории памятника.

Таблица 6
Таксономическое разнообразие и пропорции таксонов в макрофитобентосе у мыса Сарыч (2020 г.)

Номер трансекты	Количество таксонов	Соотношение таксонов	
	п-с-р-в	п:с:р:в	в:р
Фитоценоз			
I	16-22-40-53	1:1:2:3	1,3
II	16-25-41-59	1:1:3:4	1,4
III	16-25-40-49	1:1:2:3	1,2
Chlorophyta			
I	4-4-5-8	1:1:1:2	1,6
II	3-5-6-14	1:2:2:5	2,3
III	3-4-5-7	1:1:2:2	1,4
Ochrophyta			
I	4-6-10-11	1:1:2:3	1,1
II	5-7-14-17	1:1:3:3	1,2
III	5-8-13-14	1:2:3:3	1,1
Rhodophyta			
I	8-12-25-34	1:1:3:4	1,4
II	8-13-21-28	1:2:3:3	1,3
III	8-12-22-28	1:1:3:3	1,3
Доля маловидовых родов (%)			
I	97		
II	90		
III	97		

Они еще раз показывают отсутствие существенных таксономических различий фитобентоса на разных участках охраняемой акватории. Вместе с тем, нельзя оставить без внимания тот факт, что общее число видов, видовая насыщенность соподчиненных таксонов и родовой коэффициент у Ch были больше на участке акватории, испытывающем локальный антропогенный пресс. Наличие рекреационной зоны и постоянный подток сточных вод способствуют развитию фитоценозов с массовым участием зеленых водорослей, характерных для участков со средней степенью загрязнения.

Внутри- и межгодовая изменчивость таксономического состава макрофитобентоса охраняемой акватории

Видовой состав и структура сообществ макрофитов подвержена сезонной и годовой смене, которая определяется комплексом гидрологических и гидрохимических условий, изменяющихся на протяжении года и ряда лет. Среди

них наиболее важными являются солнечная радиация, температурный режим и загрязненность воды [42]. В период с марта по октябрь 2008 г. на глубине 0,5 м флористический состав фитобентоса в акватории мыса Сарыч (район Маяка) был представлен 72 видами: 17 – из Ch, 16 – из Och и 39 – из Rh. Данные, иллюстрирующие особенности внутригодовой изменчивости видового состава фитоценоза и входящих в него отделов, представлены на рисунке 3.

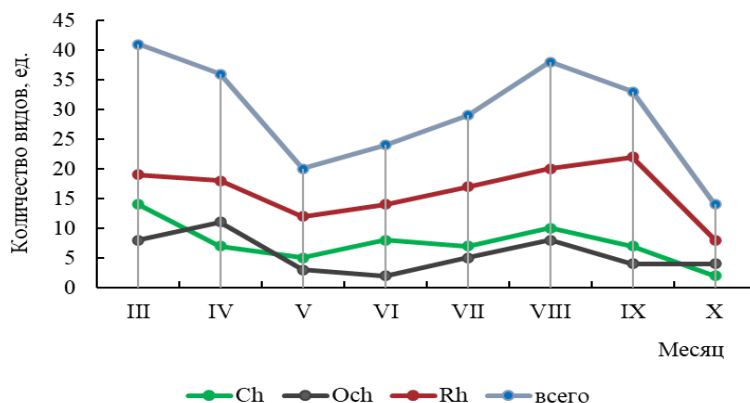


Рис. 3. Внутригодовая динамика флористического состава макрофитобентоса у мыса Сарыч (район Маяка, 2008 г.).

Выявлено ежемесячное и равное по степени доминирование Rh. Вторую и третью позицию занимали Ch и Och. Средняя встречаемость представителей трех отделов не достигала 50 %, а разнообразие видов с высоким показателем встречаемости было низким. Максимальная встречаемость была зафиксирована у двух видов (*Ceramium virgatum* Roth, *Palisada perforata* (Bory) K. W. Nam), у четырех (*Ceramium diaphanum* (Lightf.) Roth, *Ellisolandia elongata* (J. Ellis et Solander) K. R. Hind et G. W. Saunders, *Ulva rigida* C. Agardh, *Chaetomorpha aerea* (Dillwyn) Kütz.) она была близка к максимуму. С марта по октябрь подавляющее большинство видов относилось к добавочной и случайной группам. Видов добавочной категории особенно много было среди Ch и Och, а система постоянства видового состава Rh отличалась примерно равным вкладом всех трех групп. Среди групп фитоценотической активности доминировала малоактивная, а ее совокупная доля со среднеактивной (55 %) была выше аналогичной у особо- и высокоактивных видов. Вполне понятно, что высокое разнообразие видов с низким и средним уровнем встречаемости является основой для сохранения и поддержания во времени фиторазнообразия локальных донных сообществ. Крайние значения абсолютного числа видов отличались в 3–7 раз. Максимум этого показателя приходился на весенние месяцы (март и апрель) (рис. 3). В марте еще нет заметного повышения температуры воды, но идет активное прорастание спор. В апреле вода прогревается до +15 °С, что сопровождается бурным ростом макрофитов. Второй пик проявлялся в августе и сентябре. Минимум числа видов в фитоценозе чаще приходился на

октябрь. Внутригодовая неоднородность видового состава связана как с онтогенетическими особенностями видов, так и с сезонным распределением значений абиотических факторов среды. Полученные данные отражали закономерности внутригодового распределения видового состава макроводорослей в Черном море по биологическим сезонам: весна – с февраля по май и лето – с июня по сентябрь [43]. Эти сезоны соответствуют внутригодовому изменению солнечной радиации и продолжительности дня. Весной наличие отдельных растений сезонно-зимних видов сочетается во времени с началом массового развития однолетних и сезонно-летних форм [18]. Внутригодовая динамика видового состава бентосных водорослей в акватории охраняемого объекта по степени проявления относилась к значительной и верхненормальной по шкале Г. Н. Зайцева. Величина коэффициента Фельдманна с марта по август оставалась примерно на одном уровне, после чего она возрастала. Значения индекса Ченя больше подвергались помесечным изменениям, имея при этом колебательный характер (рис. 4). Значительную часть времени они соответствовали среде со средней степенью загрязнения, а в июне и сентябре даже высокой.

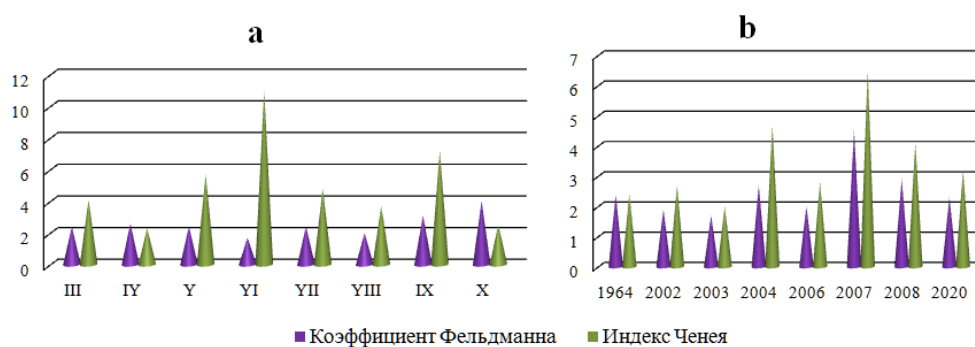


Рис. 4. Меж- (а) и внутригодовая (б) динамика значений коэффициента Фельдманна и индекса Ченя.

О качественной неоднородности макрофитобентоса в разные сезоны свидетельствуют широкие пределы варьирования коэффициента Жаккара (7–67 %) и его низкое среднее значение (35 %). Доля одинаковых видов только в июле и августе, июле и сентябре составляла 52 и 54 %. Очень мало общих видов было обнаружено в фитобентосе мая, июля и октября, что было связано с особенностями внутригодового распределения видового состава черноморских макроводорослей по биологическим сезонам. На общие виды у Och и у Rh приходилось 27 и 18 %, среди Ch их было в 1,5 и 2 раза больше. Для Ch и Och были отмечены случаи полного отсутствия совпадения видового состава, что подтверждало наличие сезонных качественных различий бентосных фитоценозов. Общее число родов также изменялось в широких границах (от 13 до 29). Среди них три рода включали по 5–7 видов, остальные – по одному или по два. Ежемесячная доля маловидовых родов была высокой (79–92 %).

Летом 1964–2020 гг. в районе Маяка (трансекта III) на глубине 0,5 м были обнаружены 17 видов зеленых, 19 – бурых и 39 – красных водорослей. Три вида (*Ceramium virgatum*, *Callithamnion corymbosum* (J. E. Smith.) Lyngb., *Ellisolandia elongata*) проявляли максимально высокую встречаемость, у двух (*Ceramium diaphanum*, *Grania efflorescens* (J. Agardh) Kylin) показатель достигал 87 %. Анализ распределения видов по группам постоянства в ценозе показал равновеликое господство добавочной и случайной групп, на постоянную группу приходилась лишь четверть всего видового состава фитоценоза разных лет. В отделах такое соотношение групп нарушалось: среди Ch в наблюдаемый период было больше всего постоянных и случайных видов (по 35 %), среди Och – случайных (47 %), среди Rh – добавочных (46 %). Подтверждением способности видового состава изменяться во времени даже в границах одного сезона являлся, в частности, размах вариации числа видов в отделах. У Rh он был вдвое выше (25 таксонов), чем у Ch и Och. Отличие крайних значений числа видов в отделах достигало 4–12 раз с максимумом у Ch. По данным многолетних наблюдений наибольшее число видов в отделах приходилось на 2020 г., наименьшее – на 2003 г. (рис. 5).

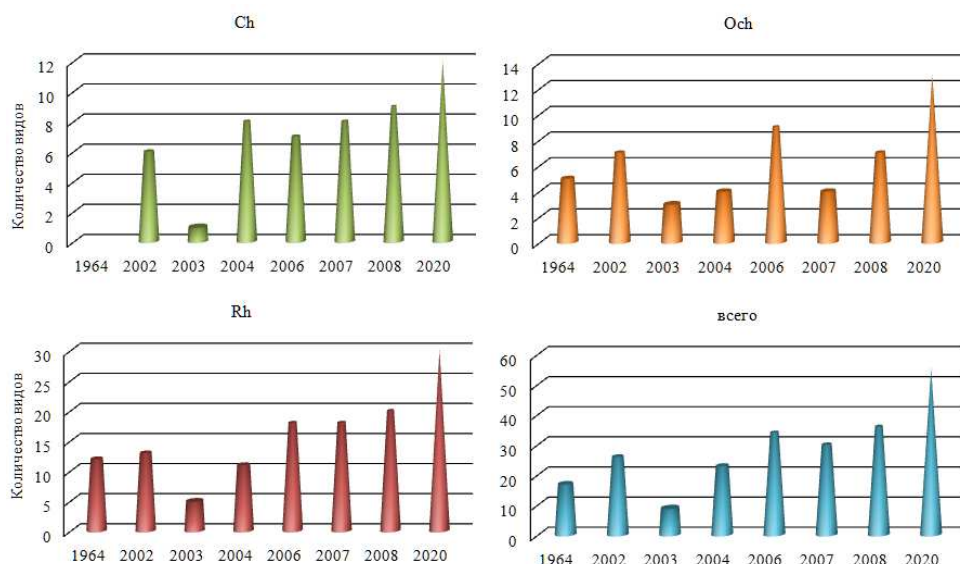


Рис. 5. Межгодовая динамика флористического состава макрофитобентоса у мыса Сарыч (Маяк, глубина 0,5 м).

Межгодовые изменения показателя по шкале Г. Н. Зайцева относились к типу значительных. Для периода с 2006 по 2020 г. было отмечено увеличение числа видов Ch, Rh и во всем фитоценозе. Коэффициент Фельдманна и индекс Ченя менялись по годам в пределах верхней нормы. Значения коэффициента Фельдманна свидетельствовали о долговременном сохранении субтропического характера бентосной флоры в районе Маяка. Индекс Ченя в начале наших наблюдений в 2002

и 2003 гг., а также в 2006 г. соответствовал чистой морской среде, что подтверждало результаты более ранних исследований в 1964, 1981 и 1989 гг. [42, 28]. В последующем среда характеризовалась как мезотрофная. Активизация процессов рекреационно-хозяйственного освоения береговой зоны в бухте Ласпи, появление новых источников загрязнения приводит к процветанию Rh и Ch, вытесняющих Och на третью среди отделов позицию. В настоящее время в бухте функционируют пять выпусков сточных вод, вынесенных от берега на расстояние 90–150 м [11]. Водолазное обследование глубоководного выпуска установило нарушение целостности стенки трубопровода, что приводит к фильтрации сточных вод.

О качественных различиях состава летнего фитобентоса в районе Маяка в сравниваемые годы можно судить по величине коэффициента Жаккара и по характеру распределения видов между мало- и многовидовыми родами. Из всех родов только четыре (8 %) были представлены несколькими видами, подавляющее же большинство – одним или двумя. Причем в 2003 и 2004 гг. все роды были одновидовыми, позже появились и многовидовые. Перечень последней группы родов менялся от года к году, но в нем всегда присутствовали *Ulva*, *Ceramium* и *Cladophora*. Вклад маловидовых родов варьировал от 60 % в 2002 г. до 96 % в 2007 г. Большое количество родов с невысоким видовым разнообразием свидетельствовало о межгодовой «пестроте» таксономического состава фитобентоса в летний период. Исходя из величины коэффициента Жаккара, в ценозе разных лет только треть видов были одинаковыми. Ch среди отделов отличался самым низким средним коэффициентом, что, в частности, могло быть связано с отсутствием его представителей в 1964 г. Виды в сравниваемые годы отличались уровнем своей фитоценотической активности (табл. 4). Треть видов относилась к малоактивной группе, половина – к высоко- и среднеактивной.

В целом, большой размах межгодовых вариаций абсолютного числа видов, немногочисленность видов с высокой и максимальной встречаемостью, господство добавочной и случайной групп, низкий уровень коэффициента видового сходства и средней встречаемости видов свидетельствуют о подверженности видового состава водорослей у мыса Сарыч межгодовым изменениям.

Обобщение полученных современных, а также архивных и литературных данных показало, что в состав макрофитобентоса памятника природы в акватории мыса Сарыч входят макроводоросли 104 видов 64 родов, 36 семейств, 21 порядка, 5 классов отделов Chlorophyta, Ochrophyta и Rhodophyta (табл. 1). Лидерами таксономического разнообразия являются Rhodophyta, одно- и двухвидовые роды. Число многовидовых родов ограниченное, но в своем составе они содержат третью часть всего видового списка. Общая пропорция соподчиненных таксонов выглядит как 1 порядок : 2 семейства : 3 рода : 5 видов.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На основе проведенных исследований, с учетом архивных и литературных данных, а также результатов современной таксономической ревизии установлено, что в состав макрофитобентоса памятника природы в акватории мыса Сарыч входят макроводоросли 104 видов 64 родов, 36 семейств, 21 порядка, 5 классов отделов

Chlorophyta, Ochrophyta и Rhodophyta. Среди них 17 видов обладают природоохранным статусом. Особенности фитоценозов у мыса Сарыч являются доминирование красных водорослей (47 % общего числа видов) и маловидовых родов (87 % общего числа родов), высокая видовая насыщенность надродовых таксонов. Бурые и зеленые водоросли по параметрам таксономического состава занимают, соответственно, вторую и третью позиции.

Господство постоянных, особо- и высокоактивных видов, отсутствие представителей мало- и неактивной групп, большой вклад видов с высокой встречаемостью и среднее значение коэффициента Жаккара свидетельствуют о большом качественном сходстве и однородности фитоценоза на разных участках памятника природы. Низкая средняя встречаемость видов по годам и сезонам, незначительное разнообразие константного ядра флоры, широкие пределы варьирования и невысокое среднее значение коэффициента Жаккара, доминирование во времени случайной группы, большой размах межгодовых вариаций абсолютного числа видов указывают на подверженность видового состава бентосных фитоценозов мелководья охраняемой зоны внутри- и межгодовой изменчивости.

Актуализированные сведения о видовом составе в дальнейшем будут применены при экологическом анализе сообществ донных растений памятника природы. Высокое биологическое разнообразие и существенный вклад группы охраняемых видов должны стать еще одним обоснованием для создания южнобережного наземно-морского резервата, необходимость которого уже признана рядом исследователей [11, 12].

Работа выполнена в рамках государственного задания Института биологии южных морей им. А. О. Ковалевского РАН (проект № 121030300149-0).

Список литературы

1. Работнов Т. А. Фитоценология / Т. А. Работнов – Москва: МГУ, 1983. – 384 с.
2. Алексанов В. В. Методы инвентаризации и мониторинга биоразнообразия на особо охраняемых природных территориях регионального значения / В. В. Алексанов, С. К. Алексеев и др. // Серия «Кадастровые и мониторинговые исследования биологического разнообразия в Калужской области». – 2021. – Вып. 8. – Тамбов: ООО «ТПС». – 148 с.
3. Садогурский С. Е. Макрофитобентос у побережья ботанического заказника "Канак" (Чёрное море): современное состояние и пути сохранения / С. Е. Садогурский // Заповідна справа в Україні. – 2009. – 15 (1). – С. 31–38.
4. Садогурский С. Е. Макрофиты прибрежно-морских акваторий природных заповедников Крымского полуострова (Чёрное и Азовское моря) / С. Е. Садогурский, Т. В. Белич, С. А. Садогурская // Algologia. – 2019. – 29(3). – С. 322–351.
5. Белич Т. В. К изучению водорослей-макрофитов и цианобактерий прибрежно-аквальных комплексов юго-восточного района Крыма / С. А. Садогурская, С. Е. Садогурский // Бюллетень ГНБС. – 2019. – Вып. 131. – 61–69.
6. Darbyshire I. Important Plant Areas: revised selection criteria for a global approach to plant conservation / I. Darbyshire, S. Anderson, A. Asatryan, A. Byfield et al. // Biodiversity and Conservation. – 2017. – Vol. 26(8). – P. 1767–1800.

7. Edgar G. J. Key biodiversity areas as globally significant target sites for the conservation of marine biological diversity / G. J. Edgar, P. F. Langhammer et al. // *Aquatic conservation*. – 2008. – Vol. 18(6). – P. 969–983.
8. Heino J. Are indicator groups and cross-taxon congruence useful for predicting biodiversity in aquatic ecosystems? / J. Heino // *Ecological Indicators*. – 2010. – Vol. 10(2). – P. 112–117.
9. Особо охраняемые природные территории Севастополя / Под редакцией д. б. н. проф. Голубевой Е. И., д. г. н. проф. Позаченюк Е. А. – Симферополь, ИТ АРИАЛ, 2020. – С. 102–107.
10. Агаркова-Лях И. В. Условия развития и активность экзогенных геологических процессов на берегах Юго-Западного Крыма от мыса Айя до мыса Сарыч / И. В. Агаркова-Лях., А. М. Лях // *Изв. Саратов. ун-та. Новая серия. Серия Науки о Земле*. – 2020. – Т. 20, вып. 2. – С. 76–85.
11. Панкеева Т. В. Ландшафтная структура береговой зоны памятника природы «Прибрежный аквальный комплекс у мыса Сарыч» / Т. В. Панкеева, Н. В. Миронова // *Труды Карадагской научной станции им. Т. И. Вяземского – природного заповедника РАН*. – 2022. – Т. 7, № 1(21). – С. 51–60.
12. Панкеева Т. В. Современные ландшафты западного побережья Севастополя / Т. В. Панкеева, Н. В. Миронова, А. В. Пархоменко // *Учёные записки Крымского федерального университета имени В. И. Вернадского. География. Геология*. – 2022. – Т. 8 (74), № 1. – С. 54–69.
13. Щуров С. В. Сезонная изменчивость абиотических факторов среды и фитопланктона в районе мидийной ферм бухты Ласпи (2010–2011 гг.) / С. В. Щуров, Н. П. Ковригина, Л. В. Ладыгина // *Учёные записки Крымского федерального университета имени В. И. Вернадского. География. Геология*. – 2019 г. – Том 5 (71), № 2. – С. 184–201.
14. Заскоков Г. Ласпи, Коктебель и Большая Ялта лидируют по сливу неочищенных канализационных стоков в море / Г. Заскоков // *Новый день*. – 2017. URL: <https://newdaynews.ru/crimea/615881.html>
15. Мокиевский В. О. Морские резерваты – современные проблемы создания и функционирования / В. О. Мокиевский // *Заповедники и национальные парки*. – 2002. – 39. – С. 45–46.
16. Ревков Н. К. Биоразнообразие зообентоса прибрежной зоны Южного берега Крыма (район бухты Ласпи) / Н. К. Ревков, Т. В. Николаенко // *Биология моря*. – 2002. – Т. 28, № 3. – С. 170–180.
17. Калугина А. А. Исследование донной растительности Черного моря с применением легкоподложной техники / А. А. Калугина // *Морские подводные исследования*. – 1969. – М. – С. 105–113.
18. Калугина-Гутник А. А. Фитобентос Черного моря / А. А. Калугина-Гутник. – Киев: Наукова думка, 1975. – 248 с.
19. Зинова А. Д. Определитель зеленых, бурых и красных водорослей южных морей СССР / Зинова А. Д. – М. – Л.: Наука, 1967. – 397 с.
20. Guiry M. D. AlgaeBase. Worldwide electronic publication / M. D. Guiry, G. M. Guiry. – Galway: Nat. Univ. Ireland. 2022. URL: <http://www.algaebase.org> (accessed 22.08.2022).
21. Толмачев А. И. Введение в географию растений / А. И. Толмачев. – Л.: Изд-во Ленингр. ун-та, 1974. – 244 с.
22. Feldmann J. Recherches sur la Végétation Marine de la Méditerranée - La Côte des Albères / J. Feldmann // *Revue Algology*. – 1937. – V. 10. – P. 1–339.
23. Cheney D. T. R + C/P anew and improved ratio for comparing seaweed floras / D. T. Cheney // *Journal Phycology*. – 1977. – V. 13(2). – 12 p.
24. Даждо Р. Основы экологии / Р. Даждо. – М. Прогресс 1975. – 245 с.
25. Савинов А. Б. Развитие представлений об активности растений, ее экологической роли и способах оценки в экосистемах / А. Б. Савинов, Ю. Д. Никитин // *Принципы экологии*. – 2017. – № 3. – С. 20–39.
26. Миркин Б. М. Словарь понятий и терминов современной фитоценологии / Б. М. Миркин, Г. С. Розенберг, Л. Г. Наумова – М.: Наука, 1989. – 223 с.
27. Зайцев Г. Н. Математика в экспериментальной ботанике / Зайцев Г. Н. – М.: Наука, 1990. – 96 с.
28. Калугина-Гутник А. А. Изменение видового состава фитобентоса в бухте Ласпи за период 1964–1983 гг / А. А. Калугина-Гутник // *Экология моря*. – 1989. – Вып. 31. – С. 7–12.
29. Мильчакова Н. А. Макрофитобентос. Современное состояние биоразнообразия прибрежных вод Крыма (Черноморский сектор) / Н. А. Мильчакова / Под ред. Еремеева В. Н., Гаевской А. В. Севастополь: ЭКОСИ-Гидрофизика, 2003. – С. 152–208.

30. Красная книга Республики Крым. Растения, водоросли и грибы. – Симферополь, 2015. – 480 с.
31. Красная книга Российской Федерации (растения и грибы). – М. 2008. – 885 с.
32. Красная книга города Севастополя. – Калининград, Севастополь. 2018. – 432 с.
33. Червона книга України. Рослинний світ. – Київ: Глобалконсалтинг. 2009. – 912 с.
34. Black Sea Red Data Book. New York: United Nations Office for Project Services. – 1999. – 413 p.
35. Black Sea Red Data List. – 1997. [online] Available at: <http://www.grid.unep.ch/bsein/redbook/about/datalist.htm>
36. Мильчакова Н. А. Морские охраняемые акватории Крыма / Н. А. Мильчакова, В. В. Александров и др. – Научный справочник. – Симферополь: Н. Орианда, 2015. – 312 с.
37. Куфтаркова Е. А. Результаты гидролого-гидрохимического мониторинга мидийной фермы в прибрежной зоне Южного берега Крыма (бухта Ласпи) / Е. А. Куфтаркова, С. В. Щуров, Н. Ю. Родионова // Наук. зап. Терноп. нац. пед. ун-ту. Сер. Біол. – 2010. – №3 (44). – С. 133–136.
38. Евстигнеева И. К. Макрофитобентос побережья экоцентра «Айя-Сарычский» (Черное море, Крым) / И. К. Евстигнеева, И. Н. Танковская // Заповедное дело в Украине. – 2010. – 16(2). – С. 23–29.
39. Евстигнеева И. К. Макрофлора прибрежной акватории западной части Гераклейского полуострова и ее внутригодовая динамика (мыс Херсонес, Черное море) / И. К. Евстигнеева, И. Н. Танковская // Вопросы современной альгологии. – 2020. – 1(22). – С. 39–55.
40. Девяткин В. Г. Встречаемость видов водорослей как показатель биологического разнообразия альгоценозов / В. Г. Девяткин, И. В. Митропольская // Динамика разнообразия гидробионтов во внутренних водоемах России. Ярославль. – 2002. – С. 5–22.
41. Березина М. О. Эколого-таксономический состав морских фитоценозов зеленых макроводорослей естественных и загрязненных местообитаний о-ва Большой Соловецкий / М. О. Березина // Arctic environmental research. – 2011. – №3. – С. 12–19.
42. Калугина-Гутник А. А. Изменения в составе флоры водорослей Новороссийской бухты за последние 40 лет и её фитогеографический состав / А. А. Калугина-Гутник // Гидробиологические исследования северо-восточной части Чёрного моря. Ростов н/Д: Изд-во Ростовского ун-та – 1973. – С. 29–49.
43. Морозова-Водяницкая Н. В. Наблюдения над экологией водорослей Новороссийской 205 бухты / Н. В. Морозова-Водяницкая // Труды Кубано-Черноморского НИИ. Краснодар. – 1927. – Вып. 52. – С. 5–35.

**FLORISTIC COMPOSITION AND TAXONOMIC STRUCTURE OF
MACROPHYTOBENTHOS OF THE HYDROLOGICAL NATURE MONUMENT
"COASTAL AQUATIC COMPLEX NEAR CAPE SARYCH" (BLACK SEA)
UNDER CURRENT CONDITIONS**

Evstigneeva I. K., Tankovskaya I. N.

*Institute of biology of the southern seas of RAS, Sevastopol, Russia
E-mail: ikevstigneeva@gmail.com*

The Crimea is the world's centre of wild plant diversity. Along its shores there are objects of the reserve fund, which include the hydrological natural monument "Coastal aquatic complex at Cape Sarych". With the increase of anthropogenic impact on protected marine objects, there is a reduction of their biodiversity. There is a need to make forecasts of the impact on the coastal zone. The forecasts must be based on the results of multi-year observations. In the area of the nature monument, such observations were carried out sporadically in the mid-20th century. To date, the information on the floristic composition of the monument is scarce and needs to be updated. The aim of the work was to study the

species composition, taxonomic structure and spatial and temporal variability of the monument's macroflora under modern conditions. The hydrobotanical studies were carried out in the summer of 2020. Samples were taken by a diver at three transects at depths of 0.5; 1, 3, 5 and 10 m. A list of 104 species of 64 genera, 36 families, 21 orders, 5 classes of Chlorophyta, Ochrophyta and Rhodophyta divisions was compiled based on obtained, archival and literature data and taking into account the results of taxonomic revision. Among them 17 species have protected status. High proportion of Red Data Book species (22 %) confirms the conservation significance of the hydrological monument. The species ratio of the divisions (1 Ch : 1 Och : 2 Rh) indicates a quantitative predominance of red algae (47 % of the total number of species). Peculiarities of the composition of the Cape Sarych phytocenosis are the dominance of monospecific genera (87 % of the total number of genera) and high species richness of supra-specific taxa. Chordariaceae, Ceramiaceae, Rhodomelaceae, Ectocarpales (38–40 % of the total number of genera) have the highest genus diversity. Orders with a high content of families include Ulvales, Sphacelariales and Ceramiales. Ochrophyta and Chlorophyta rank second and third in terms of taxonomic composition. The average value of the Feldmann coefficient corresponds to the warm-water character of the studied flora. The Cheney saprobiological index (Ch+Rh/Och) indicates that macrophyte habitat is clean in summer 2020 in most of the surveyed water area. Quantitative changes in species composition, floristic and saprobiological indices at different sites are carried out within biological norms. Species occurrence in the surveyed sections of the monument water area varies from 33 to 100 %, reaching an average of 57 % for Chlorophyta species, 80 % for Ochrophyta, and 74 % for Rhodophyta. Within the cenosis, Ochrophyta and Rhodophyta species of the permanent category lead with an occurrence of more than 50 %. The high contribution of species with high occurrence and the average value of the Jaccard's coefficient indicate a qualitative similarity and homogeneity of the phytocenosis in the different sections of the nature monument. There are no significant taxonomic differences in the phytobenthos in the different sections of the protected area. However, the total number of species, the species diversity of co-located taxa and the genus ratio of Chlorophyta are greater at the water area experiencing local anthropogenic pressure. The presence of a recreational area and the influence of sewage contributes to the mass development of green algae, which is characteristic of areas with a medium degree of pollution.

Low average species occurrence by years and seasons, low diversity of the constant flora core, low average value of Jaccard's coefficient, high intensity of interannual variations of the absolute number of species illustrate seasonal and interannual variability of species composition of benthic macroalgae of the protected area. Intra-annual heterogeneity in species composition is related to ontogenetic features of species and to seasonal distribution of values of abiotic environmental factors. The data obtained have confirmed the regularities of the intra-annual distribution of the species composition of macroalgae in the Black Sea by biological seasons: spring from February to May and summer from June to September

The updated information on the species composition will be used for further ecological analysis of the bottom plant communities of the Natural Monument. The high biodiversity and significant contribution of the Protected Species Group should provide

further justification for the establishment of the South Bank terrestrial-marine reserve, the need for which has already been highlighted by a number of researchers.

Keywords: macroalgae, floristic composition, taxonomic structure, occurrence, variability, protected area, Crimea, Black Sea.

References

1. Rabotnov T. A. *Phytocenology*, (Moscow: Moscow State University, 1983), 384 p.
2. Aleksanov V. V., Alekseev S. K., Sionova M. N., Novikova O. A. *Methods of inventory and monitoring of biodiversity on specially protected natural territories of regional importance*, 148 p. (Series 'Cadastral and monitoring studies of biodiversity in Kaluga region', Tambov: OOO TPS, 2021. **8**.)
3. Sadogursky S. E. Macrophytobenthos near the coast of botanical reserve "Kanaka" (Black Sea): current state and ways of conservation. *Zapovidna sprava Ukraini*, **15** (1), 31 (2009).
4. Sadogursky S. E., Belich T. V., Sadogurskaya S. A. Macrophytes of coastal and marine aquatic areas of natural reserves of the Crimean Peninsula (Black and Azov Seas), *Algologia*, **29**(3), 322 (2019).
5. Belich T. V., Sadogurskaya S. A., Sadogursky S. E. Towards the study of macrophyte algae and cyanobacteria of coastal aquatic complexes of the south-eastern region of Crimea, *Bulletin of GNBS*, **131**, 61 (2019).
6. Darbyshire I., Anderson S., Asatryan A., Byfield A., Cheek M., Clubbe C., Ghrabi Z., Harris T., Heatubun C. D., Kalema J., Magassouba S., McCarthy B., Milliken W., de Montmollin B., Lughadha E. N., Onana J.-M., Saïdou D., Sârbu A., Shrestha K., Radford E.A. Important Plant Areas: revised selection criteria for a global approach to plant conservation, *Biodiversity and Conservation*, **26**(8), 1767 (2017).
7. Edgar G. J., Langhammer P. F., Allen G., Brooks T. M., Brodie J., Crosse W., Da Silva N., Fishpool L. D. C., Foster M. N., Knox D. H., McCosker J. E., McManus R., Miller A. J. K., Mugo R. Key biodiversity areas as globally significant target sites for the conservation of marine biological diversity, *Aquatic conservation*, **18**(6), 969 (2008).
8. Heino J. Are indicator groups and cross-taxon congruence useful for predicting biodiversity in aquatic ecosystems? *Ecological Indicators*, **10**(2), 112 (2010).
9. *Specially Protected Natural Areas of Sevastopol*. Pod. red. Ph. D. Golubeva E. I., Ph. D Pozacheniuk E. A. (Simferopol, IT ARIAL, 2020), 140 p.
10. Agarkova-Lyakh I. V., Lyakh A. M. Conditions of development and activity of exogenous geological processes on the shores of Southwestern Crimea from Cape Aya to Sarych, *Proceedings of Saratov University. New Series. Earth Sciences Series*, **20**(2), 76 (2020).
11. Pankeeva T. V., Mironova N. V. Landscape structure of the coastal zone of the nature monument "Coastal aquatic complex at Cape Sarych", *Proceedings of the Karadag Research Station named after T. I. Vyazemsky. – Nature Reserve of the RAS*, **7**, **1**(21), 51 (2022).
12. Pankeeva T. V., Mironova N. V., Parkhomenko A. V. Modern landscapes of the western coast of Sevastopol, *Scientific Notes of Vernadsky Crimean Federal University. Geography. Geology*, **8** (74), **1**, 54 (2022).
13. Shurov S. V., Kovrigina N. P., Ladygina L. V. Seasonal Variability of Abiotic Factors and Phytoplankton in the Mussel Farm Area of Laspi Bay (2010–2011), *Vernadsky Academic Notes of the Crimean Federal University. Geography. Geology*, **5** (71), 2, 184 (2019).
14. Zaskokov G. Laspi, Koktebel and Bolshaya Yalta are leaders in discharge of untreated sewage into the sea Novyi Den. (2017). URL: <https://newdaynews.ru/crimea/615881.html>
15. Mokievsky V. O. Marine reserves – modern problems of creation and functioning, *Reserves and national parks*, **39**, 45 (2002).
16. Revkov N. K., Nikolaenko T. V. Biodiversity of zoobenthos of the coastal zone of the Southern coast of Crimea (Laspi bay area), *Marine Biology*, **28** (3), 170 (2002).
17. Kalugina A. A. Study of bottom vegetation of the Black Sea with the use of light-diving equipment, *Marine Underwater Research*. M., 105 (1969).
18. Kalugina-Gutnik A. A. *Phytobenthos of the Black Sea*, p. 248 (Kyiv: Naukova dumka, 1975).
19. Zinova A. D. *Identifier of green, brown and red algae of the southern seas of the USSR*, p. 397 (M. - L.: Nauka, 1967).

20. Guiry M. D., Guiry G. M. *AlgaeBase. Worldwide electronic publication Galway: Nat. Univ. Ireland*. URL: <http://www.algaebase.org> (accessed 22.08.2022).
21. Tolmachev A. I. *Introduction to plant geography*, p. 244 (L.: Publishing house of Leningrad University, 1974).
22. Feldmann J. Recherches sur la Végétation Marine de la Méditerranée - La Côte des Albères. *Revue Algology*, **10**, 1 (1937).
23. Cheney D. T. R + C/P anew and improved ratio for comparing seaweed floros, *Journal Phycology*, **13(2)**, 12 (1977).
24. Dazho R. *Fundamentals of ecology*, p. 245 (M. Progress, 1975).
25. Savinov A. B., Nikitin Y. D. Development of ideas about plant activity, its ecological role and methods of assessment in ecosystems, *Principles of Ecology* **3**, 20 (2017).
26. Mirkin B. M., Rosenberg G. S., Naumova L. G. *Dictionary of concepts and terms of modern phytocenology*, (M.: Nauka, 1989), 223 p.
27. Zaitsev G. N. *Mathematics in experimental botany*. (M.: Nauka, 1990), 96 p.
28. Kalugina-Gutnik A. A. Changes in the species composition of phytobenthos in Laspi Bay for the period 1964–1983, *Marine Ecology*, **31**, 7 (1989).
29. Milchakova N. A. *Macrophytobenthos. The Current State of Biodiversity of Coastal Waters of the Crimea (Black Sea Sector)*, ed. by Eremeev V. N., Gaevskaya A. V. Sevastopol: ECOSY-Hydrophysics, 152 (2003).
30. Red Book of the Republic of Crimea. Plants, algae and fungi, 480 p. (Simferopol, 2015).
31. Red Data Book of the Russian Federation (plants and fungi), 885 p. (M, 2008).
32. Red Data Book of Sevastopol, 432 p. (Kaliningrad, Sevastopol, 2018).
33. The Red Book of Ukraine. Roslinnyi svit, 912 p. (Kyiv: Globalconsulting, 2009).
34. Black Sea Red Data Book, 413 p. (New York: United Nations Office for Project Services, 1999).
35. Black Sea Red Data List. 1997, Available at: <http://www.grid.unep.ch/bsein/redbook/about/datalist.htm>
36. Milchakova N. A., Aleksandrov V. V., Bondareva L. V., Pankeeva T. V., Chernysheva E. B. *Marine protected water areas of Crimea*, 312 p. (Scientific directory. Simferopol: N. Orianda, 2015).
37. Kuftarkova E. A., Shchurov S. V., Rodionova N. Y. Results of hydrological and hydrochemical monitoring of mussel farm in the coastal zone of the Southern coast of Crimea (Laspi Bay), *Sci. Proc. Ternopil National Pedagogical University. Ser. Biol.* **3(44)**, 133 (2010).
38. Evstigneeva I. K., Tankovskaya I. N. Macrophytobenthos of the coastal ecocenter "Ayia-Sarychsky" (Black Sea, Crimea), *Reserve business in Ukraine*, **16(2)**, 23. (2010).
39. Evstigneeva I. K., Tankovskaya I. N. Macroflora of the coastal waters of the western part of the Heraclea Peninsula and its intraannual dynamics (Cape Chersonese, Black Sea), *Problems of Modern Algology*, **1(22)**, 39 (2020).
40. Devyatkin V. G., Mitropolskaya I. V. The occurrence of algal species as an indicator of biological diversity of algocenoses, *Dynamics of diversity of hydrobionts in inland water bodies of Russia, Yaroslavl*, **5** (2002).
41. Berezina M. O. Ecological and taxonomic composition of sea phytocenoses of green macroalgae of natural and polluted habitats on the Bolshoi Solovetsky Island, *Arctic environmental research*, **3**, 12 (2011).
42. Kalugina-Gutnik A. A. Changes in algae flora of Novorossiysk bay for the last 40 years and its phytogeographical composition, *Hydrobiological studies of the north-eastern part of the Black Sea, Rostov n/D: Publishing house of Rostov University*, 29 (1973).
43. Morozova-Vodyanitskaya N. V. Observations on the ecology of algae in Novorossiysk bay, *Proceedings of Kuban-Black Sea Research Institute. Krasnodar*, **52**, 5 (1927).

УДК 581.1:57.032:57.033

ХАРАКТЕРИСТИКИ ГЕТЕРОТРОФНОГО РОСТА *PHAEODACTYLUM* *TRICORNUTUM* ВОHLIN В НАКОПИТЕЛЬНОЙ КУЛЬТУРЕ

Жондарева Я. Д., Тренкенишу Р. П.

Федеральный исследовательский центр «Институт биологии южных морей
имени А. О. Ковалевского РАН», Севастополь, Россия
E-mail: yana.zhondareva@yandex.ru

В работе представлены результаты экспериментального исследования гетеротрофного роста черноморской диатомеи *Phaeodactylum tricornutum* штамм IBSS-25 в альгологически чистой накопительной культуре. Получено устойчивое размножение клеток и рост плотности культуры при добавлении в питательную среду 4 г/л глицерина и полном отсутствии освещения. Такая начальная концентрация глицерина позволила обеспечить прирост концентрации клеток около 0,5 млн кл/мл за 6 суток эксперимента, а экономический коэффициент составил 125 тыс. кл./г(глицерина). Анализ накопительной кривой в виде линейной модели показал постоянство скорости роста концентрации клеток на уровне 110 тысяч клеток/л в сутки. Кривая роста плотности культуры *Ph. Tricornutum* позволила выделить 2 участка: экспоненциальный – с постоянной максимальной удельной скоростью роста 0,32 сут⁻¹, и линейный – с максимальной продуктивностью 0,135 г(АСВ) л⁻¹ сут⁻¹. В эксперименте экономический коэффициент производства биомассы *Ph. tricornutum* за счет использования глицерина составил 0,305 г(АСВ)/г(глицерина). КПД преобразования энергосодержания глицерина в химическую энергию биомассы можно оценить в 35,5 %.

Ключевые слова: морские микроводоросли, *Phaeodactylum tricornutum*, гетеротрофия, накопительная культура, скорость роста, абсолютно сухой вес (=АСВ), глицерин.

ВВЕДЕНИЕ

К настоящему времени разработаны различные способы культивирования микроводорослей. В зависимости от практических целей производства биомассы используют фотоавтотрофный, гетеротрофный, фотогетеротрофный и миксотрофный режимы выращивания [1]. Чаще всего, микроводоросли выращиваются фотоавтотрофно путем фиксации растворенного в питательной среде углекислого газа за счет энергии поглощенного света. В то же время некоторые виды микроводорослей могут расти гетеротрофно, используя органические соединения в составе среды в качестве источников углерода и энергии; поэтому они не нуждаются в свете в качестве источника энергии [2]. Гетеротрофный рост представляет собой аэробный процесс, при котором ассимиляция органических субстратов генерирует энергию путем окислительного фосфорилирования, сопровождаемого потреблением кислорода для обеспечения конечного акцептования электронов. Миксотрофный рост представляет собой одновременное использование неорганического и органического источников углерода в присутствии света [3], поэтому фотоавтотрофия и гетеротрофия происходят

одновременно [1]. Некоторые виды способны переключаться с фотоавтотрофного на гетеротрофный рост и обратно [3].

По сравнению с традиционным фотоавтотрофным культивированием, гетеротрофный способ выращивания микроводорослей имеет как преимущества, так и недостатки. Существенным недостатком является восприимчивость гетеротрофных культур к микробиальному загрязнению [4]. Главным достоинством гетеротрофии является возможность получения более высокой объёмной плотности биомассы в культуре и не требуют высокого соотношения освещаемой поверхности к объёму. По данным [5–8] гетеротрофный рост обеспечивает высокую плотность клеток, которая может превышать 75 г/л, поскольку рост не ограничен светом, а продукция микроводорослей с единицы объёма культуры в десятки раз выше, чем при фотоавтотрофии. Кроме того, при гетеротрофном культивировании значительно увеличивается содержание липидов в биомассе клеток, что повышает ценность получаемой биомассы [9, 10].

Источником энергии и углерода при гетеротрофном росте в отсутствие света могут служить различные органические соединения. Чаще всего используют глюкозу, глицерин, ацетаты, а также отходы различных производств в виде сточных вод, содержащих органику, что значительно снижает стоимость получаемой микроводорослевой продукции [11]. Гетеротрофные микроводоросли пользуются преимуществами своих автотрофных аналогов (за исключением фиксации CO₂) без ограничения продуктивности в зависимости от света. Это демонстрируется путем сравнения их производительности. Для фотоавтотрофной системы самая высокая концентрация биомассы, достигнутая на сегодняшний день, составляет 40 г/л сухой клеточной массы в тонкослойных (8 мм) культурах с концентрированной подачей CO₂ [12], в то время как, наиболее продуктивная гетеротрофная (на примере роста *Chlorella vulgaris* на глюкозе) достигла плотности биомассы 117,2 г/л [13].

В предлагаемой работе представлены результаты исследования возможности гетеротрофного роста *Phaeodactylum tricornerutum* и его количественных характеристик скоростей, а также оценка энергетического и экономического коэффициента использования глицерина.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В опытах использовали альгологически чистую культуру диатомовой микроводоросли *Phaeodactylum tricornerutum* Bohlin, 1897 [14, 15] – штамм IBSS-25 из ЦКП «Коллекция гидробионтов Мирового океана» ФИЦ «Институт биологии южных морей имени А.О. Ковалевского РАН». Питательная среда, состав которой представлен в работе [16], готовилась на основе пастеризованной черноморской воды соленостью 1,4–1,8 ‰. Для обеспечения гетеротрофного питания [17] в среду был добавлен глицерин в концентрации 4 г/л.

Ph. tricornerutum выращивали накопительным методом в стеклянном культиваторе плоскопараллельного (слой 2 см) типа [16], с рабочим объёмом 1 л. Для компенсации испарения воды, на протяжении всего эксперимента поддерживали этот объём, доливая перед измерениями дистиллированную воду до отметки 1 л. Скорость продувки воздухом через распылители в культуре составляла 1л·мин⁻¹·л⁻¹.

Температура среды автоматически поддерживалась на уровне 19° С, и параллельно ее контролировали ртутным термометром непосредственно в культиваторе. Для засева экспериментальных культиваторов использовали активно делящуюся культуру, начальная плотность которой составила 0,23 г/л сухого вещества.

Определение плотности и подсчет концентрации клеток в камере Горяева производили в десятикратной повторности по методикам, описанным в работе [16]. Микроскопический контроль культуры производили с помощью светового микроскопа Carl Zeiss Axiostar Plus (Carl Zeiss, Германия). Математическую обработку и моделирование экспериментальных данных осуществляли с помощью компьютерных программ «Grapher3» и «Excel».

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

В эксперименте испытывали гетеротрофный рост микроводоросли *Ph. tricornutum* в накопительной культуре при использовании глицерина в качестве единственного энергетического субстрата. Накопительная кривая роста концентрации клеток показана на рисунке 1.

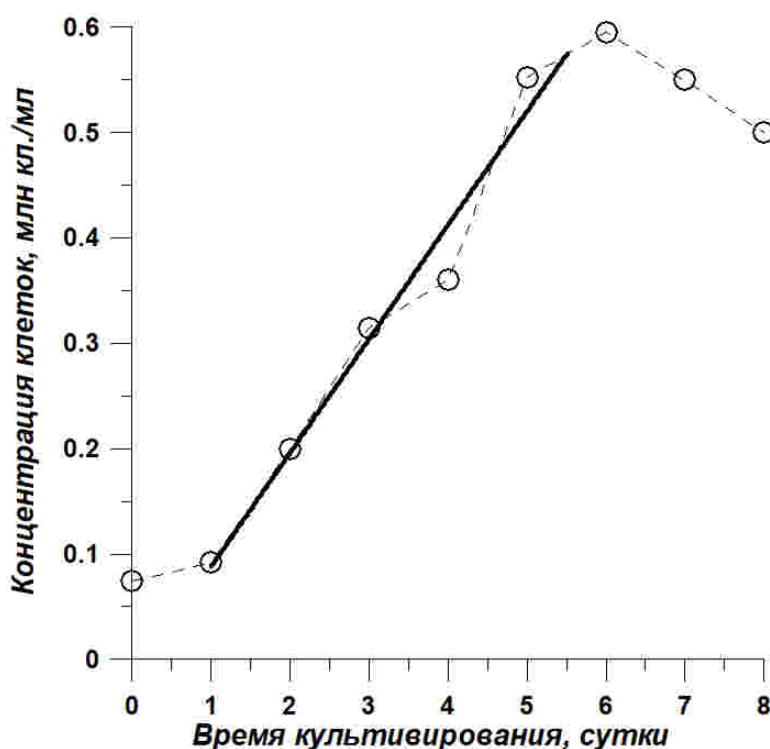


Рис 1. Динамика концентрации клеток *Phaeodactylum tricornutum* при использовании глицерина (4 г/л) как источника энергии в отсутствие света. Светлые кружочки – экспериментальные данные. Сплошная прямая – модель линейного роста культуры (1).

Приведенные на этом рисунке данные показывают, что после суточной адаптации начинается пятисуточный рост культуры за счет деления клеток, при этом их концентрация увеличивается в шесть раз от 100 до 600 тысяч в 1 мл культуры, т.е. прирост составил 0,5 млн кл./мл. Считая, что за 5 суток роста глицерин в среде полностью исчерпан, можно оценить его расход на прирост клеток, т.е. за счет одного грамма глицерина можно вырастить примерно 125 млн клеток *Ph. tricornutum*.

Скорость роста концентрации клеток. Рассматривая форму накопительной кривой, можно заметить практически линейный рост концентрации клеток со временем. Используя модель линейного роста микроводорослей для аккумулятивной культуры, можно рассчитать скорость роста (P_n), применив уравнение для зависимости концентрации клеток (N) от времени (t):

$$N = P_n(t - t_{st}) - N_{st}, t_{st} \leq t \leq t_f,$$

$$P_n = \frac{N + N_{st}}{t - t_{st}}.$$

Уравнение справедливо в диапазоне времени роста от начала (t_{st}) до конца (t_f) линейной фазы. N_l – коэффициент, ограничивающий применимость уравнения для концентрации клеток. Количественно уравнение хорошо (коэффициент детерминации $R_{sq} = 0,98$) описывает экспериментальные данные и позволяет вычислить скорость роста:

$$N \langle \text{млн кл} \cdot \text{л}^{-1} \rangle = 0,11 \langle \text{млн кл} \cdot \text{л}^{-1} \text{сут}^{-1} \rangle (t - 1) \langle \text{сут} \rangle - 0,02 \langle \text{млн кл} \cdot \text{л}^{-1} \rangle,$$

$$P_N = 0,11 \langle \text{млн кл} \cdot \text{л}^{-1} \text{сут}^{-1} \rangle.$$

(1)

Таким образом, экспериментально показана принципиальная возможность гетеротрофного размножения клеток *P. tricornutum* на глицерине со скоростью около 110 тысяч клеток/л в сутки. Полученные данные могут быть полезны при использовании этой микроводоросли в качестве живого корма в аквакультуре, где рацион питания обычно измеряют в концентрациях клеток.

Параллельные измерения динамики плотности культуры в эксперименте представлены на рисунке 2.

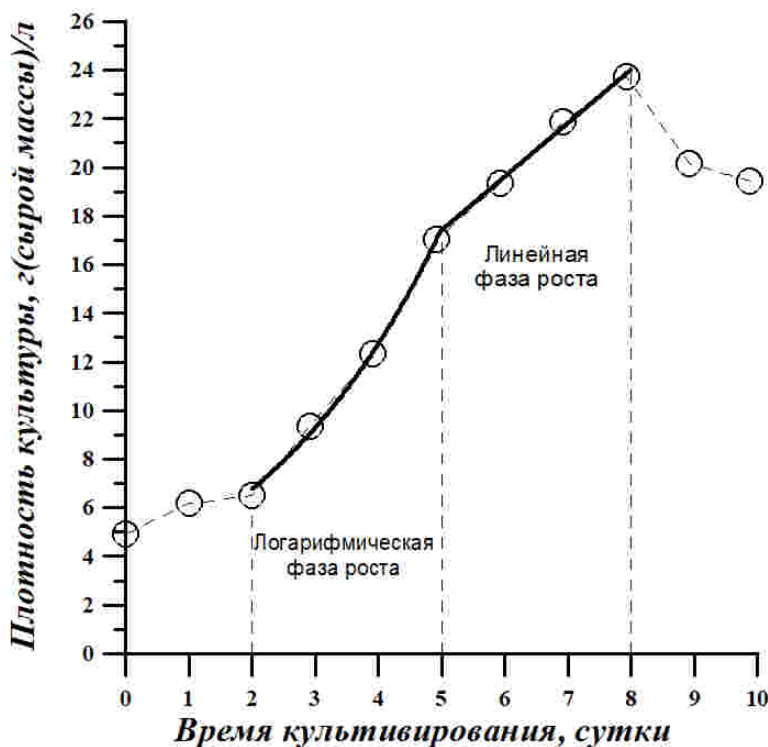


Рис. 2. Динамика плотности культуры *Phaeodactylum tricornerutum* при использовании глицерина (4 г/л) как источника энергии в отсутствие света. Светлые кружочки – экспериментальные данные, выраженные в концентрациях сырого веса. Сплошные линии – экспоненциальная (2) и линейная (3) модели роста культуры.

Сравнивая графики роста культуры микроводоросли, изображенные на рисунке 1 и рисунке 2, можно заметить, что динамика размножения и накопления биомассы имеют существенные различия. Так, размножение клеток практически заканчивается к шестым суткам культивирования, а концентрация биомассы продолжает увеличиваться вплоть до восьмых суток. Кроме того, лаг-период оканчивается к концу вторых суток, в отличие от накопительной кривой роста концентрации клеток, которые начинают размножаться к концу первых суток. Еще одним отличием является экспоненциальный рост биомассы от вторых по пятые сутки культивирования, что указывает на максимальную удельную скорость роста биомассы, которая увеличивается с 6 до 17 г/л, а прирост составляет 11 г/л за трое суток. Начиная с пятых суток, культура переходит в линейную фазу роста, которая также длится трое суток, но прирост составляет только 7 г/л (от 17 до 24 г/л).

Удельная скорость роста. Форма накопительной кривой плотности культуры позволяет выделить два участка роста, которые можно количественно описать в виде конкретных уравнений с постоянными параметрами скоростей. На экспоненциальной фазе наблюдается постоянство удельной скорости, а динамика

роста плотности (W) описывается показательным уравнением, из которого находим удельную скорость роста (μ):

$$W = W_{st} e^{\mu(t-t_{st})}, t_{st} \leq t \leq t_f,$$

$$\mu = \frac{\ln W - \ln W_{st}}{(t - t_{st})}, t_{st} \leq t \leq t_f.$$

Для участка накопительной кривой в экспоненциальной фазе роста (2-5 сутки) данные хорошо ($R_{sq} = 0,997$) описываются уравнением:

$$W = 3,6 \langle \text{г/л} \rangle e^{0,32 \langle 1/\text{сут} \rangle (t-2) \langle \text{сут} \rangle}, 2 \leq t \leq 5. \quad (2)$$

В результате сделана оценка максимальной удельной скорости роста *Ph. tricornutum* в данных условиях культивирования, которая равна $0,32 \text{ сут}^{-1}$.

Скорость роста (продуктивность). Начиная с 5 суток, плотность культуры изменяется со временем практически линейно. Эта линейная фаза роста длится трое суток, а рост плотности может быть описан уравнением прямой, из которого находим максимальную продуктивность (P_w):

$$W = P_w (t - t_{st}) - W_{st}, t_{st} \leq t \leq t_f,$$

$$P_w = \frac{W + W_{st}}{t - t_{st}}, t_{st} \leq t \leq t_f.$$

Для участка накопительной кривой на линейной фазе роста (5-8 сутки) данные хорошо ($R_{sq} = 0,993$) описываются уравнением:

$$W \langle \text{г/л} \rangle = 2,21 \langle \text{г/л} \cdot \text{сут} \rangle (t - 5) \langle \text{сут} \rangle - 6,47 \langle \text{г/л} \rangle, 5 \leq t \langle \text{сут} \rangle \leq 8,$$

$$P_w = 2,21 \langle \text{г/л} \cdot \text{сут} \rangle, 5 \leq t \langle \text{сут} \rangle \leq 8. \quad (3)$$

Таким образом, в опыте при данных условиях культивирования была достигнута продуктивность *Ph. tricornutum*, равная $2,21 \text{ г} \cdot \text{л}^{-1} \text{ сут}^{-1}$.

Для сравнительных оценок роста микроводорослей в культуре чаще всего используют измерения плотности культуры в единицах абсолютно сухой массы или веса (АСВ). Одновременные измерения сухой (B) и сырой массы (W) показаны на рисунке 3.

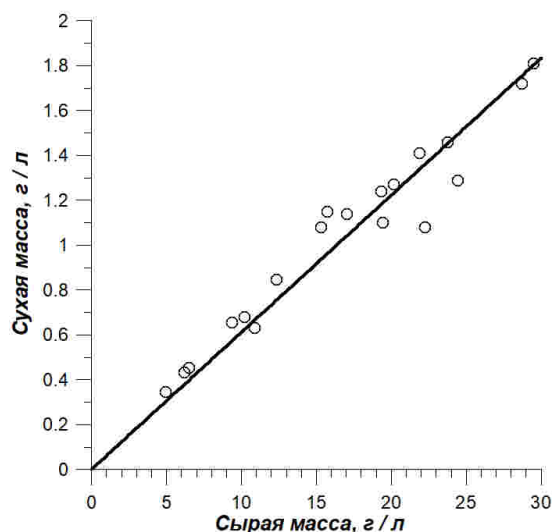


Рис. 3. Соотношение между сырой и сухой биомассой *Ph. tricornutum*. Светлые кружочки – одновременные экспериментальные измерения плотности культуры. Сплошная линия – расчет по уравнению (4).

Полученные данные с хорошей точностью ($R_{sq}=0,990$) позволили обнаружить прямолинейную связь между сухим и сырым весом биомассы:

$$B = kW,$$

$$k = 0,061 \frac{z(ACB)}{z}. \quad (4)$$

Таким образом, доля абсолютно сухого вещества в сырой биомассе *Ph. tricornutum* составляет 6,1 %.

Оценка экономического коэффициента. Данные позволяют дать примерную оценку расхода глицерина на прирост единицы биомассы *Ph. tricornutum*. Общий прирост биомассы составил около 20 г/л, или 1,22 г(АСВ)/л. Учитывая, что к 8 суткам рост прекратился, можно считать, что весь глицерин был ассимилирован. Экономический коэффициент составляет $1,22:4=0,305$ г(АСВ)/г(глицерина). Оценка этого показателя по числу клеток составляет примерно 135 млн кл./г(глицерина).

Энергетическая оценка усвоения глицерина. Калорийность глицерина 4,3 ккал/г. Добавка в питательную среду 4 г/л глицерина соответствует 17,2 ккал/л. При калорийности биомассы около 5 ккал/г(АСВ) микроводорослей общее энергосодержание культуры составит около 6,1 ккал/л, что соответствует энергетическому КПД:

$$6,1:17,2 = 0,355 = 35,5 \%$$

Полученная величина значительно превышает максимальное значение КПД фотобиосинтеза.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Исследование гетеротрофного роста черноморской диатомеи *Phaeodactylum tricorutum* в накопительной культуре позволило получить устойчивое размножение клеток и рост плотности культуры при добавлении в питательную среду 4 г/л глицерина и полном отсутствии освещения. Такая начальная концентрация органического субстрата позволила обеспечить прирост концентрации клеток около 0,5 млн кл/мл за 6 суток эксперимента, а экономический коэффициент составил 125 тыс. кл./г(глицерина).
2. Анализ полученной накопительной кривой с помощью линейной модели показал постоянство скорости роста концентрации клеток на уровне 110 тысяч клеток/л в сутки.
3. Кривая роста плотности культуры *Ph. tricorutum* позволила выделить 2 участка: экспоненциальный – с постоянной максимальной удельной скоростью роста 0,32 сут⁻¹, и линейный – с максимальной продуктивностью 0,135 г(АСВ) л⁻¹сут⁻¹.
4. В эксперименте экономический коэффициент производства биомассы *Ph. tricorutum* за счет использования глицерина составил 0,305 г(АСВ)/г(глицерина).
5. Таким образом, КПД преобразования энергосодержания глицерина в химическую энергию биомассы можно оценить в 35,5 %.

Работа выполнена в рамках госзадания "Исследование механизмов управления продукционными процессами в биотехнологических комплексах с целью разработки научных основ получения биологически активных веществ и технических продуктов морского генезиса" (№ 0556-2021-0004).

Список литературы

1. Wang J. Mixotrophic cultivation of microalgae for biodiesel production: status and prospects / J. Wang, H. Yang, F. Wang // Appl Biochem Biotechnol. – 2014. – Vol. 172 – P. 3307–3329.
2. Chen G. Q. Growing phototrophic cells without light / G. Q. Chen, F. Chen // Biotechnol Lett. – 2006. – Vol. 28. – P. 607–616.
3. Kang R. Interactions between organic and inorganic carbon sources during mixotrophic cultivation of *Synechococcus* sp. / R. Kang, J. Wang, D. Shi, W. Cong, Z. Cai, F. Ouyang // Biotechnol Lett. – 2004. – Vol. 26. – P. 1429–1432.
4. Perez-Garcia O. Microalgal heterotrophic and mixotrophic culturing for bio-refining: From metabolic routes to techno-economics / O. Perez-Garcia, Y. Bashan // Algal Biorefineries A. Prokop et al. (eds.), Springer International Publishing Switzerland. – 2015. – P. 61–130.
5. Smythers A. L. Direct incorporation of exogenous glycerol leads to increased triacylglycerol formation in *Chlorella vulgaris* / A. L. Smythers, E. G. Napier, E. L. Higginbotham, A. T. Holland, A. A. Stephenson, D. R. J. Kolling // Energy & fuels. – 2019. – Vol. 33, No 11. – P. 11125–11134.
6. Deore P. Perspective on the current status of approaches for early detection of microalgal grazing / P. Deore, J. Beardall, S. Noronha // Springer Nature. – 2020.
7. Ruiz J. Heterotrophic vs autotrophic production of microalgae: Bringing some light into the everlasting cost controversy / J. Ruiz, R. H. Wijffels, M. Dominguez, M. J. Barbosa // Algal Research. – 2022.
8. Scaife M. A. Algal biofuels in Canada: Status and potential / M. A. Scaife, A. Merckx-Jacques, D. L. Woodhall, R. E. Armenta // Renewable and sustainable energy reviews. – 2015. – Vol. 44. – P. 620–642.

9. Bastos C. R. V. Optimisation of biomass production and nutritional value of two marine diatoms (Bacillariophyceae), *Skeletonema costatum* and *Chaetoceros calcitrans* / C. R. V. Bastos, I. B. Maia, H. Pereira, J. Navalho, J. C. S. Varela // *Biology*. – 2022. – Vol. 11. – P. 594.
10. Barros A. Heterotrophy as a tool to overcome the long and costly autotrophic scale-up process for large scale production of microalgae / A. Barros, H. Pereira, J. Campos, A. Marques, J. Varela, J. Silva // *Sci. Rep.* – 2019. – Vol. 9.
11. Mehariya S. Integrated approach for wastewater treatment and biofuel production in microalgae biorefineries / S. Mehariya, R. K. Goswami, P. Verma, R. Lavecchia, A. Zuorro // *Energies*. – 2021. – Vol. 14.
12. Doucha J. Production of high-density chlorella culture grown in fermenters / J. Doucha, K. Lívanský // *J. Appl. Phycol.* – 2012. – Vol. 24. – P. 35–43.
13. Doucha J. Productivity, CO₂/O₂ exchange and hydraulics in outdoor open high density microalgal (*Chlorella* sp.) photobioreactors operated in a Middle and Southern European climate / J. Doucha, K. Lívanský // *J Appl Phycol.* – 2006. – Vol. 18. – P. 811–826.
14. Bohlin von K. Zur morphologie und biologie einzelliger algen / von K. Bohlin // *Öfversigt af Kongliga Svenska Vetenskaps-Akademiens Förhandlingar, Stockholm*. – 1897. – Vol. 54, No 9. – P. 507–529.
15. Kociolek J. P. DiatomBase. *Phaeodactylum tricornutum* Bohlin 1897 / J. P. Kociolek, S. Blanco, M. Coste, L. Ector, Y. Liu, B. Karthick, M. Kulikovskiy, N. Lundholm, T. Ludwig, M. Potapova, F. Rimet, K. Sabbe, S. Sala, E. Sar, J. Taylor, B. Van de Vijver, C. E. Wetzel, D. M. Williams, A. Witkowski, J. Witkowski // *World Register of Marine Species*. – 2022.
16. Жондарева Я. Д. Рост *Tetraselmis viridis* Rouch. в накопительной культуре при различном углеродном обеспечении / Я. Д. Жондарева, Р. П. Тренкеншу, С. Ю. Горбунова // *Ученые записки Крымского федерального университета им. В. И. Вернадского. Биология. Химия*. – 2022. – Т. 8, № 1. – С. 95–103.
17. Stukolova I. V. The main types of algae nutrition (short glossary) / I. V. Stukolova, R. P. Trenkenshu // *Voprosy sovremennoi algologii (Issues of modern algology)*. – 2020. – Vol. 22, No 1. – P. 34–38.
18. Тренкеншу Р. П. Унифицированная установка для лабораторных исследований микроводорослей / Р. П. Тренкеншу, А. С. Лелеков, А. Б. Боровков, Т. М. Новикова // *Вопросы современной альгологии*. – 2017. – Т. 1, Вып. 13.
19. Жондарева Я. Д. Миксотрофный рост *Phaeodactylum tricornutum* на неорганической среде с глюкозой и глицерином в накопительной культуре / Я. Д. Жондарева // *Морские биологические исследования: достижения и перспективы: сборник материалов Всероссийской научно-практической конференции с международным участием в 3 томах // ЭКОСИ-гидрофизика*. – 2016. – Т. 3 – С. 378–381.
20. Тренкеншу Р. П. Линейный рост морских микроводорослей в культуре / Р. П. Тренкеншу, А. С. Лелеков, Т. М. Новикова // *Морской биологический журнал*. – 2018. – Т. 3, № 1. – С. 53–60.

CHARACTERISTICS OF HETEROTROPHIC GROWTH OF *PHAEODACTYLUM TRICORNUTUM* IN BATCH CULTURE

Zhondareva Ya. D., Trenkenshu R. P.

*Federal Research Center "Institute of Biology of the Southern Seas named after A. O. Kovalevsky of the Russian Academy of Sciences", Sevastopol, Russia
E-mail: yana.zhondareva@yandex.ru*

To date, various methods for cultivating of microalgae have been developed. Depending on the practical goals of biomass production, photoautotrophic, heterotrophic, photoheterotrophic, and mixotrophic growing regimes are used. Most often, microalgae are grown photoautotrophically by fixing of carbon dioxide dissolved in the nutrient medium due to the energy of absorbed light. At the same time, some species of

microalgae can grow heterotrophically, using organic compounds in the media as sources of carbon and energy; therefore they do not need light as an energy source.

The paper presents the results of an experimental study of the heterotrophic growth of the Black Sea diatom *Phaeodactylum tricorutum* strain IBSS-25 in an algologically pure batch culture. A stable cell multiplication and an increase in culture density were obtained with the addition of 4 g/l of glycerin to the nutrient medium and the complete absence of lighting. Such an initial concentration of glycerol made it possible to ensure an increase in the concentration of cells of about 0.5 million cell/ml for 6 days of the experiment, and the economic coefficient was 125 thousand cell/g (glycerol). Analysis of the batch curve in the form of a linear model showed the constancy of the growth rate of the cell concentration at the level of 110 thousand cells/l per day. The growth curve of the density of the *Ph. tricorutum* culture made it possible to distinguish 2 areas: exponential – with a constant maximum specific growth rate of $0,32 \text{ day}^{-1}$, and linear – with a maximum productivity of $0,135 \text{ g (ADW)} \text{ l}^{-1} \text{ day}^{-1}$.

Thus, the fundamental possibility of heterotrophic reproduction of *Ph. tricorutum* cells on glycerol at a rate of about 110 thousand cells/L per day has been experimentally demonstrated.

The data obtained allow us to give an approximate estimate of the consumption of glycerol for the growth of a unit of biomass *Ph. tricorutum*. The total increase in biomass was about 20 g/l, or 1.22 g(ASV)/l. The estimate of this indicator by the number of cells is approximately 135 million cells/g (glycerol). In the experiment, the economic coefficient of biomass production of *Ph. tricorutum* through the use of glycerol was 0,305 g (ADW)/g (glycerol).

The efficiency of conversion of the energy content of glycerol into chemical energy of biomass can be estimated at 35.5 %.

Keywords: marine microalgae, *Phaeodactylum tricorutum*, heterotrophy, accumulative culture, growth rate, absolutely dry weight (= ADW), glycerol.

References

1. Wang J., Yang H. and Wang F. Mixotrophic cultivation of microalgae for biodiesel production: status and prospects, *Appl. Biochem. Biotechnol.*, **172**, p. 3307 (2014).
2. Chen G. Q. and Chen F. Growing phototrophic cells without light, *Biotechnol. Lett.*, **28**, p. 607 (2006).
3. Kang R., Wang J., Shi D., Cong W., Cai Z. and Ouyang F. Interactions between organic and inorganic carbon sources during mixotrophic cultivation of *Synechococcus* sp., *Biotechnol. Lett.*, **26**, p. 1429 (2004).
4. Perez-Garcia O. and Bashan Y. Microalgal heterotrophic and mixotrophic culturing for bio-refining: From metabolic routes to techno-economics, *Algal Biorefineries* (Springer International Publishing Switzerland, 2015), p. 61.
5. Smythers A. L., Napier E. G., Higginbotham E. L., Holland A. T., Stephenson A. A. and Kolling D. R. J. Direct incorporation of exogenous glycerol leads to increased triacylglycerol formation in *Chlorella vulgaris*, *Energy & fuels*, **33** (11), p. 11125 (2019).
6. Deore P., Beardall J. and Noronha S. Perspective on the current status of approaches for early detection of microalgal grazing, *Nature* (2020).
7. Ruiz J., Wijffels R. H., Dominguez M. and Barbosa M. J. Heterotrophic vs autotrophic production of microalgae: Bringing some light into the everlasting cost controversy, *Algal Research* (2022).
8. Scaife M. A., Merckx-Jacques A., Woodhall D. L. and Armenta R. E. Algal biofuels in Canada: Status and potential, *Renewable and sustainable energy reviews*, **44**, p. 620 (2015).

9. Bastos C. R. V., Maia I. B., Pereira H., Navalho J. and Varela J. C. S. Optimisation of biomass production and nutritional value of two marine diatoms (Bacillariophyceae), *Skeletonema costatum* and *Chaetoceros calcitrans* *Biology*, **11**, p. 594 (2022).
10. Barros A., Pereira H., Campos J., Marques A., Varela J. and Silva J. Heterotrophy as a tool to overcome the long and costly autotrophic scale-up process for large scale production of microalgae, *Sci. Rep.*, **9** (2019).
11. Mehariya S., Goswami R. K., Verma P., Lavecchia R. and Zuorro A. Integrated approach for wastewater treatment and biofuel production in microalgae biorefineries, *Energies*, **14** (2021).
12. Doucha J. and Lívanský K. Production of high-density chlorella culture grown in fermenters, *J. Appl. Phycol.*, **24**, p. 35 (2012).
13. Doucha J. and Lívanský K. Productivity, CO₂/O₂ exchange and hydraulics in outdoor open high density microalgal (*Chlorella* sp.) photobioreactors operated in a Middle and Southern European climate, *J. Appl. Phycol.*, **18**, p. 811 (2006).
14. Bohlin von K. Zur morphologie und biologie einzelliger algen, *Öfversigt af Kongliga Svenska Vetenskaps-Akademiens Förhandlingar, Stockholm*, **54** (9), p. 507 (1897).
15. Kociolek J. P., Blanco S., Coste M., Ector L., Liu Y., Karthick B., Kulikovskiy M., Lundholm N., Ludwig T., Potapova M., Rimet F., Sabbe K., Sala S., Sar E., Taylor J., Van de Vijver B., Wetzel C. E., Williams D. M., Witkowski A. and Witkowski J. DiatomBase. *Phaeodactylum tricorutum* Bohlin 1897, *World Register of Marine Species* (2022).
16. Zhondareva Ya. D., Trenkenshu R. P. and Gorbunova S. Yu. Growth of *Tetraselmis viridis* Rouch. in batch culture with different carbon supply, *Scientific notes of the Crimean Federal University names V. I. Vernadsky. Biology. Chemistry*, **8** (1), p. 95 (2022).
17. Stukolova I. V. and Trenkenshu R. P. The main types of algae nutrition (short glossary), *Issues of modern algology*, **22** (1), p. 34 (2020).
18. Trenkenshu R. P., Lelekov A. S., Borovkov A. B. and Novikova T. M. Unified setup for laboratory research of microalgae, *Issues of Modern Algology*, **13** (1), (2017).
19. Zhondareva Ya. D. Mixotrophic growth of *Phaeodactylum tricorutum* on an inorganic medium with glucose and glycerol in batch culture, *Marine biological research: achievements and prospects: collection of materials of the All-Russian scientific and practical conference with international participation in 3 volumes: ECOSI-hydrophysics*, **3**, p. 378 (2016).
20. Trenkenshu R. P., Lelekov A. S. and Novikova T. M. Linear growth of marine microalgae in culture, *Marine biological journal*, **3** (1), p. 53 (2018).

УДК 591.16:597.8

ВЛИЯНИЕ НАЧАЛЬНОЙ ПЛОТНОСТИ НА ЛИЧИНОЧНОЕ РАЗВИТИЕ ЗЕЛЕННОЙ ЖАБЫ (*BUFOTES VIRIDIS*, AMPHIBIA, ANURA, BUFONIDAE) В ЛАБОРАТОРНЫХ УСЛОВИЯХ

Кидов А. А., Иволга Р. А., Кондратова Т. Э., Соколова А. Д.

*Российский государственный аграрный университет – Московская сельскохозяйственная академия имени К. А. Тимирязева, Москва, Россия
E-mail: kidov@rgau-msha.ru*

Работа посвящена сравнительной оценке влияния площади дна и объема на выживаемость, рост и развитие личинок зеленой жабы (*Bufo viridis*) в лабораторных условиях. Материалом для работы послужило потомство от одной пары зеленых жаб из Калужской области (Россия). Для эксперимента были использованы 216 личинок при переходе к экзогенному питанию. Животных выращивали до прохождения метаморфоза в двух типах контейнеров: с одинаковой длиной и шириной дна, но разной высотой. Это позволяло при равной плотности посадки на единицу объема достигать разной плотности на единицу площади дна. Каждый вариант опыта осуществлялся в двукратном повторении. Личинок содержали и кормили по стандартной методике. Было выявлено, что при увеличении начальной плотности посадки личинок зеленой жабы на единицу объема воды и площади дна размеры их тела и выживаемость уменьшаются, а длительность развития до метаморфоза увеличивается. Увеличение плотности посадки на единицу объема воды оказывает значительно большее влияние на выживаемость, длительность личиночного развития и размерные показатели молоди при метаморфозе, чем начальная плотность на единицу площади дна. Авторы считают, что личинки зеленой жабы более интенсивно используют для передвижения и питания водный столб, а не дно. Также предполагается, что молодь этого вида чувствительна к метаболитам, концентрация которых падает с уменьшением плотности личинок на единицу объема воды, а не на площадь дна.

Ключевые слова: бесхвостые амфибии, личиночное развитие, плотность посадки, лабораторное разведение.

ВВЕДЕНИЕ

Начальная плотность размещения является одним из важнейших факторов, влияющих на рост и развитие гидробионтов, включая и амфибий в водной фазе жизненного цикла [1, 2]. Обычно с повышением числа особей увеличивается их элиминация, замедляется соматический рост и увеличивается или, наоборот, уменьшается продолжительность стадий развития [3, 4]. Очевидно, что работы, направленные на выявление оптимальной плотности посадки, имеют несомненную значимость при разработке технологий культивирования земноводных в искусственно созданной среде обитания [5, 6]. Показано, что этот фактор видоспецифичен и нуждается в определении для каждого объекта выращивания отдельно. При этом разные исследователи рассчитывают плотность посадки животных как на единицу площади дна, так и объема воды [7–9]. Представляется

интересным определить, какой из этих факторов оказывает большее влияние на рост и развитие амфибий.

Зеленая жаба (*Bufo viridis* Laurenti, 1768) – широко распространенный в Европе (включая европейскую часть России) вид, обладающий высоким потенциалом к синантропизации [10]. Зеленая жаба являлась модельным объектом во многих исследованиях, однако в последние десятилетия по всему ареалу наблюдается деградация популяций *B. viridis*, что послужило основанием для включения ее в региональные и национальные списки охраняемых животных [11]. Учитывая вышесказанное, особенное значение приобретают работы, направленные на оптимизацию методов разведения и выращивания жаб этого вида в искусственных условиях.

Цель настоящего исследования – сравнительная оценка влияния начальной плотности посадки на единицу объема воды и площади дна на выживаемость, рост и развитие личинок зеленой жабы.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Исследования осуществляли в лабораторном кабинете зоокультуры кафедры зоологии РГАУ–МСХА имени К. А. Тимирязева в 2021 г. Материалом для работы послужило потомство одной пары зеленых жаб, отловленной в д. Адлеровка Малоярославецкого района Калужской области. Икрометание стимулировали инъекцией сурфагона по общепринятой методике [12, 13]. При переходе всех личинок в кладке к экзогенному питанию (21–24 стадия по таблице нормального развития Госнера [14]) для дальнейшего эксперимента были отобраны 216 экз., а остальные выпущены в природный водоем.

Для экспериментов использовали 2 типа полипропиленовых контейнеров марки Samla (производитель – ИКЕА, Россия) с одинаковой длиной и шириной дна (39 × 28 см, площадь 1092 см²), но разной высотой (14 и 28 см), что позволяло при равной плотности посадки на единицу объема достигать разной плотности на единицу площади дна и наоборот (табл. 1).

Таблица 1

Схема исследований

Номер группы	Плотность посадки		Количество повторностей (контейнеров)	Полезный объем воды в контейнере, л	Количество личинок в одном контейнере, экз.
	экз./л	экз./м ²			
1	1	82,4	2	9	9
2	3	247,3	2	9	27
3	1	164,8	2	18	18
4	3	494,5	2	18	54

Подмену 2/3 объема воды на отстоянную того же состава производили через день. Личинок кормили ежедневно вволю хлопьевидным полнорационнм комбикормом для аквариумных рыб марки «TetraMin Flakes» (производитель – Tetra GmbH, Германия).

При прорыве передних конечностей (42–44 стадии по таблице Госнера) у личинок штангенциркулем с погрешностью 0,1 мм измеряли длину тела (L), хвоста ($L.cd.$) и общую длину туловища с хвостом ($L + L.cd.$), а после выхода на сушу (47 стадия по таблице Госнера) длину тела (L), а также при помощи электронных весов – массу.

Статистическую обработку полученных данных производили в программах *Microsoft Excel* и *Statistica 8.0*. Рассчитывали среднюю арифметическую и стандартное отклонение ($M \pm SD$), а также размах ($min - max$) исследуемых признаков. Гипотезы о нормальности и гомогенности распределения выборок проверяли с помощью критериев Лиллиефорса (*Lilliefors test*) и Левена (*Leven's test*). Статистическую значимость наблюдаемых различий оценивали при помощи однофакторного дисперсионного анализа (*One-way ANOVA*), а при попарном сравнении использовали тест Тьюки (*Tukey's honest significance test*). Взаимосвязь между длительностью личиночного развития и длиной тела определяли расчетом коэффициента ранговой корреляции Спирмена (r). Для определения наиболее значимого из мультиколлинеарных факторов (начальная плотность посадки личинок на объем воды и начальная плотностью посадки личинок на площадь дна; $r = 0,89$; $p \leq 0,05$), оказывающих влияние на длительность личиночного развития и размерные показатели личинок и метаморфов зеленой жабы, и построения уравнений зависимости исследуемых признаков и наиболее значимого фактора мы использовали регрессионный анализ.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Личинки при прорыве передних конечностей (42–44 стадии по таблице Госнера), выращенные в разных повторностях одной группы, не имели достоверных среднегрупповых различий по изученным показателям, что позволило нам объединять их при дальнейшем статистическом анализе. Так, группы личинок на этих стадиях, выращенные при разной начальной плотности на единицу площади и объема, статистически значимо отличались друг от друга по длительности личиночного развития ($F = 19,928$; $df = 3, 127$; $p \leq 0,001$), длине тела (L) ($F = 26,573$; $df = 3, 127$; $p \leq 0,001$), длине хвоста ($L.cd.$) ($F = 23,094$; $df = 3, 127$; $p \leq 0,001$) и общей длине туловища с хвостом ($L + L.cd.$) ($F = 29,446$; $df = 3, 127$; $p \leq 0,001$). При этом, в группе 1, где молодь росла при наименьшей плотности на объем воды и площадь дна, выживаемость особей была максимальной. Личинки из этой группы выходили на метаморфоз раньше и, в среднем, имели самые крупные размерные показатели. Молодь из экспериментальных групп 2 и 4 имела самую низкую выживаемость и наименьшие размеры в сравнении с сибсами из других групп. По длительности личиночного развития и размерным показателям личинки из группы 3 демонстрировали промежуточные значения.

ВЛИЯНИЕ НАЧАЛЬНОЙ ПЛОТНОСТИ НА ЛИЧИНОЧНОЕ РАЗВИТИЕ ...

У молодых жаб при выходе на сушу (47 стадия) сохранялись те же тенденции (табл. 2). Так, в группе 1 метаморфы покидали воду раньше и достигали на этой стадии больших размеров. Самыми низкими значениями этих показателей были отмечены для жаб из групп 2 и 4. Метаморфы из группы 3 по длительности личиночного развития и размерным показателям располагались между ними.

Таблица 2
Выживаемость, длительность личиночного развития и размерно-весовые показатели молоди при выходе на сушу (47 стадия по таблице нормального развития Госнера)

Номер группы	Повторность	Выживаемость, %	Длительность личиночного развития, сутки	Длина тела (L.), мм	Масса тела, г
1	1	100	$\frac{50,1 \pm 6,49}{38-57}$	$\frac{15,7 \pm 1,18}{14,0-17,8}$	$\frac{0,41 \pm 0,078}{0,30-0,54}$
	1	100	$\frac{57,1 \pm 11,54}{43-84}$	$\frac{14,8 \pm 0,76}{13,9-16,1}$	$\frac{0,38 \pm 0,067}{0,25-0,46}$
	среднее	100	$\frac{53,7 \pm 9,77}{38-84}$	$\frac{15,3 \pm 1,07}{13,9-17,8}$	$\frac{0,40 \pm 0,072}{0,25-0,54}$
2	2	59	$\frac{90,9 \pm 14,85}{71-120}$	$\frac{13,3 \pm 0,91}{11,8-15,5}$	$\frac{0,29 \pm 0,069}{0,21-0,48}$
	2	63	$\frac{97,6 \pm 26,94}{57-147}$	$\frac{13,8 \pm 2,93}{11,1-19,8}$	$\frac{0,26 \pm 0,056}{0,17-0,34}$
	среднее	61	$\frac{94,2 \pm 21,50}{57-147}$	$\frac{13,6 \pm 2,12}{11,1-19,8}$	$\frac{0,28 \pm 0,065}{0,17-0,48}$
3	3	100	$\frac{76,2 \pm 13,13}{61-104}$	$\frac{15,0 \pm 1,71}{12,4-20,0}$	$\frac{0,33 \pm 0,073}{0,22-0,47}$
	4	94	$\frac{75 \pm 14,19}{57-111}$	$\frac{14,0 \pm 1,40}{10,4-16,4}$	$\frac{0,34 \pm 0,067}{0,26-0,49}$
	среднее	97	$\frac{75,7 \pm 13,47}{57-111}$	$\frac{14,5 \pm 1,63}{10,4-20,0}$	$\frac{0,33 \pm 0,069}{0,22-0,49}$
4	4	37	$\frac{92,4 \pm 22,16}{53-127}$	$\frac{13,0 \pm 2,00}{10,6-18,6}$	$\frac{0,24 \pm 0,064}{0,13-0,35}$
	4	44	$\frac{85,9 \pm 21,30}{57-135}$	$\frac{13,1 \pm 1,72}{11,8-17,6}$	$\frac{0,25 \pm 0,051}{0,17-0,36}$
	среднее	40,5	$\frac{88,8 \pm 21,69}{53-135}$	$\frac{13,1 \pm 1,62}{10,6-18,8}$	$\frac{0,25 \pm 0,057}{0,13-0,36}$

Таким образом, при повышении плотности посадки на единицу объема воды выживаемость личинок до метаморфоза падала, а размерно-весовые показатели снижались. При этом, нами не было выявлено статистически значимых различий по исследованным показателям между группами, в которых личинки росли при одинаковой плотности посадки на объем воды, но при разной площади дна (табл. 3).

Нами не было отмечено статистически значимой зависимости длины тела метаморфов от длительности личиночного развития ни в одной из исследуемых групп. Размах длины тела метаморфов, выращенных в лаборатории, значительно перекрывается с длиной тела природных особей (12–22 мм) [13], однако средние значения по этому показателю в каждой из групп значительно ниже природных. Так, в окрестностях г. Кобленца (Рейнланд-Пфальц, Германия) этот показатель составлял 15,94 мм [15], в Московской области – 15,20 мм (д. Луцино) и 17,11 мм (пос. Шарاپово) [16].

Таблица 3

Уровни статистической значимости (*p-level*; над диагональю) и значения теста Тьюки (*Q value*; под диагональю) при попарном сравнении показателей молодежи зеленой жабы при выходе на сушу (47 стадия по таблице нормального развития Госнера) в разных группах

Показатель: длительность личиночного развития				
Номер группы	1	2	3	4
1	–	0,000	0,000	0,000
2	10,61	–	0,000	0,594
3	5,83	5,85	–	0,009
4	9,66	1,77	4,47	–
Показатель: длина тела (<i>L.</i>)				
Номер группы	1	2	3	4
1	–	0,003	0,376	0,000
2	4,89	–	0,108	0,676
3	2,27	3,19	–	0,002
4	6,43	1,59	5,03	–
Показатель: масса				
Номер группы	1	2	3	4
1	–	0,000	0,003	0,000
2	8,96	–	0,002	0,202
3	4,85	5,03	–	0,000
4	11,67	2,78	8,21	–

Согласно результатам регрессионного анализа, на показатели личинок зеленой жабы на 42–44 стадиях развития фактор начальная плотность посадки на объем воды оказывал большее влияние, чем фактор начальная плотность посадки личинок на площадь дна (стандартизированный коэффициент *Beta* составлял соответственно 0,507 и -0,008 для длительности личиночного развития; -0,537 и -0,045 для длины тела; -0,522 и -0,082 для длины хвоста; -0,564 и -0,073 для общей длины туловища с хвостом). Так, при увеличении начальной плотности посадки на 1 личинку на 1 л воды, у личинок на этих стадиях в среднем увеличивалась длительность личиночного развития на $11,1 \pm 1,70$ сут. ($p \leq 0,001$; $R^2 = 0,246$) и уменьшались

длина тела ($L.$) на $0,87 \pm 0,121$ мм ($p \leq 0,001$; $R^2 = 0,285$), длина хвоста ($L.cd.$) на $1,57 \pm 0,198$ мм ($p \leq 0,001$; $R^2 = 0,327$), общая длина туловища с хвостом ($L. + L.cd.$) на $2,44 \pm 0,287$ мм ($p \leq 0,001$; $R^2 = 0,358$).

На показатели личиночного развития метаморфов после выхода на сушу фактор начальная плотность посадки личинок на объем воды также оказывал большее влияние в сравнении с фактором начальная плотность посадки личинок на площадь дна (стандартизированный коэффициент $Beta$ равнялся соответственно 0,516 и -0,018 для длительности личиночного развития; -0,233 и -0,196 для длины тела; -0,322 и -0,311 для массы). Так, при увеличении начальной плотности посадки на 1 личинку на 1 л воды, у метаморфов зеленой жабы в среднем увеличивалась длительность личиночного развития на $11,5 \pm 1,75$ сут. ($p \leq 0,001$; $R^2 = 0,252$) и уменьшались длина тела ($L.$) на $0,73 \pm 0,153$ мм ($p \leq 0,001$; $R^2 = 0,150$) и масса на $0,05 \pm 0,006$ г ($p \leq 0,001$; $R^2 = 0,320$).

Таким образом, для личинок зеленой жабы наибольшее значение имеет объем воды, а не площадь дна. Вероятно, это объясняется особенностями экологии этого вида на ранних стадиях: личинки *B. viridis* много времени проводят в толще воды и на поверхности, используя околодонное пространство в значительно меньшей степени. Также можно предположить, что личинки зеленой жабы чувствительны к повышению концентрации экзометаболитов: это объясняет лучшие показатели роста и развития с увеличением объема воды, а не площади дна на одну особь.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. При увеличении начальной плотности посадки личинок зеленой жабы на единицу объема воды и площади дна размеры их тела и выживаемость уменьшаются, а длительность развития до метаморфоза увеличивается.
2. Увеличение плотности посадки на единицу объема воды оказывает большее влияние на выживаемость, длительность личиночного развития и размерные показатели молоди при метаморфозе, чем начальная плотность на единицу площади дна.
3. Предполагается, что вследствие интенсивного использования личинками толщи воды и поверхности, а также чувствительности к метаболитам, происходит интенсификация роста и развития с увеличением объема воды, а не площади дна.

Список литературы

1. Роус С. Выделение головастиками веществ, задерживающих рост / С. Роус, Ф. Роус // Механизмы биологической конкуренции. – 1964. – С. 263–276.
2. Пястолова О. А. Особенности развития личинок симпатрических видов тритонов Кавказа / О. А. Пястолова, Д. Н. Тархнишвили // Труды Института зоологии АН СССР. – 1986. – № 158. – С. 150–154.
3. Немько Е. А. Рост, развитие и выживаемость личинок кавказского тритона, *Lissotriton lantzi* при различной плотности посадки в зоокультуре / Е. А. Немько, А. А. Кидов, Я. А. Вяткин // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Естественные науки. – 2019. – №1 (25) – С. 113–125. – DOI: <https://doi.org/10.21685/2307-9150-2019-1-12>

4. Кидова Е. А. Влияние повышенной плотности посадки яиц на эмбриогенез тритона Ланца, *Lissotriton lantzi* (Amphibia, Caudata, Salamandridae) в зоокультуре / Е. А. Кидова, Я. А. Вяткин, А. А. Кидов // Известия Горского государственного аграрного университета. – 2020. – № 57 (4). – С. 171–175.
5. Кидов А. А. Рост, развитие и выживаемость личинок кавказской жабы, *Bufo verrucosissimus* (Amphibia, Anura, Bufonidae) при различной плотности посадки в зоокультуре / А. А. Кидов, К. А. Африн, И. В. Степанкова, А. А. Гориков // Известия Горского государственного аграрного университета. – 2020. – Т. 57, № 1. – С. 164–169.
6. Кидова Е. А. Размножение, развитие и рост тритона Ланца (*Lissotriton lantzi*, Amphibia, Caudata, Salamandridae) в зоокультуре: Дис. ... канд. биол. наук / Е. А. Кидова. – М.: РГАУ–МСХА им. К. А. Тимирязева, 2021. – 178 с.
7. Dmitrieva E. The effects of density on mortality and development of the *Bufo bufo* eggs and tadpoles / E. Dmitrieva // Russian Journal of Herpetology. – 2005. – Vol. 12, № 5. – P. 130–133.
8. Матушкина К. А. Применение полнорационных кормов для рыб в зоокультуре жаб рода *Bufotes* (Amphibia, Anura, Bufonidae) / К. А. Матушкина, А. А. Кидов, А. А. Серякова // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Естественные науки. – 2020. – № 1 (29). – С. 36–45.
9. Кидов А. А. Фауна, экология и охрана земноводных и пресмыкающихся Юго-Западного Прикаспия. Дис. ... докт. биол. наук / А. А. Кидов. – М.: РГАУ–МСХА им. К. А. Тимирязева, 2022. – 813 с.
10. Dufresnes C. Fifteen shades of green: The evolution of *Bufotes* toads revisited / C. Dufresnes, G. Mazepa, D. Jablonski et al. // Molecular Phylogenetics and Evolution. – 2019. – Vol. 141. – P. 1–25. – DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ympev.2019.106615>
11. Кузьмин С. Л. Земноводные бывшего СССР / С. Л. Кузьмин. – М.: Товарищество научных изданий КМК, 2012. – 370 с.
12. Кидов А. А. Обзор методик зоокультуры редких и исчезающих земноводных России и сопредельных стран: опыт Тимирязевской академии / А. А. Кидов, Е. А. Кидова, Л. С. Дроздова, Я. А. Вяткин, Р. А. Иволга, Т. Э. Кондратова, К. А. Африн, А. А. Иванов // Труды Института зоологии Республики Казахстан. – 2021. – Т. 1, вып. 1. – С. 89–104. – DOI: <https://doi.org/10.54944/oc260ot24>
13. Кидов А. А. Особенности размножения и раннего развития у самого высокогорного земноводного территории бывшего СССР – батурской жабы (*Bufotes baturae*, Amphibia, Bufonidae) (по результатам лабораторных исследований) / А. А. Кидов, Р. А. Иволга, Т. Э. Кондратова, Е. А. Кидова // Зоологический журнал. – 2022. – Т. 100, №2. – С. 153–164. – DOI: <https://doi.org/10.31857/S0044513421120060>
14. Gosner K. L. A simplified table for staging anuran embryos and larvae with notes on identification / K. L. Gosner // Herpetologica. – 1960. – V. 16, № 3. – P. 183–190.
15. Sinch U. Syntope habitatnutzung von *Bufo calamita*, *B. viridis* und *B. bufo* in einem rheinischen auskiesungsgebiet / U. Sinch, S. Höfer, M. Keltsch // Zeitschrift für Feldherpetologie. – 1999. – №. 6. – S. 43–64.
16. Ляпков С. М. Сохранение и восстановление разнообразия амфибий европейской части России: разработка общих принципов и эффективных практических мер. Научно-методическое руководство по изучению и охране амфибий / С. М. Ляпков. – Москва: Товарищество научных изданий КМК, 2003. – 116 с.

IMPACT OF INITIAL DENSITY ON LARVAL DEVELOPMENT OF THE GREEN TOAD (*BUFOTES VIRIDIS*, AMPHIBIA, ANURA, BUFONIDAE) IN LABORATORY CONDITIONS

Kidov A. A., Ivolga R. A., Kondratova T. E., Sokolova A. D.

*Russian State Agrarian University – Timiryazev Moscow Agricultural Academy, Moscow, Russia
E-mail: kidov@rgau-msha.ru*

It is well known that the initial density is the most important factor affecting the development of larvae in amphibians. Various researchers calculate the density of larvae on the volume of water or on the area of reservoir bottom. Obviously, these parameters can have different effects on juveniles of different ecological groups (for example, on benthic and pelagic larvae). It seems interesting which of these factors is more significant for amphibian larvae.

The green toad is widespread in Europe and in the past was a numerous species in most of its range. By now, due to the powerful anthropogenic impact, the population is declining. In connection with the above, the green toad was included in the lists of protected animals at the national and regional levels. The development of methods for its artificial reproduction may be important for the restoration of the species.

The work is devoted to a comparative assessment of the influence of bottom area and water volume on the survival, growth and development of green toad larvae (*Bufotes viridis*) in laboratory conditions.

The offspring of one pair of green toads from the Kaluga region (Russia) served as the material for the work. Reproduction of toads was stimulated by hormonal injection of surfagon. For the experiment, 216 larvae were used during the transition to exogenous nutrition. The animals were grown before metamorphosis in two types of containers: with the same length and width of the bottom (39 × 28 cm, area 1092 cm²), but different heights (14 and 28 cm). This allowed for equal density per unit volume (1 and 3 larvae per 1 liter of water) to achieve different densities per unit area of the bottom (82.4, 164.8, 247.3, and 494.5 larvae per square meter). Each variant of the experiment was carried out in a double repetition. The larvae were kept and fed according to the standard method. The water in the containers was replaced every two days. The larvae were fed daily with a combo feed of the brand "TetraMin Flakes" (Tetra GmbH, Germany) for aquarium fish. After leaving the water, body length and mass were measured in young toads.

The survival rate of larvae in different groups varied between 37–100 %, and the duration of larval development to metamorphosis was 38–147 days. The body length of toads during metamorphosis did not depend on the duration of larval development. At the same time, toads in different repetitions of one variant of the experiment did not have significant differences among themselves. The range of body length of laboratory-grown animals (10.4–20.0) overlapped with the body length of juveniles from nature (12–22 mm).

In general, according to the research results, the following trends are well traced. With an increase in the initial planting density of green toad larvae per unit volume of water and bottom area, their body size and survival rate decrease, and the duration of development to metamorphosis increases. An increase in the planting density per unit

volume of water has a significantly greater impact on survival, duration of larval development and dimensional parameters of juveniles during metamorphosis than the initial density per unit area of the bottom. The authors believe that the green toad larvae use the water column more intensively for movement and nutrition, rather than the bottom. It is also assumed that the juveniles of this species are sensitive to metabolites, the concentration of which decreases with a decrease in the density of larvae per unit volume of water, and not by the area of the bottom.

Keywords: tailless amphibians, larval development, density, captive breeding.

References

1. Rose S., Rose D. Secretion by tadpoles of substances retarding their growth, *Mechanisms of Biological Competition*, 263 (1964).
2. Pyastolova O. A., Tarkhnishvili D. N. Development features of larval in sympatric newt species of the Caucasus, *Proceedings of the Institute of Zoology of USSR Academy of Sciences*, **158**, 150 (1986).
3. Nemyko E. A., Kidov A. A., Vyatkin Ya. A. Growth, development and survivability of the Caucasian newt larvae, *Lissotriton lantzi* with different plant density in the zooculture, *University proceedings. Volga region. Natural science*, **1** (25), 113 (2019). – DOI: <https://doi.org/10.21685/2307-9150-2019-1-12>
4. Kidova E. A., Vyatkin Ya. A., Kidov A. A. Impact of increased egg density on embryogenesis of Lantz's newt, *Lissotriton lantzi* (Amphibia, Caudata, Salamandridae) in zooculture, *Proceedings of Gorsky State Agrarian University*, **57** (4), 171 (2020).
5. Kidov A. A., Afrin K. A., Stepankova I. V., Gorikov A. A. Growth, development and survival of *Bufo verrucosissimus* (Amphibia, Anura, Bufonidae) larvae at different stocking density in zooculture, *Proceedings of Gorskiy State Agrarian University*, **57** (1), 164 (2020)
6. Kidova E. A. *Reproduction, development and growth of the Lantz's newt (Lissotriton lantzi, Amphibia, Caudata, Salamandridae) in zooculture*, p. 178 (RSAU-MTAA, Moscow, 2021).
7. Dmitrieva E. The effects of density on mortality and development of the *Bufo bufo* eggs and tadpoles, *Russian Journal of Herpetology*, **12** (S), 130 (2005)
8. Matushkina K. A., Kidov A. A., Seryakova A. A. The use of complete feed for fish in zooculture of *Bufo* toads (Amphibia, Anura, Bufonidae), *University proceedings. Volga region. Natural science*, **1** (29), 36 (2020)
9. Kidov A. A. *Fauna, ecology and conservation of amphibians and reptiles of the South-West Pre-Caspian Region*, p. 813 (RSAU-MTAA, Moscow, 2021).
10. Dufresnes C., Mazepa G., Jablonski D. et al. Fifteen shades of green: The evolution of *Bufo* toads revisited, *Molecular Phylogenetics and Evolution*, **141**, 1 (2019) DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ympev.2019.106615>
11. Kuzmin S. L. *Amphibians of the Former USSR*, p. 369 (KMK Scientific Press, Moscow, 2012)
12. Kidov A. A., Kidova E. A., Drozdova L. S., Vyatkin Ya. A., Ivolga R. A., Kondratova T. E., Afrin K. A., Ivanov A. A. A review of zooculture methods for studying rare and endangered amphibians from Russia and adjacent countries: The Timiryazev Academy experience, *Tethys Zoological Research*, **1** (1), 89 (2021). – DOI: <https://doi.org/10.54944/oc260ot24>
13. Kidov A. A., Ivolga R. A., Kondratova T. E., Kidova E. A. Features of reproduction and early development in the Batura toad (*Bufo baturae*, Amphibia, Bufonidae), the most high-montane amphibian in the former USSR, based on the results of a laboratory study, *Zoological journal*, **100** (2), 153 (2022). – DOI: <https://doi.org/10.31857/S0044513421120060>
14. Gosner K. L. A simplified table for staging anuran embryos and larvae with notes on identification, *Herpetologica*, **16** (3), 183 (1960).
15. Sinch U., Höfer S., Keltsch M. Syntope habitatnutzung von *Bufo calamita*, *B. viridis* und *B. bufo* in einem rheinischen auskiesungsgebiet, *Zeitschrift für Feldherpetologie*, **6**, 43 (1999).
16. Lyapkov S. M. *Conservation and restoration of amphibian diversity in the European part of Russia: development of general principles and effective practical measures. Scientific and methodological guidelines for the study and conservation of amphibians*, p. 116 (KMK Scientific Press, Moscow, 2003).

УДК 631.618 (292.471)

ЭКОБИОМОРФЫ КАК ИНДИКАТОРЫ ПРОЦЕССОВ СИНГЕНЕЗА НА АНТРОПОГЕННО ПРЕОБРАЗОВАННЫХ ТЕРРИТОРИЯХ В ПРЕДГОРНОМ КРЫМУ

Кобечинская В. Г.¹, Богачева В. А.²

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

²*МБОУ «Холмовская СОШ» Бахчисарайского района Республики Крым, Россия
E-mail: valekohome@mail.ru*

Проведено сравнение интенсивности демутиационных процессов при первичном и вторичном сингенезе в предгорной зоне Крыма. Объектами изучения были антропогенно-преобразованные территории – заброшенные карьеры строительных материалов с полной утратой почвенного покрова и необрабатываемый более 30 лет агроценоз (сад). Это позволило сопоставить направленность эндогенетических смен растительности и влияние абиотических факторов среды на активность этих процессов с оценкой особенностей сложения переходных сообществ. Основными информационными показателями выявления направленности сукцессионных смен являлся спектр флористического состава растений, произрастающих на антропогенно нарушенных территориях и их основные биоморфологические признаки, соотношение которых служат чувкими индикаторами, отражающими многообразие адаптационных механизмов видов с учетом разной интенсивности внешней нагрузки на данную территорию и регионального аспекта.

Ключевые слова: биоморфологические признаки, флористический состав растений, заброшенный карьер, необрабатываемый агроценоз, предгорной Крым.

ВВЕДЕНИЕ

Интенсивность демутиационных смен растительности и их причины обуславливаются как природными особенностями конкретной территории, так и хозяйственной деятельностью человека [1]. Из-за развала сельскохозяйственного и промышленного производства в 90-е годы XX века на территории нашего государства огромные площади сельхозугодий оказались заброшенными, на них начались активные вторичные демутиационные процессы. Резкое падение объемов строительства также привело к закрытию большинства карьеров по добыче строительных материалов, что активизировало процессы первичного сингенеза на отвалах из-за полной утраты на карьерах плодородного слоя. Часто освободившиеся местообитания занимают не эдификаторы коренных ассоциаций, а другие виды, столь же приспособленные к данным почвенным условиям при утрате прежней ценотической среды. Каждый из видов – эдификаторов той или иной формирующейся ассоциации при демутиационных процессах создает определенную ценотическую среду, характер которой предопределен конкретными абиотическими

факторами и фитоценотическими свойствами этого растения. Каждое звено в демулационной смене связано со смягчением экологических условий [2]. Из трех основных форм воздействия растений друг на друга [1] наибольшее значение имеют трансбиотические взаимоотношения. Они происходят через изменение условий произрастания, причем совокупное воздействие всех растений, входящих в состав фитоценоза, создает их общую фитосреду, к которой адаптируются растения, как уже произрастающие в данном сообществе, так и внедряющиеся в него. Каждая особь использует необходимые ей ресурсы в пределах определенного объема среды, поэтому для динамично формирующегося фитоценоза, где идут активные демулационные процессы, сильно выражена конкуренция между видами при совпадении их экологических ниш. Уничтоженное сообщество восстанавливается не сразу, а путем последовательной смены нескольких недолговечных, которые образуют стадии демулационных сукцессий [2, 3]. Причем она представляет собой не одну, а целый комплекс производные ассоциации. Под их пологом возобновляются виды другой ассоциации, которая будет следующей стадией демулационной смены. Сущность процессов сингенеза состоит в постепенном восстановлении ценоценотической среды сообщества, разрушенного внешним антропогенным воздействием (в данной работе – уничтожение лесной коренной растительности для создания сада или карьера).

В литературе имеются разнообразные исследования по динамике демулационных смен растительности преимущественно на карьерах и техногенных субстратах, заброшенных пашнях или послепожарных сукцессиях в разных регионах страны [3–9 и др.] и мира [10–14], но для Крыма эти исследования единичны [9, 15–17].

Жизненные формы растений, их набор и соотношение – одни из важных геоботанических характеристик [18]. Эколого-биологические признаки определяют различные реакции биоморф на факторы внешней среды, на основе которых складываются их взаимоотношения в фитоценозе. Роль прямых воздействий видов намного уступает опосредованным.

В Крыму общие площади карьеров составляют около 5,1 тыс. га, из них прошли горнотехническую рекультивацию только 121,6 га [16]. Остальные площади подвержены только биологической рекультивации, т.е. самозарастанию растительностью за счет прилегающей ненарушенной территории. Площади брошенных садов также были довольно многочисленные (более 76 тыс. га), но в последние пять лет идет интенсивное их восстановление (примерно до 1000 га/год). Поэтому представляет значительный научный интерес провести сравнительный анализ по биоморфологическому спектру растений, которые осваивают эти территории, установив виды – «пионеры» заселения данных земель, оценить поэтапные процессы интенсивности демулационных процессов во временном аспекте.

Этим обуславливается важность изучения эколого-биологических свойств растений для познания сингенеза растительных сообществ на антропогенно преобразованных территориях в предгорной зоне Крыма в сравнительном аспекте,

которые в литературе не освящены. Вышеуказанная проблематика обусловила выбор темы исследования и ее актуальность.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Три пробные площади были заложены на территории бывшего персикового сада, который был создан в 1974 г колхозом «Украина» за счет распашки части склона горы Каш-Кая в 3 км к югу от села Холмовка Бахчисарайского района. Площадь его была 18,52 га, высота – 155–159 м н. у.м., крутизна склона этой площади – 5–10°. В процессе ликвидации этого колхоза при распаивании земель в 1992 году из-за отсутствия финансовых ресурсов у фермеров, обрезка деревьев и обработка междурядьев была полностью прекращена, в результате начался интенсивный процесс гибели посадок, т.к. агроэкосистема не способна к самоподдержанию при прекращении ухода за ней. Ныне осталось лишь 12 экз./га усыхающих деревьев персика, остальные – 488 экз./га погибли. В результате сад был утрачен и начались активные демулационные процессы восстановления коренной лесной растительности с прилегающей территории лесного массива, т.к. плантажная вспашка при его закладке сильно не нарушила почвенный профиль и семенной материал древесно-кустарниковой лесной растительности здесь сохранился.

1 пробная площадь была заложена у основания южного склона горы Каш-Кая вблизи природного дубово-грабового леса, который отделен от неё узкой проселочной дорогой. Она размещалась в виде ленточной трансекты шириной 50 м и длиной 200 м вдоль кромки леса с общей площадью 1 га.

2 пробная площадь была выбрана в максимальном удалении от лесного массива на окраине заброшенного сада. Этот участок размещался примерно в 500 м от границы леса площадью 1 га.

3 пробная площадь – контрольная. Это не нарушенный сохранившийся дубово-грабовый лес, располагающийся на южном склоне г. Каш-Кая.

Второй объект исследований, выведенный из эксплуатации более 35 лет назад, карьер нуммулитовых известняков, расположенный между двумя селами Холмовка и Красный Мак в Бахчисарайском районе и находящийся примерно в 2 км от персикового сада, поэтому климатические характеристики для данных объектов одинаковы. Здесь также были заложены 3 пробные площади. Карьер охраняется, но не эксплуатируется. Почвенного покрова нет, на его территории почти на 10 га сложены пиленные строительные крупномерные блоки, которые так и не были вывезены из него. Это было связано с тем, что при разработке террасами пиленого известняка на глубине 15 м эксплуатационники столкнулись с мощным источником подземных грунтовых вод, которые затопили подъездные пути и часть карьера. Обваловка строительными отходами образовавшегося мелководного водоема, чтобы вода не затопила весь карьер, остановила разлив, но подъездные пути стали не доступны для большегрузного транспорта. На дне его скопилось огромное количество известковой тырсы, смешанной с мелкоземом, занесенном сюда ветровыми потоками с прилегающих сельхозугодий и мелкообломочного

материала, поэтому идет залужение этой территории за счет травянистой растительности с включением древесно-кустарниковых видов. На разрушающихся уступах террас также накапливается рыхлый мелкозем, аккумулирующий конденсат и влагу, что создает условия для внедрения и формирования разновозрастной растительности.

4 пробная площадь была заложена на его юго-западном склоне, захватывая и дно карьера, она удалена от лесного массива на 2 км. Высота над уровнем моря 220 м н.у.м.

5 пробная площадь расположена на юго-восточном склоне карьера в виде ленты по террасам в 500 м от леса. Высота над уровнем моря – 245 м н.у.м.

6 контрольный участок – дубово-грабовый лес, прилегающий к карьере. Площадь каждого участка по 1 га. Поэтому именно выработанные и неэксплуатируемые карьеры различных строительных материалов можно рассматривать в качестве моделей раскрытия механизмов эцезиса, т.е. процесса приспособления популяций растений к новым для них условиям [19].

Детальное геоботаническое и лесотаксационное описание пробных площадей с подробным анализом флористического и возрастного спектра древесно-кустарниковой растительности уже изложены в наших предшествующих статьях [9, 17]. Поэтому в данном сообщении мы остановимся на анализе биоморфологических особенностей растений, формирующих здесь растительные сообщества при первичном и вторичном сингенезе с учетом временного фактора. При выделении биоморфологических признаков растений мы использовали линейную систему жизненных форм В. Н. Голубева, при этом привлекались материалы его монографии «Биологическая флора Крыма» [18]. При этой работе учитывались следующие признаки: спектр биоморф и их ареалы распространения, особенности структуры подземных и надземных органов, побегообразование, размножение и расселение, вегетативное возобновление, экоморфы по отношению к влаге и свету, что позволило выявить общую направленность развития жизненных форм в конкретных биотопических условиях с учетом регионального фактора. Номенклатура таксонов приведена согласно С. К. Черепанову [20]. Все показатели структурных элементов рассчитаны с оценкой достоверности на $P_{0,95}$ уровне значимости [21].

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Флористическое разнообразие на участках № 1 и № 2 в заброшенном саду выше (57–45 видов), чем на карьере (уч. № 4 и № 5 – 45-41в.), что закономерно, т.к. здесь сохранился даже при плантажной вспашке при создании сада почвенный покров и значительный запас семян в почве. На карьере глубиной более 15 м – это полностью утрачено. Участки № 3 и № 6 – контрольные грабово-дубовые фитоценозы и флористический состав их очень близок – 24–33 вида.

На основе наших исследований можно утверждать, что при вторичных сукцессиях в заброшенном саду в основном проявляется модель благоприятствования: наличие свободных экологических ниш, четко выраженные три основные стадии развития: травяная, преобладания мелколиственных пород

деревьев и главенство коренных видов. Возрастной состав их относительно близок, низкая сомкнутость, наличие свободных экологических ниш создают условия к активному внедрению разновозрастных видов с широким диапазоном экобиоморф.

Представляет интерес сравнение ареалографического спектра видов, освоивших эти территории на исследуемых пробных площадях. Растения европейско-средиземноморского и европейско-средиземноморско-переднеазиатского ареала на всех трех площадях, занимают в сумме по 31,7–32,2 %, далее в убывающем порядке представлены виды с палеарктическим ареалом и западно-палеарктическим, составляя в сумме для участка № 1 – 17,5 %, для второго – 24,9 % и самые высокие показатели выявлены в лесу – 33,2 %, т.е. они составляют третью часть всех произрастающих здесь видов. Значительно реже представлены растения средиземноморско-переднеазиатского, восточно-средиземноморского, понтического, понтико-казахстанского, т.е. вклад средиземноморской флоры в демулационные процессы при вторичном сингенезе сравнительно низок. Сравнивая ареалы биоморф природного фитоценоза (пробная площадь № 3) с ареалами видов демулационных фитоценозов на пробных площадях № 1 и № 2, можно отметить, что флористический состав средиземноморско-переднеазиатского и евро-азиатского степного ареала единично встречаются на участках № 1 и № 2.

Теперь рассмотрим ареалографический спектр видов, произрастающих на заброшенном карьере. Растения западно-палеарктического, южно-палеарктического и палеарктических ареалов являются ведущими, составляя в сумме 33,3–35,5 %, более всего их отмечено в дубово-грабовом фитоценозе (45,8 %). Виды широкого спектра обитания – европейско-азиатского более значительно представлены на этой территории (уч. № 4 – 17,6 %, № 5 – 13,2 %), в лесу эта группа крайне незначительна (4,2 %). Средиземноморская флора – это ареалы: собственно средиземноморский и восточно-средиземноморский в сумме образуют крайне малую группу – 3,6 % на 4 участке, несколько больше их на 5-м – 6,6 %, их также мало и на контроле – 8,4 %. Менее распространены растения средиземноморско-евроазиатского степного, крымско-кавказско-малоазиатского, средиземноморско-переднеазиатского и евро-азиатского степного, передне-азиатского и евро-азиатского степного ареала (только на 4-ой и 5-ой пробной площадях), понтико-казахстанского (только на пробной площади № 5 и № 6). Биоморфы крымского эндемичного ареала представлены только на пробных площадях № 4 и № 6, понтической группы – исключительно на 4-ом участке.

Теперь сопоставим данные по ареологии видов, заселяющие данные пробные площади. Четко прослеживается тенденция, что виды именно широкого экологического ареала, легко адаптирующиеся к контрастным условиям среды, наиболее обильны. Но есть и существенные отличия. При вторичном сингенезе в заброшенном персиковом саде наиболее значительна группа видов европейско-средиземноморского и европейско-средиземноморско-переднеазиатской области их обитания, что типично для природной флоры предгорий [18]. На карьере с более контрастными условиями среды на первое место выходят виды западно-палеарктические, причем самые высокие показатели их участия (24,4 %) именно на участке № 5, где интенсивная инсоляция, высокий нагрев поверхности террас,

малый запас тырсы и мелкозема, плотные известняки на уступах и острый дефицит влаги создают жесткие абиотические условия для существования растений. Поэтому нарушенные экотопы карьера заселены, в значительной мере, видами с ареалом голарктического типа из голарктической, палеарктической, западно-палеарктической и европейской групп. Здесь главенствуют ксерофитная растительность с незначительным участием деревьев и кустарников. Сопоставление этих спектров с учетом их приуроченности к климатическим зонам Крыма [18] позволяет отметить, что на всех пробных участках на карьере в основном встречаются растения из степной и горной зон полуострова – 36,4–52,9 %, на территории заброшенного сада – 40–45 %, что закономерно для территориальной принадлежности предгорий.

Рассмотрим теперь состав жизненных форм растений, развивающихся на этих объектах исследований (рисунки 1 и 2).

Исходя из анализа структуры пробных площадей заброшенного сада и карьера строительных материалов по основной биоморфе, четко выявляется, что преобладают поликарпические травы. Эти показатели достаточно близки, но при первичном сингенезе на карьере они более значимы (53,8–58,7 %), чем при вторичной демутиации в заброшенном саду (41,5–51,2 %). Обусловлено это в первую очередь высокой пластичностью и адаптационными возможностями поликарпических видов, которые более конкурентны, они способны за счет пазушных почек и оттавности быстро наращивать свою биомассу и восстанавливать свои позиции в ценозах по сравнению с другими биоморфами с учетом более жестких условий среды для развития растений на карьере. Ведущими ценопопуляциями на участке № 1, формирующими неоднородность горизонтальной структуры, являются поликарпические виды: *Sideritis taurica*, *Saponaria officinalis*, площадь их которых достигает 3–5 м². В убывающем порядке по элементам мозаики можно выделить: *Coronilla varia* и *Linum usitatissimum*. На участке № 2 это ценопопуляции: *Melampyrum arvense*, *Coronilla varia*, *Hypericum elongatum*, *Sideritis taurica*, *Salvia verticillata*. Обилие элементов мозаики в горизонтальной структуре участков № 1 и № 2 свидетельствует о неустойчивости состава травянистого яруса, крайней неоднородности горизонтального сложения и наличия свободных экологических ниш с возможностью внедрения новых видов. Существенное влияние в дальнейшем на травостой будут оказывать также и изменение сомкнутости древесно-кустарникового яруса. Ныне среди травостоя главенствуют сциофиты с низким уровнем представленности видов сивлантов, которые постепенно будут укреплять свои позиции по мере уменьшения освещенности под пологом древесно-кустарникового яруса. На участке № 1 сформировалась ассоциация: *Carpinus orientalis* – *Swida australis* + *Cornus mas* + *Juniperus oxycedrus* – *Clematis alba* – *Coronilla varia* (вязелево – ломоносово – можжевельново – кизилово – свидово – грабовая).

На участке № 2 главенствуют лугово-степные виды и сильно выражено явление экотонов, т.к. вдоль пробной площади по краю сада проходит дорога, а за ней распаханная сельхозугодия с фрагментами мало нарушенной степной растительностью и лесополосами, поэтому здесь обильны виды с широкой

экологической амплитудой, легко адаптирующиеся к многообразию встречающихся здесь биотопических условий среды. Пионерами заселения этой территории являются кустарники и единично встречаются представители древесной растительности: дуб скальный и граб восточный, их возраст не превышает 10 лет.

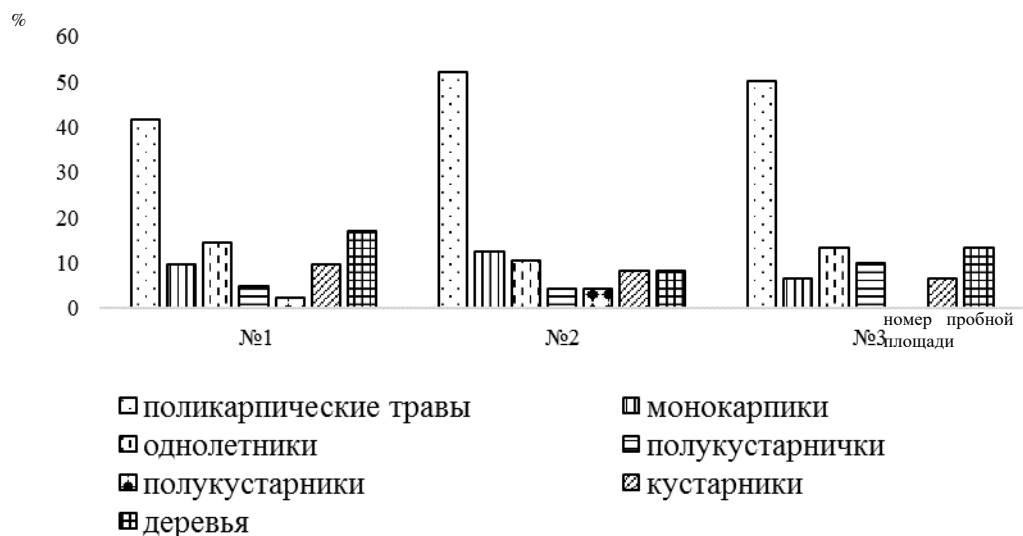


Рис. 1. Состав (%) биоморф пробных площадей заброшенного сада вблизи села Холмовка Бахчисарайского района.

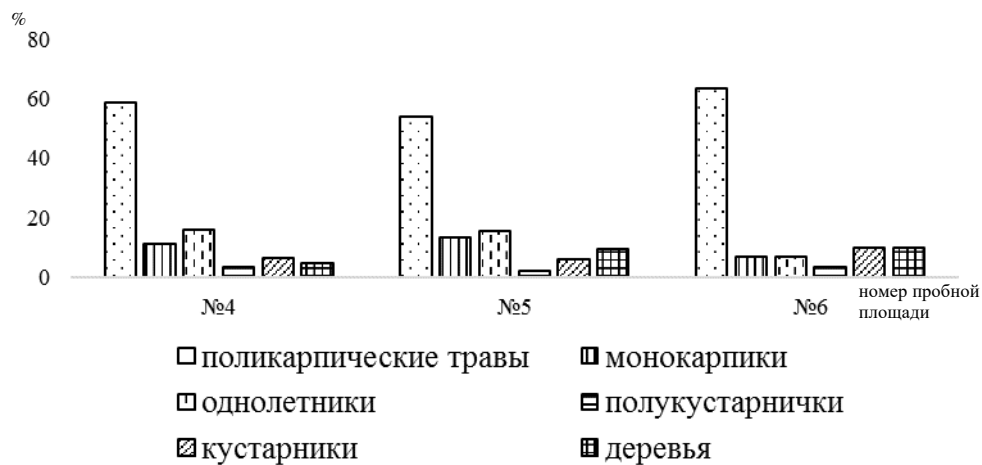


Рис. 2. Состав (%) биоморф пробных площадей обводненного Цыганского карьера нуммулитовых известняков вблизи села Холмовка Бахчисарайского района.

Причем главенствуют кустарники, обитающие на опушках леса: кизил обыкновенный, можжевельник колючий, свидина южная, ломонос

виноградolistный и шиповник обыкновенный. Также активно заселяет территорию яблоня обыкновенная. Сильная инсоляция, открытость для ветровых потоков, более выровненная территория (крутизна склона 3–5⁰), большой почвенный профиль за счет смыва почвенного покрова к основанию горы создали абиотические условия, благоприятные для формирования поляно-куртинных комплексов, а не лесного сообщества. Возможно, этот фитоценоз останется на этой переходной стадии десятки лет, особенно если здесь начнется выпас домашних животных и сенокосения, т. к. эта территория находится вблизи села. Тогда развитие этого сообщества пойдет по шибляковому типу, малопродуктивный и низкобонитетный фитоценоз, но он будет выполнять свои почвозащитные функции, противодействуя ветровой и водной эрозии по склону. Сейчас здесь сформировалась ассоциация *Carpinus orientalis* – *Cornus mas* + *Swida australis* + *Juniperus oxycedrus* – *Clematis alba* – *Daucus carota* (морково – ломоносово – можжевельно – свидово – кизилово – грабовая).

На контрольном участке № 3 выделена ass. *Quercus petraea* + *Carpinus orientalis* – *Quercus pubescens* + *Cornus mas* – *Juniperus oxycedrus* – *Polygonatum multiflorum* + *Fragaria vesca* (земляничниково – купеново – можжевельно – кизилово – грабово – дубовая). Мозаичность лесных микрогруппировок выражена слабо, они не устойчивы по компонентному составу, т.е. это фаза "мозаично-сменного состояния"[19].

Второе место в биоморфологическом спектре на участках заброшенного сада занимают деревья и кустарники (рисунок 1 и рисунок 2), в сумме составляя 26,8–16,6 %. На карьере эти показатели значительно ниже: уч. № 4 – 11,1 % и уч. № 5 – 15,4 %, на контрольных участках эти показатели близки. Причем, главенствуют кустарники, обитающие на опушках леса: кизил обыкновенный, можжевельник колючий, свидина южная, ломонос – 19,9–20,0 %. Отмеченная тенденция закономерна с учетом различий экотопических условий сравниваемых объектов исследования. Следует отметить и существенный вклад в этот показатель однолетников (*Crepis tectorum*, *Lepidium sativum*, *Valerianella rimosa*, *Euphorbia helioscopia* и др.) и монокарпиков (*Daucus carota*, *Echium vulgare*, *Anthyllis taurica*, *Berteroa incana* и др.), которые в заброшенном саду на уч. № 1 и № 2 в сумме составили 24,4–23,0 %. Значительно выше эти величины на пробных площадях карьера (27,0–28,9 %). Следовательно, при первичном сингенезе эти жизненные формы более активно включаются в формирование фитоценозов, хотя доля именно однолетних видов выше участия монокарпических видов. Группы полукустарничков и полукустарников сравнительно немногочисленные в заброшенном саду (7,3–8,4 %), а на карьере этот показатель минимален (3,2–1,9 %): *Artemisia absinthium*, *Teucrium polium*, *T. chamaedrys* и др.

Перечислим выделенные ассоциации на пробных площадях, заложенных на карьере. На участке № 4 сформирована ассоциация *Populus alba* + *Populus bolleana* – *Cornus mas* + *Rosa canina* – *Lolium perenne* + *Daucus carota* (морково – плевело–шиповниково – кизилово – тополевая). Для пробной площади № 5 была выделена ассоциация *Pinus pallasiana* + *Populus alba* – *Juniperus oxycedrus* – *Populus alba* + *Daucus carota* (морково – плевело – можжевельно – тополево – сосновая).

Следовательно, фитоценозы, возникшие в процессе самозарастания карьера – есть результат сложного взаимодействия зонально-климатических и конкретных экологических условий. Чем они более благоприятные, тем ближе по составу будут формироваться данные сообщества к зональному типу. При значительном своеобразии эдафических условий на карьере может происходить формирование фитоценозов интерзонального и азонального типа, т.к. идет снижение видового разнообразия, замена стенотопных видов эвритопными. Формирующиеся сообщества довольно однотипны, в результате уменьшается фитоценотическое разнообразие растительного покрова с учетом интенсивности техногенных нарушений. При этом наблюдается экспансия адвентивных и сорных видов через внедрение их в сообщества разрушенных ландшафтов.

Контрольная площадь № 6 близка по структуре сложения и флористическому составу к уч. № 3. Здесь была выделена ass. *Carpinus orientalis* + *Quercus petraea* – *Juniperus oxycedrus* + *Cornus mas* – *Polygonatum multiflorum* + *Fragaria vesca* (земляничниково – купеново – можжевельново – кизилово – дубово – грабовая).

Характеристика биоморфологических структур растений должна учитывать специфику надземных и подземных органов растений в их взаимообусловленности, которые обеспечивают жизнедеятельность видов на конкретной территории (рисунок 3). Представленность растений из разных семейств по сходству структуры и способа возобновления надземных побегов отражает конвергенцию морфологических структур и особенно ритма побегообразования в сходных условиях как близких, так и далеких таксонов. Количественные соотношения биоморфологических признаков в разных фитоценозах обеспечивают с одной стороны однородность материала и дают возможность выявлять сопряжённость разных признаков, с другой – анализировать интенсивность демулационных процессов с учетом различий объектов изучения.

Четко выявляется преобладание полурозеточных растений (*Pimpinella lithophila*, *Daucus carota*, *Sampanula sibirica* и др.) на обоих сравниваемых объектах, но при первичном сингенезе на карьере их значимость более высока (52,6–66,7 %) по сравнению с заброшенным садом (48,8–54,2 %), далее идет группа безрозеточных видов (*Achillea setacea*, *Galium mollugo*, *Cichorium intybus* и др.), участие которых выше в саду (46,3–41,7 %). Это обусловлено особенностями переменного светового режима, связанного с расширением количества особей древесно-кустарниковых видов за годы изучения, внедряющихся с прилегающего лесного массива и способствующего развитию побегов по безрозеточному типу. Роль розеточных видов минимальна (4,9–4,1 %), но все же заметны более высокие величины на карьере (7,0–6,6 %): *Plantago lanceolata*, *Taraxacum officinale*, *Carex otrubae* и др. Следует подчеркнуть значительное отличие изученной растительности на антропогенно-преобразованных территориях по структуре надземных побегов от целинных степей юга Украины и России [22, 23], где ведущая группа выделена безрозеточная, а полурозеточные виды занимают второе место. Растений с моноциклическими (однолетними) надземными побегами среди поликарпиков немного меньше половины – это все безрозеточные и большинство кистекорневых розеточных видов, в то время как у полурозеточных и розеточных растений

обладают ди-, три- и полициклические побеги. Длительность розеточной фазы может быть различна и переход в фазу удлинённого генеративного побега не обязателен, обычно на протяжении вегетационного периода развиваются две генерации побегов и листьев, причем осенняя генерация частично зимует.

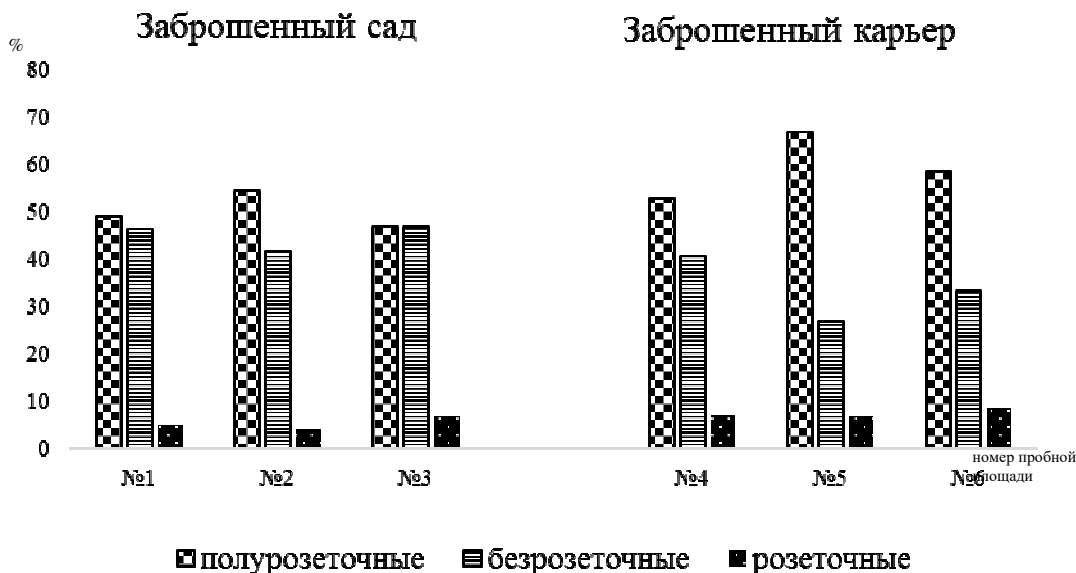


Рис. 3. Структура надземных побегов биоморф пробных площадей заброшенного персикового сада и обводненного Цыганского карьера нуммулитовых известняков вблизи села Холмовка Бахчисарайского района.

Специализация шла по пути образования полициклических розеточных побегов, сокращения продолжительности цветения и удлинения продолжительности вегетации растительности.

Симподиальное возобновление надземных побегов, их моноциклическость и безрозеточность (рисунок 4) связаны с длительной вегетацией без перерывов, а также растянутым цветением, что особенно характерно для степной растительности. У большинства многолетних растений (*Asperula taurica*, *Achilea setacea*, *Stipa lessingiana*, *Codonilla varia* и др.) эта группа является ведущей в сложении. Интересна выявленная закономерность – при первичных демулационных процессах формирования растительного покрова главенствуют симподиальные виды (97,5–100 %), что обеспечивает им условия для растянутой вегетации на карьере, насыщая пространство ассимилирующими органами, что в свою очередь способствует более высокой интенсивности круговорота веществ. При вторичных демулационных процессах, благодаря обилию внедрившихся в данное формирующееся сообщество деревьев и кустарников, на первое место выходят на участке № 1 моноподиальные виды: *Carpinus orientalis*, *Swida australis*, *Cornus mas*, *Juniperus oxycedrus* и др., резко сокращая свои позиции на участке № 2.

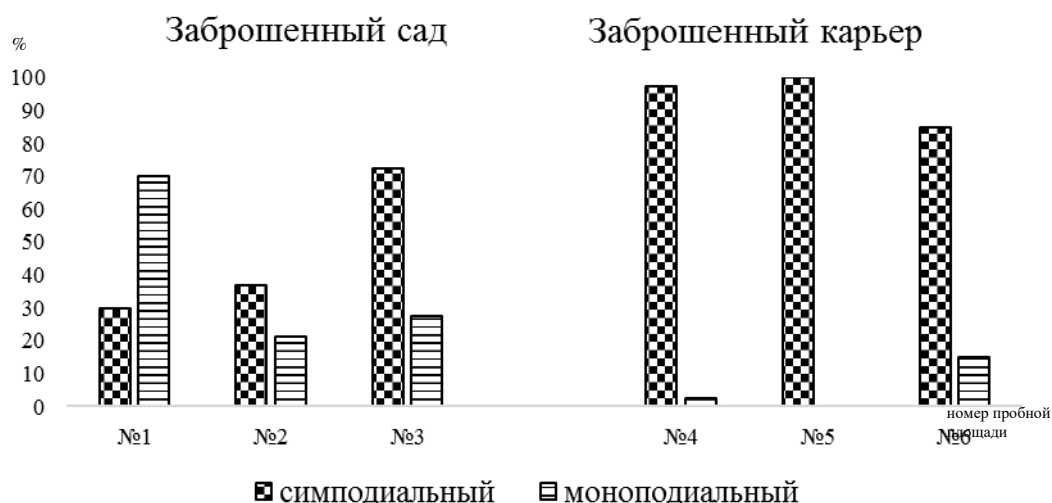


Рис. 4. Состав (%) биоморф пробных площадей по способу возобновления и нарастания побегов на территории заброшенного сада и обводненного Цыганского карьера нуммулитовых известняков вблизи села Холмовка Бахчисарайского района.

Корневая система и подземные побеговые органы (различные метаморфозы побегов, а иногда и листьев) образуют единую биоморфологическую структуру, обеспечивая жизнедеятельность растений. Все многообразие существующих систем классификаций структур подземных органов можно подразделить на два основных варианта: а) собственно корневые системы и глубина их проникновения в почву, б) отражающие особенности подземных побеговых органов с использованием признаков собственно корневых систем.

Для характеристики структуры подземной части растений с учетом глубины проникновения в почву мы использовали классификацию корневых систем В. Н. Голубева [18], объединив группу стержнекистекорневого и кистекорневого рядов (рисунок 5). Выделенные типы подземных систем жизненных форм отражают эволюционный путь развития этих органов растений. Сравнительный анализ участков заброшенных персикового сада и карьера выявили главенство группы стержнекорневого ряда. На их долю приходится на первом объекте – 75,4–68,9 %, на карьере – 73,1–70,8 %, в контрольных лесных сообществах эти показатели ниже – 50–60 % (*Coronilla varia*, *Medicago sativa*, *Stachys germanica* и др.) Безусловно определяют такое распределение неоднородность теплового, светового, водного и микробиологического режимов на различных глубинах почвенного профиля или запаса мелкозема и тырсы на карьере, второй фактор – взаимодействие с корневыми системами других видов, т.е. общее проективное покрытие чрезвычайно низко на карьере (20–40 %).

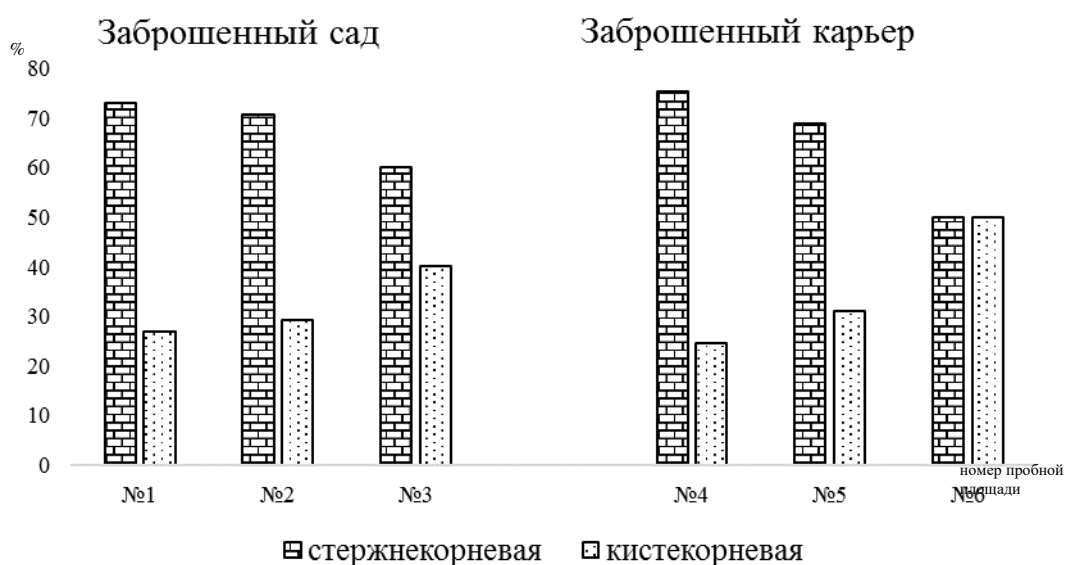


Рис. 5. Биоморфы пробных площадей по структуре подземных побегов обводненного Цыганского карьера нуммулитовых известняков и заброшенного персикового сада вблизи села Холмовка Бахчисарайского района.

На рисунке 5 приведены обобщенные данные, но анализ по глубине проникновения корневых систем четко выявляет, что именно стержнекорневые глубококорневые системы (свыше 50 см) преобладают, причем на пробных участках № 4 и № 5 карьера эти показатели выше (53,7–54,2 %), чем в бывшем саду (50,9–48,9 %). Это обусловлено тем, что они приспособлены к условиям высокой инсоляции и устойчивости к засухе при значительной подвижности грунтов. Следовательно, соотношение по типам корневых систем растений также можно использовать при разграничении этапов первичной и вторичной сукцессий сравниваемых объектов.

Проанализируем в сравнительном аспекте различия в особенностях вегетативного размножения у растений, произрастающих на антропогенно преобразованных территориях. В процессе эволюции у растений выработались специализированные побеги – органы вегетативного размножения в форме столонов, корневищ, клубней, луковиц и пр., а также корней, выполняющих те же функции. Все они морфологически отличаются друг от друга, но их связывают единая биологическая функция – вегетативное размножение, обеспечивающее увеличение численности и повышения степени заполненности видами отдельных подземных горизонтов среды обитания.

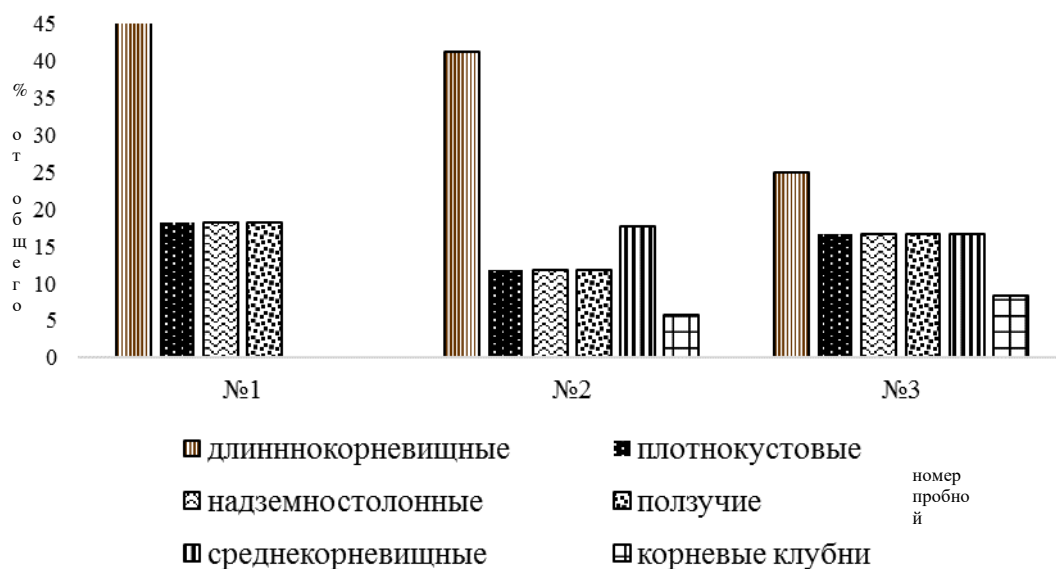


Рис. 6. Состав видов по приспособлениям к вегетативному возобновлению и размножению растений на пробных площадях заброшенного сада вблизи села Холмовка Бахчисарайского района.

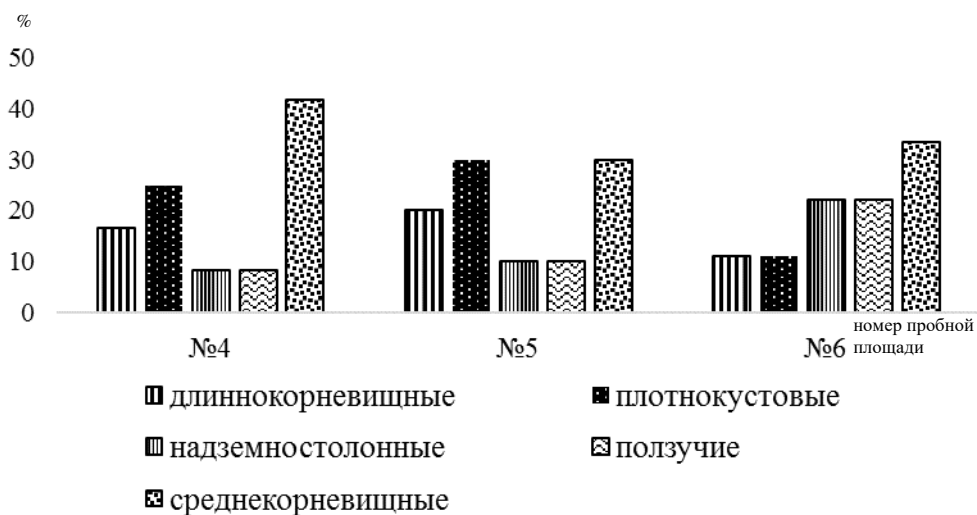


Рис. 7. Состав видов по приспособлениям к вегетативному возобновлению и размножению растений на пробных площадях обводненного Цыганского карьера нуммулитовых известняков вблизи села Холмовка Бахчисарайского района.

По типам подземных побегов и другим приспособлениям к вегетативному размножению самым высоким обилием и большой фитоценотической ролью отличаются длиннокорневищные растения (*Cynodon dactylon*, *Galium verum*, *Elytrigia repens*, *Geranium sanguineum* и др.) в заброшенном саду (45,4–41,2 %), в убывающем порядке идут среднекорневищные (17,7 %): *Veronica multifida*, *Astragalus onobrychis*, *Cerinth minor* и др. и плотнокустовые (18,2–11,8 %): *Koeleria cristata*, *Festuca rupicola*, *Elytrigia cretacea* и др. С учетом рыхлости почвенного покрова группа ползучих видов также довольно значительна (18,2–11,8 %): *Lolium perenne*, *Veronica taurica*, *Thymus callieri* и др. Значение остальных групп невелико. Следует отметить заметную группу растений, не имеющих вегетативного размножения – это однолетники. Длиннокорневищные растения находят более благоприятные условия для своего развития на рыхлой и увлажненной почве, где формируется подстилка, задерживающая влагу. Напротив, на пробных участках карьера ведущими группами становятся среднекорневищные – 41,7–30 % (*Origanum vulgare*, *Salvia verticillata*, *Tanacetum vulgare*) и плотнокустовые виды – 25–30 %.

Интенсивная инсоляция и жесткие абиотические условия без почвенного покрова для развития растений закономерно меняют соотношение групп видов, произрастающих на данной территории. Изменение биотопических условий и отражают эти полученные данные.

Все изученные растения были объединены также в группы, отличающиеся по отношению к условиям увлажнения (рисунок 8) и представляющие переходы от типичных эуксерофитов к типичным мезофитам, которые характеризуют экологические условия местообитаний [17–19].

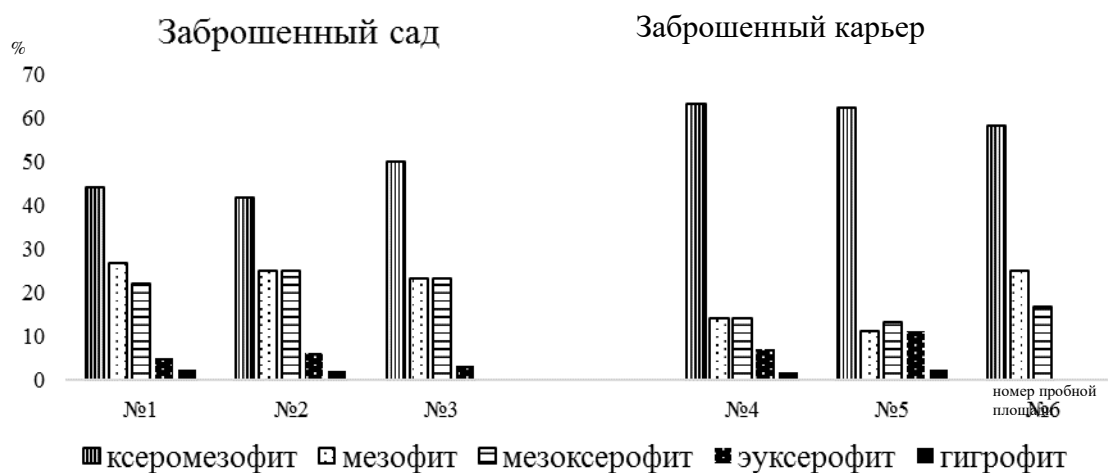


Рис. 8. Состав (%) экоморф по водному режиму на пробных площадях заброшенного сада и обводненного Цыганского карьера нуммулитовых известняков вблизи села Холмовка Бахчисарайского района.

Группа эуксерофитов сравнительно небольшая в бывшем саду (4,9–6,2 %), немного возрастающая на карьере до 7,0–11,1 %. (*Salvia nutans*, *Marrubium peregrinum*, *Medicago romanica* и др.). Ведущая группа – это ксеромезофиты: *Malva neglecta*, *Teucrium chamaedrys*, *Ziziphora taurica*, *Salvia verticillata*, *Acinos eglandulosus* и др. на всех изучаемых участках, но на карьере она в 1,5 раза выше (63,2–62,2 %), чем на учетных площадях №1 и №2 (44,0–41,7 %). Это связано с менее жестким термическим режимом и водообеспеченностью в летний период, т.к. в предгорьях в период активной вегетации выпадают осадки преимущественно в виде ливней, достигая в отдельные годы до 2/3 от среднегодового их объема, но на карьере процесс испарения идет более интенсивно, т.е. условия для развития видов ограничены водным дефицитом, что закономерно и отражают соотношения эти биогрупп. Группа гигрофитов минимальна на всех участках, это преимущественно лесные виды и обитающие вокруг пересыхающего водоема в летний период.

Последний биоморфологический признак, который мы привлекли в наш анализ – это адаптация произрастающих здесь видов по отношению к световому режиму (рисунок 9).

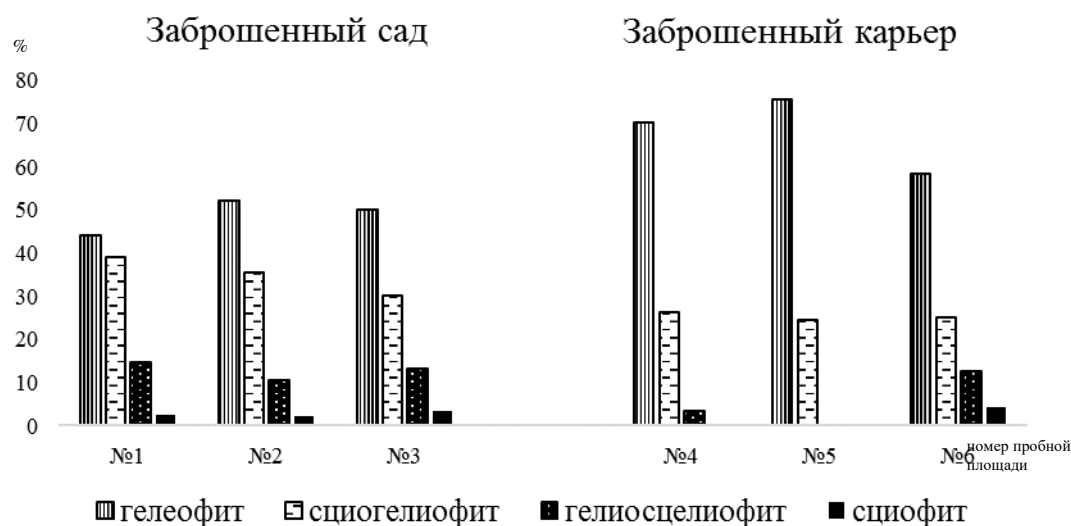


Рис. 9. Состав (%) экоморф по световому режиму на пробных площадях заброшенного сада и обводненного Цыганского карьера нуммулитовых известняков вблизи села Холмовка Бахчисарайского района.

Главенствуют группы гелиофитов: *Sisymbrium loeselii*, *Knautia arvensis*, *Scabiosa argentea*, *Euphorbia stepposa* и др. и сциогелиофитов: *Arenaria serpyllifolia*, *Dianthus caritatus*, *Herniaria besseri*, *Paronychia cephalotes*, *Atriplex tatarica*, составляя в сумме на участках № 1 и № 2 – 83–87,5 % достигая максимальных показателей на карьере – уч.4 и № 5 (96,6–100 %). Остальные группы не значимы.

Исследуя ритмы цветения растений, было выявлено, что флора всех пробных площадей в основном состоит из летне-цветущих видов (карьер – 84,4 %, сад – 50,6 %).

Таким образом, сравнительный биоморфологический анализ видов, формирующих растительный покров при первичном и вторичном сингенезе на антропогенно нарушенных территориях в предгорной зоне Крыма позволил выявить существенные различия в динамике демутиационных процессов как по спектру видов, осваивающих эти площади, так и по приспособлениям их к среде обитания. Поэтому эти параметры можно считать чувкими индикаторами, отражающими адаптационные механизмы флоры с учетом регионального аспекта.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. При значительном разнообразии эдафических условий (как на обводненном Цыганском карьере) при первичном сингенезе происходит формирование фитоценозов интерзонального и азонального типа, идет снижение флористического разнообразия, замена стенотопных видов эвритопными. Поэтому формирующиеся здесь производные сообщества будут разновозрастные с представителями из различных типов растительности, адаптирующихся к экстремальным условиям существования, особенно на первых этапах освоения этой площади.
2. В предгорной зоне Крыма при демутиационных процессах на заброшенных карьерах, в основном, проявляется модель благоприятствования: при обилии свободных экологических ниш, четко выражены две основные стадии развития: травяно-кустарниковая и преобладание мелколиственных пород деревьев с участием отдельных представителей коренных сообществ, третья стадия – формирование коренной растительности здесь реализована не будет. Низкая сомкнутость древесно-кустарникового яруса создает благоприятные условия к активному внедрению широкого спектра видов, относящихся к разным жизненным формам.
3. На выработанном карьере первичный сингенез растянется на многие десятилетия. В перспективе здесь сформируются разрозненные участки упрощенного лесного сообщества с фрагментами на террасах степной растительности, а вокруг пересыхающего водоема группировками влаголюбивых видов. Без проведения горнотехнической рекультивации данной территории она будет выведена из хозяйственного использования навсегда.
4. Распашка в прошлом лесного массива и использование его под сад при резком изменении экотопических условий существования видов: режима влагообеспеченности, освещенности, нарушения баланса элементов питания из-за утраты лесной подстилки и пр. привели к глубоким перестройкам структуры растительного покрова, поэтому вторичные демутации растягиваются на многие десятилетия. Здесь формируется переходное сообщество из коренной лесной растительности и травянистых комплексов полей с обилием рудеральных видов и сильно выраженной мозаичностью травостоя. Поэтому говорить о быстром восстановлении коренной лесной

растительности на данной территории проблематично, т. к. пока ведущей группировкой в формировании демутиационной растительности на этих пробных площадях являются кустарники. Возможно, в перспективе упрощенное шибляковое сообщество здесь восстановится через 70–80 лет, если не будет дополнительного антропогенного воздействия.

Список литературы

1. Воронов А. Г. Биогеография с основами экологии / А. Г. Воронов, Н. Н. Дроздов, Д. А. Криволицкий, Е. Г. Мяло. – Москва: МГУ, 1987. – 260 с.
2. Разумовский С. М. Закономерности динамики биоценозов / С. М. Разумовский. – М.: Наука, 1991. – С. 24–33.
3. Григора И. М. Основные направления формирования растительных ассоциаций на отвалах вскрышных пород железнорудных карьеров Кривбасса / И. М. Григора, Ф. М. Бровко // Тезисы докладов. Растения и промышленная среда. – Донецк: АН СССР, 1990. – Т. 370, № 122. – С. 10–12.
4. Лаптев Л. А. Эколого-биоморфологические основы восстановления растительности на нарушенных землях / Л. А. Лаптев // Тезисы докладов. Растения и промышленная среда. – Донецк: АН СССР, 1990. – Т. 370, № 122. – С. 30–32.
5. Уткин А. И. О наступлении лесной растительности на сельскохозяйственные земли в Верхнем Поволжье / А. И. Уткин, Т. А. Гуньбе, Я. И. Гуньбе, Л. С. Ермолов // Лесоведение. – 2002. – № 5 – С. 44–52.
6. Балашкевич Ю. А. Заращение бывших сельскохозяйственных земель древесной растительностью на территории Брянской области / Ю. А. Балашкевич // Актуальные проблемы лесного комплекса: Сборник научных трудов по итогам Международной научно-технической конференции [под ред. Е. А. Памфилова]. – Брянск: БГИТА, 2006. – № 13. – С. 4–6.
7. Люри Д. И. Динамика сельскохозяйственных земель России в XX веке и постагрогенное восстановление растительности и почвы / Д. И. Люри, С. В. Горочкин, Н. С. Караваева, Е. А. Щенисенко, Г. А. Нефедова – М.: ГЕОС, 2010. – 416 с.
8. Новоселова Н. Н. Формирование древесной растительности на бывших сельскохозяйственных угодьях: монография / Н. Н. Новоселова, С. В. Залесов, А. Г. Магасумова. – Екатеринбург: Урал. гос. лесотехн. ун-т, 2016. – С. 92–103.
9. Кобечинская В. Г. Интенсивность демутиационных процессов на заброшенных сельскохозяйственных территориях предгорного Крыма / В. Г. Кобечинская, В. А. Богачёва // Интерактивная наука. – 2018. – № 4(26). – С. 10–16.
10. Dulley F. L. The effect of the degree of slope on run-off and soil erosion. / Dulley F. L., Hays O. E. // Journ. Agr. Research. – 1982. – V. 45, No. 6
11. Krucekonf H. H. The effect of slope on soil erosion. / Krucekonf H. H. // Missouri agr. Exp. Sta. Research, Bull. – 1993. – N. 363.
12. Sexton H. D. A propose system of erosion control. / Sexton H. D., Dissecer E. G. // Agr. Eng. – 1993. – No.6
13. Peterson J. B. The relation of soil fertility to soil erosion. / Peterson J. B. // J. soil and Water Conserv. – 1994. – 19, No. 1
14. Diéguez-Aranda U., Modelling mortality of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) plantations in the northwest of Spain / Diéguez-Aranda U., Castedo-Dorado F., Álvarez-Gonzàles J. G., Rodriguez Soalleiro // European Journal of Forest Research. – 2005. – No.124. – 143.
15. Апостолов Л. Г. Особенности сукцессионных процессов в регенерационных биогеоценозах степного и предгорного Крыма / Л. Г. Апостолов, В. Г. Кобечинская, Е. Н. Малий // Сборник статей. Экосистемы горного Крыма их оптимизация и охрана. – Симферополь: СГУ, 1983. – Т. 1. № 1. – С. 76–91.
16. Садыкова Г. Э. Обоснование рекультивационных мероприятий при разработке месторождений песков в восточном Крыму / Г. Э. Садыкова, Т. А. Иваненко // Экономика строительства и природопользования – 2021. – № 1 (78). – С. 35–42.

17. Богачёва В. А. Демутация растительности при формировании фитоценозов техногенных ландшафтов в предгорном Крыму / В. А. Богачёва, В. Г. Кобечинская // Тезисы докладов. Актуальные проблемы современной экологии. – Севастополь: Филиал МГУ в г. Севастополе. – 2020. – С. 13–14.
18. Голубев В. Н. Биологическая флора Крыма / В. Н. Голубев. – Ялта: ГНБС, 1996. – 126 с.
19. Работнов Т. А. Экспериментальная фитоценология / Т. А. Работнов. – М.: МГУ, 1987. – 160 с.
20. Черепанов С. К. Сосудистые растения СССР / С. К. Черепанов. – Л.: Наука, 1981. – 510 с.
21. Лакин Г. Ф. Биометрия. / Г. Ф. Лакин. – М.: Высшая школа, 1978. – 343 с.
22. Зиман С. Н. Жизненные формы и биология степных растений Донбасса. / С. Н. Зиман. – Киев: Наукова думка, 1976. – С. 45–126.
23. Васильева Л. П. Ритм годового развития, побегообразование и жизненные формы растений причерноморских степей : Автор. канд. дисс. / Л. П. Васильева. – М., 1971. – 21 с.

ECOBIOMORPHS AS INDICATORS OF SYNGENESIS PROCESSES IN ANTHROPOGENEOUSLY TRANSFORMED TERRITORIES IN PIETHMOUNT CRIMEA

Kobechinskaya V. G.¹, Bogacheva V. A.²

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

²*MBOU "Kholmovskaya secondary school" of the Bakhchisaray district of the Republic of Crimea, Russia*
E-mail: valekohome@mail.ru

A comparison was made of the intensity of demutation processes during primary and secondary syngensis in the foothill zone of the Crimea. The objects of study were anthropogenically transformed territories – an abandoned quarry of building materials with a complete loss of soil cover and an agrocenosis (abandoned garden) that has not been cultivated for more than 30 years. This made it possible to compare the direction of endogenetic changes in vegetation and the influence of abiotic environmental factors on the activity of these processes with an assessment of the features of the formation of transitional communities. The main information indicators for identifying the direction of succession changes were the spectrum of the floristic composition of plants and their main biomorphological features. With a significant originality of edaphic conditions, the disturbed ecotopes of the quarry are predominantly inhabited by species with a range of the Holarctic type from the Holarctic, Palearctic, West Palearctic, and European groups. In the secondary syngensis of an abandoned peach orchard, the most significant group of species of the European-Mediterranean and European-Mediterranean-Center Asian areas of their habitat, which is typical for the natural flora of the foothills. Polycarpic herbs predominate in the main biomorph, but they are more significant in the quarry (53.8–58.7 %) than in the secondary demutation in an abandoned backyard (41.5–51.2 %). This is primarily due to the high plasticity and adaptive capabilities of polycarpic species, which are more competitive.

The predominance of semi-rosette plants on both compared objects is clearly revealed, but during the primary syngensis in a quarry, their significance is higher (52.6–66.7 %) compared to an abandoned garden (48.8–54.2 %), followed by a group of

non-rosette plants. species whose participation is higher in the garden (46.3–41.7 %). At the same time, the expansion of adventitious and weed species is observed through their introduction into communities of destroyed landscapes. During the primary demutation processes of vegetation cover formation, sympodial species dominate (97.5–100 %), which provides them with conditions for extended vegetation in the quarry, saturating the space with assimilating organs. In secondary demutation processes, due to the abundance of trees and shrubs that have invaded this emerging community, monopodial species come to the fore in terms of the method of articulation of shoots. Comparative analysis of test plots revealed the dominance of the taproot group. They account for 75.4–68.9 % at the first facility, and even higher at the quarry – 73.1–70.8 %. According to the types of adaptation to vegetative reproduction, long-rhizome plants in an abandoned garden (45.4–41.2 %) are distinguished by the highest abundance and greater phytocenotic role, medium-rhizome plants (17.7 %) and dense bush plants (18.2–11.0 %) are in descending order. 8 %). It should be noted a noticeable group of plants that do not have vegetative reproduction. In relation to moisture conditions, the leading group is xeromesophytes in all the studied areas, but in the quarry it is 1.5 times higher (63.2–62.2 %) than in the accounting areas of the former agrocenosis. This is due to a more severe thermal regime and water availability in the summer. The group of euxerophytes is relatively small in the former garden (4.9–6.2 %), slightly increasing in the quarry to 7.0–11.1 %. The group of heliophytes dominates (83–87.5 %), reaching the maximum indicators in the quarry (96.6–100 %). The rest of the groups are not significant. Consequently, significant differences were revealed in the dynamics of demutation processes during primary and secondary syngeneses, both in terms of the spectrum of species that inhabit these areas, and in terms of their adaptation to the environment. Therefore, these parameters can be considered as sensitive indicators reflecting the adaptive mechanisms of the flora, taking into account the regional aspect.

Keywords: biomorphological features, floristic composition of plants, abandoned quarry, uncultivated agrocenosis, foothill Crimea.

References

1. Voronov A. G., Drozdov N. N., Krivolutsky D. A., Myalo E. G. *Biogeography with the basics of ecology*. 260 (MGU, 1987).
2. Razumovsky S. M. *Patterns of the dynamics of biocenoses*. 24. (Nauka, 1991).
3. Grigora I. M., Brovko F. M. The main directions of formation of plant associations on overburden dumps of iron ore quarries in Krivbass. *Abstracts of reports. Plants and the industrial environment*, **370** (122), 10 (1990).
4. Laptsev L. A. Ecological and biomorphological bases for the restoration of vegetation on disturbed lands *Abstracts of reports. Plants and the industrial environment*, **370** (122), 30(1990).
5. Utkin A. I., Gunbe T. A., Gunbe Ya. I., Ermolov L. S. On the offensive of forest vegetation on agricultural lands in the Upper Volga region, *Forestry*, 5, 44 (2002).
6. Balashkevich Yu. A. Overgrowing of former agricultural lands with woody vegetation on the territory of the Bryansk region. *Actual problems of the forest complex: Collection of scientific papers based on the results of the International Scientific and Technical Conference* [ed. E. A. Pamfilova], 4 (13) (BGITA, 2006).
7. Lyuri D. I., Goroechkin S. V., Karavaeva N. S., Schenisenko E. A., Nefedova G. B. *Dynamics of Russian agricultural lands in the 20th century and post-agrogenic restoration of vegetation and soil*, 416, (GEOS, 2010).

8. Novoselova N. N., Zalesov S. V., Magasumova A. G. *Formation of woody vegetation on former agricultural lands*: monograph, 92 (Ural. state forest engineering un-t, 2016).
9. Kobechinskaya V. G., Bogacheva V. A. Intensity of demutation processes in the abandoned agricultural territories of the foothill Crimea. *Interactive Science*, 4 (26), 10 (2018).
10. Dulley F. L., Hays O. E. The effect of the degree of slope on run-off and soil erosion, *Journ. Agr. Research*, **45**(6), 56 (1982).
11. Krucekonf H. H. The effect of slope on soil erosion, *Missouri agr. Exp. Sta. Research, Bull.*, **363**, 12 (1993).
12. Sexton H. D., Dissecer E. G. A propose system of erosion control, *Agr. Eng.*, 6 (1993).
13. Peterson J. B. The relation of soil fertility to soil erosion, *J. soil and Water Conserv.*, **19**, 1 (1994).
14. Diéguez-Aranda U., Castedo-Dorado F., Álvarez-Gonzàles J., Rodriguez Soalleiro G. Modelling mortality of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) plantations in the northwest of Spain, *European Journal of Forest Research*. **124**, 143 (2005).
15. Apostolov L. G., Kobechinskaya V. G., Maliy E. N. Features of successional processes in regeneration biogeocenoses of the steppe and foothill Crimea, *Collection of articles. Ecosystems of the mountainous Crimea, their optimization and protection*, **1**, 1 (SGU, 1983).
16. Sadykova G. E., Ivanenko T. A. Substantiation of reclamation measures in the development of sand deposits in the eastern Crimea, *Economics of construction and environmental management*, 1 (78), 35 (2021).
17. Bogacheva V. A., Kobechinskaya V. G. Vegetation demutation during the formation of phytocenoses of technogenic landscapes in the Crimean foothills, *Abstracts. Actual problems of modern ecology*, 14, (Branch of Moscow State University in Sevastopol, 2020).
18. Golubev V. N. Biological flora of Crimea, 126 (State Nikitsky Botanical Garden, 1996).
19. Rabotnov T. A. Experimental phytocenology, 160 (MSU, 1987).
20. Cherepanov S. K. Vascular plants of the USSR, 510 (Nauka, 1981).
21. Lakin G. F. Biometrics, 343 (Higher school, 1978).
22. Ziman S. N. Life forms and biology of steppe plants of Donbass, 45 (Naukova Dumka, 1976).
23. Vasilyeva L. P. Rhythm of annual development, shoot formation and life forms of plants of the Black Sea steppes, 21 (Author. cand. diss., 1971).

УДК 612.062/796.011

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕТОДОВ КОРРЕКЦИИ КОГНИТИВНОГО ДЕФИЦИТА, ОБУСЛОВЛЕННОГО СИНДРОМОМ LONG COVID-19

*Колотилова О. И., Бирюкова Е. А., Строевский В. В., Кореньюк И. И.,
Кузьмин А. Г., Вербенко В. А.*

*ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет имени В. И. Вернадского», Симферополь,
Республика Крым, Россия
E-mail: oxy1978@mail.ru*

Для определения эффективности проведения альфа-бета-тренинга с целью коррекции когнитивного дефицита у испытуемых вследствие перенесенного Covid-19, было проведено психофизиологическое тестирование, которое включало в себя следующие тесты: простая зрительно-моторная реакция (ПЗМР); таблицы Крепелина; красно-черные таблицы Шульте-Платонова; «Числовой квадрат» и «Память на образы». Так, у пациентов с когнитивным дефицитом, в тесте «Простая зрительно-моторная реакция» обусловленным синдромом Long Covid-19 зарегистрировано, что курсовое применение альфа-бета-тренинга приводит к снижению значений латентного периода сенсомоторной реакции в среднем на 5 %, а также увеличению значений интегральных показателей активности ЦНС: функционального уровня системы – на 5 %; устойчивость реакции на 18 %, и уровня функциональных возможностей на 11 %; В тесте «Красно-черные таблицы Шульте-Платонова» у пациентов после прохождения альфа-бета-тренинга было зарегистрировано, что с когнитивным дефицитом обусловленного синдромом Long Covid-19, сократилось снижение количества ошибок на 10 %, и времени прохождения теста на 27 %. Анализ результатов теста «Таблицы Крепелина» показал, что коэффициент умственной работоспособности увеличился. В результате исследования в тесте «Числовой квадрат», количество правильных ответов увеличилось на 18 %, а количество времени, необходимое для прохождения теста, сократилось на 65 %. Таким образом, объем распределения и переклочения внимания у пациентов с когнитивным дефицитом увеличился. Также, в тесте «Память на образы», показано, что уровень кратковременной памяти увеличился на 14 % относительно данных, полученных до прохождения альфа-бета-тренинга.

Ключевые слова: Covid-19, Long Covid-19, коррекция когнитивного дефицита.

ВВЕДЕНИЕ

С момента своего первого появления в Китае в декабре 2019 года, Covid-19 быстро распространился по всему миру, вследствие чего была объявлена третья крупномасштабная пандемия за последние два десятилетия. В то время как большинство инфицированных людей выздоравливают, значительная часть продолжает испытывать симптомы и осложнения после острого заболевания. Несмотря на значительные усилия, предпринятые для сдерживания заболевания, вирус продолжает распространяться и по сей день, включая территорию Российской Федерации. Считается, что – это заболевание, возбудителем которого является SARS-CoV-2, способный вызывать тяжелый острый респираторный синдром [1, 2]. Также с мая 2020 года для определения состояния тех людей, у которых длительное

время продолжают проявляться проявления болезни используют термин Long Covid-19. Пациенты с синдромом Long Covid-19 испытывают широкий спектр соматических и психических симптомов.

Исследования данного синдрома очень актуальны, так как он, наряду с нейрокогнитивными нарушениями, оказывает наибольшее влияние на качество жизни людей. Пациенты описывают эти симптомы как ограничивающие, серьезно влияющие на развитие нормальной рабочей активности. Поэтому большой интерес представляют исследования, направленные на коррекцию нарушений, обусловленных синдромом Long Covid-19 [2].

Исходя из этого, **целью** работы было оценить возможность использования методов адаптивного биоуправления по энцефалограмме для коррекции когнитивного дефицита у людей с синдромом Long Covid-19.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Исследование проведено на базе научно-клинического центра «Технологии здоровья и реабилитации» в ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет имени В. И. Вернадского».

В экспериментальном исследовании участвовали 10 человек в возрасте 45–50 лет с когнитивным дефицитом, вследствие перенесенного Covid-19, не менее чем за 30 и не более чем за 60 дней до начала исследования, не имеющие других хронических заболеваний. Перед началом работы было получено добровольное согласие от всех пациентов на проведение эксперимента.

Для определения эффективности проведения альфа-бета-тренинга с целью коррекции когнитивного дефицита перенесенного Covid-19, со всеми испытуемыми было проведено психофизиологическое тестирование, которое включало в себя следующие тесты: Простая зрительно-моторная реакция (ПЗМР), «Таблицы Крепелина», «Красно-черные таблицы Шульте-Платонова», тест «Числовой квадрат», тест «Память на образы». Изменение психофизиологических параметров пациентов было зарегистрировано до и после прохождения альфа-бета-тренинга с помощью нейроинтерфейса «BrainBit» (производства ООО НМФ «Нейротех», Россия, Санкт-Петербург). Перед началом проведения альфа-бета-тренинга в помещении были созданы максимально комфортные условия, минимизированы посторонние звуки и прочие отвлекающие факторы.

Статистическая обработка данных была произведена с использованием программы Statistica 10,0 с применением непараметрического критерия Вилкоксона.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

При изучении изменений показателей сенсомоторной реакции у пациентов с когнитивным дефицитом в тесте ПЗМР выявлено, что до проведения альфа-бета-тренинга значения показателя латентного периода сенсомоторной реакции были выше на 5 % ($p < 0,05$) по отношению к значениям, зарегистрированным после проведения альфа-бета-тренинга (рис. 1).

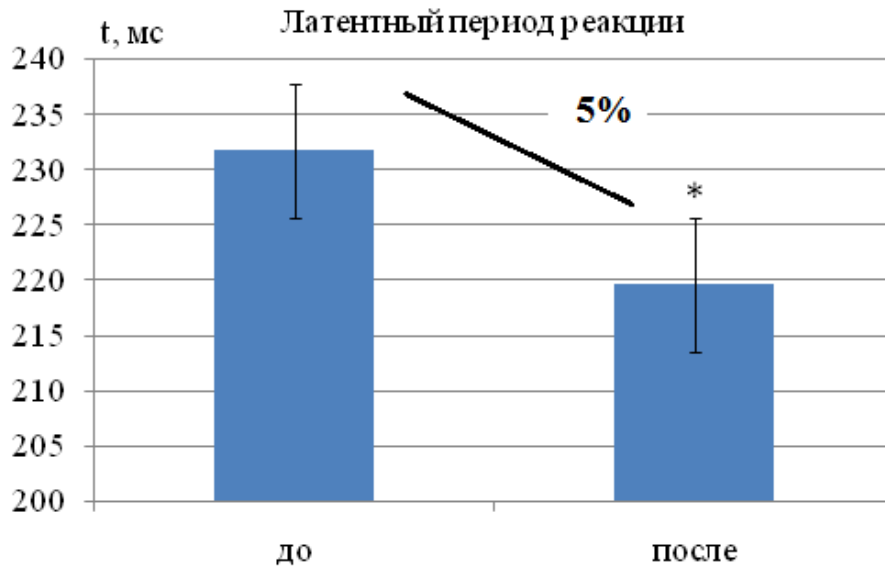


Рис. 1. Показатель латентного периода сенсомоторной реакции (мс) у испытуемых до и после проведения альфа-бета-тренинга в тесте «Простая зрительно-моторная реакция».

Примечание: * – достоверность различий $p < 0,05$ по критерию Вилкоксона относительно значений, зарегистрированных до прохождения альфа-бета-тренинга.

Из литературных источников известно [3, 4], что латентный период сенсомоторной реакции – это показатель, позволяющий определить скорость реакции на действующий стимул. А изменение времени реакции в зависимости от степени сложности ситуации показывает, что основная часть сенсомоторной реакции приходится на долю собственно психического звена и дает возможность рассматривать ее как параметр, характеризующий длительность процесса переработки информации. Таким образом, более низкие значения данного показателя после проведения альфа-бета-тренинга свидетельствуют о более высокой реактивности нервной системы по сравнению с началом экспериментальной работы. Также, необходимо отметить, что курсовое применение альфа-бета-тренинга приводит не только к снижению значений латентного периода сенсомоторной реакции, а также к увеличению значений интегральных показателей активности ЦНС: функционального уровня системы – на 5 % ($p < 0,05$); устойчивость реакции на 18 % ($p < 0,05$), и уровня функциональных возможностей 11 % ($p < 0,05$). Т. е. на наш взгляд после сеанса альфа-бета тренинга происходило устойчивое снижение скорости латентного периода сенсомоторной реакции возможно связанные с реорганизацией в пространственно-временной структуре биоэлектрической активности мозга.

Как известно, тест «Таблицы Шульте–Платонова» предназначен для изучения объема, переключаемости и распределения внимания [5]. Показатель объема внимания в таблицах Шульте–Платонова определяется количеством объектов,

которые схватываются сознанием человека за малый промежуток времени, а также временем прохождения, интервалом времени между моментом прохождения начала и концом задания [5].

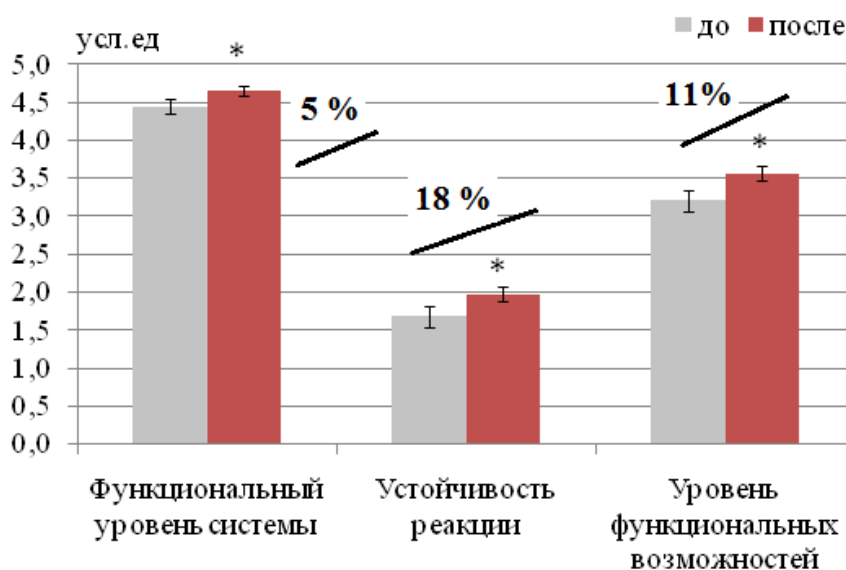


Рис. 2. Показатели психофизиологического тестирования у пациентов до и после прохождения альфа-бета-тренинга в тесте «Простая зрительно-моторная реакция».

Примечание: * – достоверность различий $p < 0,05$ по критерию Вилкоксона относительно значений, зарегистрированных до прохождения альфа, бета -тренинга.

При изучении изменений показателей внимания до и после прохождения альфа-бета-тренинга в тесте «Таблицы Шульте-Платонова» обнаружено, что у пациентов с когнитивным дефицитом, время прохождения теста сократилось на 27 % ($p < 0,05$) (рис. 3 А.), а количество ошибок сократилось на 10 % ($p < 0,05$) (рис. 3 Б.).

Исходя из описанных выше данных можно сделать вывод, что в результате тренинга происходит увеличение концентрации и устойчивости внимания, вследствие улучшения функционального состояния ЦНС. Вероятно, благодаря применению альфа-бета тренинга, у людей с синдромом Long Covid-19 проявляется положительный терапевтический эффект. А, как известно [4], эффективность управления связана как с временными характеристиками, так и с вероятностью возникновения ошибок при выполнении действий или принятии решений. При проведении тренингов нами показан рост эффективности управления как с точки зрения снижения вероятности возникновения ошибок управления, так и времени, затраченного на его реализацию. Другими словами, имел место отчетливый рост, как качества, так и скорости управления.

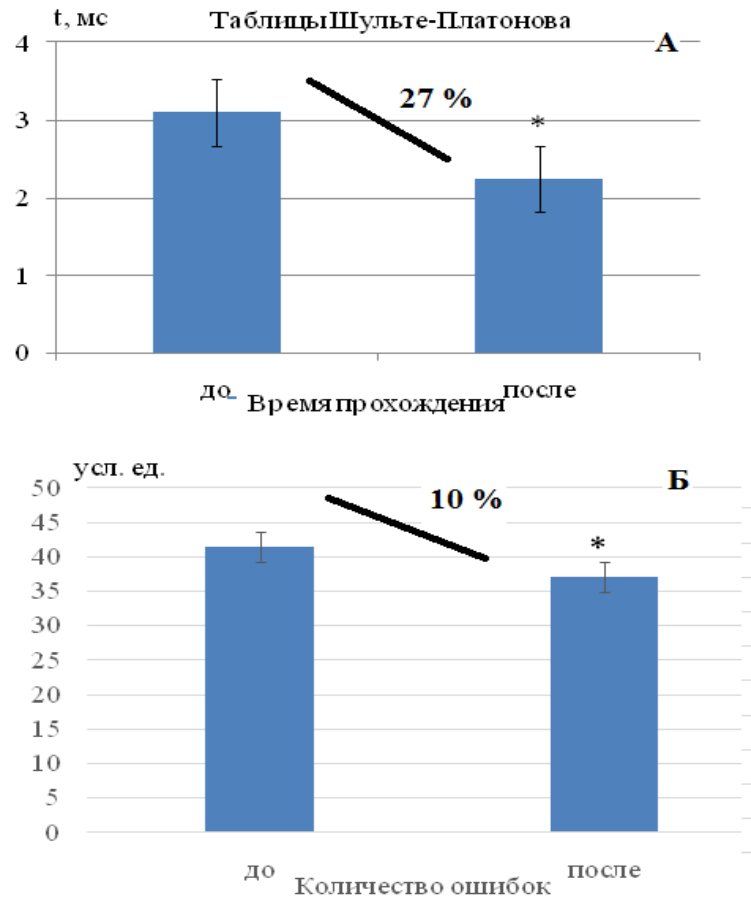


Рис. 3. Изменение показателя «Времени прохождения» – А; показателя «Количество ошибок» – Б у пациентов с когнитивным дефицитом до и после прохождения альфа-бета -тренинга в тесте «Таблицы Шульте-Платонова».

Примечание: * – достоверность различий $p < 0,05$ по критерию Вилкоксона относительно значений, зарегистрированных до прохождения альфа-бета -тренинга.

Исследование «Таблицы Крепелина» [5, 6] широко используется для определения уровня умственной работоспособности и выявления ее снижения. Методика заключается в проверке способности испытуемого производить операции со сложением чисел за определенный промежуток времени. На основе полученных данных определяется коэффициент работоспособности. В ходе экспериментального исследования при прохождении данной методики, пациентами с когнитивным дефицитом, было установлено, что сумма правильных сложений последних четырех строк увеличилась на 39 % ($p < 0,05$) (рис. 4, А), а сумма сложений первых четырех строк увеличилась на 47 % ($p < 0,05$) (рис. 4, Б), что свидетельствует об увеличении коэффициента умственной работоспособности.

Таким образом, описанные факторы происходят вследствие использования успешного соотношения спектральной мощности альфа-бета тренинга ЭЭГ, что приводит к существенному повышению эффективности нейро-обратной связи, увеличивая умственную работоспособность, и способствует оптимизации структур биоэлектрического поля мозга.

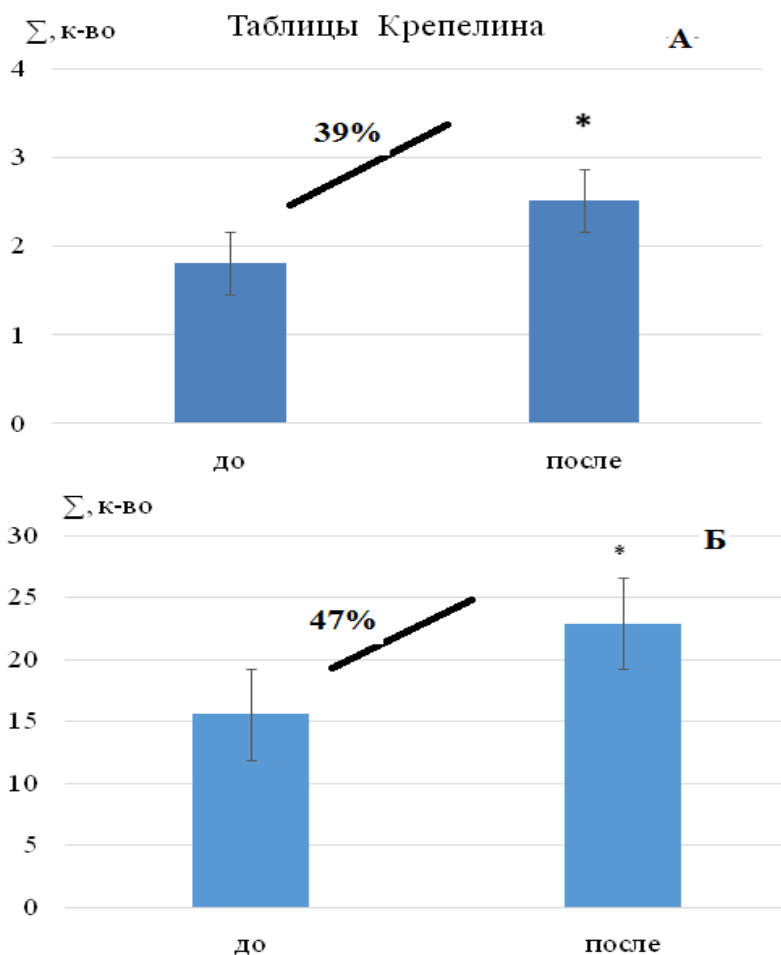


Рис. 4. Изменение показателя «Сумма правильных сложений последних четырех строк» – А; первых четырех строк» – Б у пациентов с когнитивным дефицитом до и после прохождения альфа-бета-тренинга в тесте «Таблицы Крепелина».

Примечание: * – достоверность различий $p < 0,05$ по критерию Вилкоксона относительно значений, зарегистрированных до прохождения альфа-бета-тренинга.

При изучении показателей объема распределения и переключения внимания у пациентов с когнитивным дефицитом в тесте «Числовой квадрат» под влиянием альфа-бета тренинга обнаружено, что количество правильных ответов увеличилось

на 18 % ($p < 0,05$) (рис. 5 А), а количество времени, необходимое для прохождения теста, сократилось на 65 % ($p < 0,05$) (рис. 5 Б). Следовательно, объем распределения и переключения внимания у пациентов с когнитивным дефицитом увеличивался. Это свидетельствует об улучшении функционального состояния ЦНС и увеличении уровня переключения и распределения внимания под влиянием альфа-бета тренинга. Полученные результаты объективно свидетельствуют об эффективности данной методики как метода саморегуляции психофизиологического состояния.

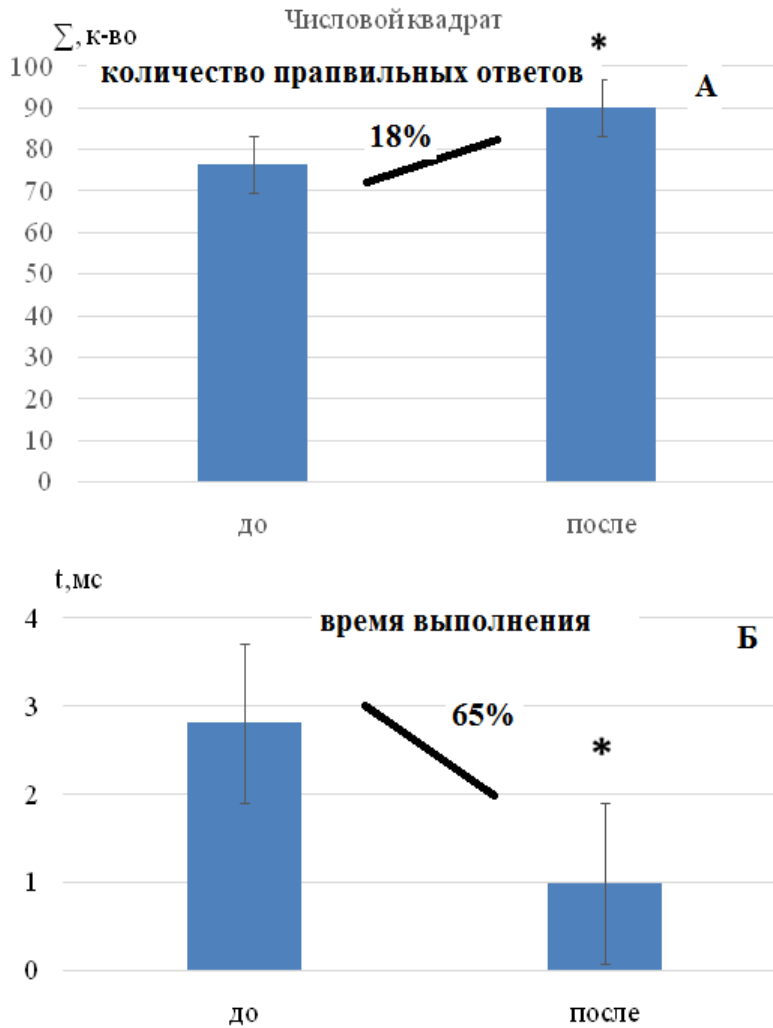


Рис. 5. Изменение показателя «Количество правильных ответов» – А; время выполнения – Б у пациентов с когнитивным дефицитом до и после прохождения альфа-бета-тренинга в тесте «Числовой квадрат».

Примечание: * – достоверность различий $p < 0,05$ по критерию Вилкоксона относительно значений, зарегистрированных до прохождения альфа-бета -тренинга.

При изучении изменений показателей объема точности образной кратковременной памяти, с помощью которой оценивается способность испытуемого запоминать образы и воспроизводить их при помощи кратковременной памяти у пациентов с когнитивным дефицитом под влиянием альфа-бета тренинга было выявлено, что количество образов, которые удалось воспроизвести в среднем по группе увеличилось, на 14 % ($p < 0,05$) (рис. 6). Полученные данные, можно объяснить возрастанием кратковременной памяти в связи с проведенными альфа-бета тренингами, приведшими к увеличению объема восприятия и возрастания селективного внимания, что связано с большей эффективностью нервной передачи, позволяющей быстро и точно воспринимать информацию, предъявляемую для запоминания.

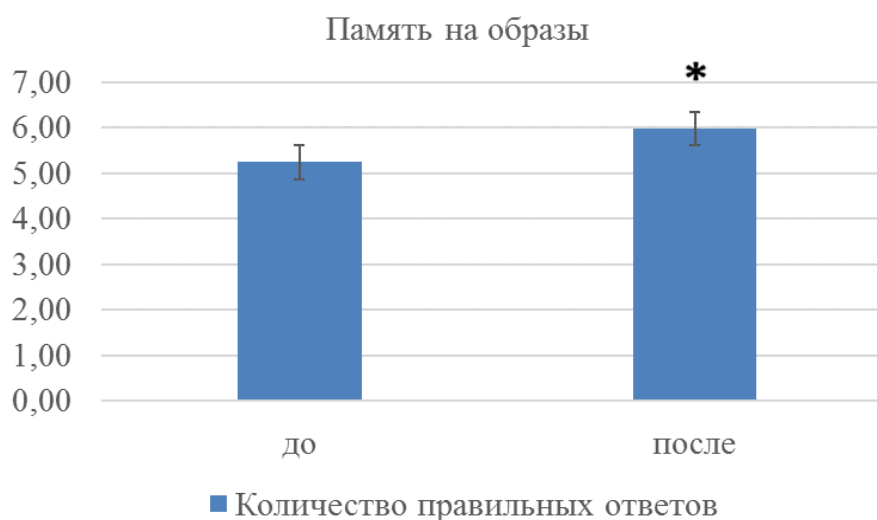


Рис. 6. Изменение показателей запоминания образов у пациентов с когнитивным дефицитом в тесте «Память на образы» до и после проведения альфа-бета-тренинга.

Примечание: * – достоверность различий $p < 0,05$ по критерию Вилкоксона относительно значений, зарегистрированных до прохождения альфа-бета-тренинга.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, применение методов адаптивного биоуправления у пациентов имевших когнитивный дефицит, обусловленный синдромом LONG COVID-19, оказывает направленное влияние на снижение проявлений когнитивного дефицита, выраженное в снижении латентного периода сенсомоторной реакции, увеличении скорости реакции, объема и переключаемости внимания. Полученные нами данные позволяют рекомендовать данный метод для включения в программы персонализированной реабилитации у пациентов с постковидным синдромом (Long Covid-19), которые способствуют оптимизации и нормализации базовых

свойств нервной системы, во многом определяющих психическую деятельность человека.

Исследование выполнено на базе научно-клинического центра "Технологии здоровья и реабилитации". Поддержано Программой развития ФГАОУ ВО "КФУ имени В. И. Вернадского", "Приоритет 2030" проект № М/2021/2.

Список литературы

1. Baddeley A. Return of the coronavirus: 2019-nCoV / A. Baddeley // *Viruses*. – 2020. – Vol. 4, № 10. – P. 281–288.
2. Robin Mark K. A novel coronavirus outbreak of global health concern / K. Robin Mark // *Viruses*. – 2020. – P. 105.
3. Ильин Е. П. Дифференциальная психофизиология / Ильин Е. П. – СПб: Питер, 2001. – С. 464.
4. Мантрова, И. Н. Методическое руководство по психофизиологической и психологической диагностике / И. Н. Мантрова – Иваново: ООО «Нейрософт», 2007. – С. 216.
5. Карелин А. М. Большая энциклопедия психологических тестов. / Карелин А. М. – Эксмо, 2007. 416 с.
6. Николаева Е. И. Психофизиология. Психологическая физиология с основами физиологической психологии / Е. И. Николаева – М.: ПЕР СЭ, 2003. – С. 544.

USING ADAPTIVE BIOFEEDBACK METHODS TO CORRECT COGNITIVE DEFICITS CAUSED BY LONG COVID-19 SYNDROME

Kolotilova O. I., Biryukova E. A., Stroevsky V. V., Korenyuk I. I., Kuzmin A. G., Verbenko V. A.

*V. I. Vernadsky Crimean Federal Universiti, Simferopol, Republic of Crimea, Russia
E-mail: oxy1978@mail.ru*

The aim of the work is to evaluate the possibility of using adaptive biofeedback methods based on an encephalogram to correct cognitive deficits in people with Long Covid-19 syndrome. The experimental study involved 10 people aged 45–50 years with cognitive deficits due to Covid-19, at least 30 and no more than 60 days before the start of the study, who do not have other chronic diseases. Before starting work, voluntary consent was obtained from all patients to conduct the experiment. To determine the effectiveness of alpha-beta training in order to correct cognitive deficits due to Covid-19, psychophysiological testing was conducted with all subjects, which included the following tests: Simple visual-motor reaction (PMR), Kraepelin Tables, Red-black Schulte-Platonov tables, Numerical Square test, the "Memory for images" test. Thus, in the "Simple visual-motor reaction" test in patients with cognitive deficits caused by Long Covid-19 syndrome, it was recorded that the course application of alpha-beta training leads to a decrease in the values of the latent period of sensorimotor reaction by an average of 5 %, as well as an increase in the values of integral indicators of CNS activity: the functional level of the system – by 5 %; reaction stability by 18 %, and the level of functionality by

11 %; In the "Schulte-Platonov Red-Black Tables" test, it was recorded that after passing alpha-beta training in patients with cognitive deficits caused by Long Covid-19 syndrome, the number of errors decreased by 10%, and the time of passing the test by 27 %. When analyzing the results of the "Kraepelin Table" test, it was found that the coefficient of mental performance increased. As a result of the Numerical Square study, the number of correct answers increased by 18 %, and the amount of time required to pass the test decreased by 65 %. Thus, the volume of attention distribution and switching in patients with cognitive deficits increased. Also, in the "Memory for Images" test, the level of short-term memory increased by 14 % relative to the data obtained before the alpha-beta training.

Keywords: Covid-19, Long Covid–19, correction of cognitive deficit.

References

1. Charykova I. A. Dynamics of psychophysiological indicators of athletes at different stages of training, *Military medicine*, **3**, 133 (Minsk, 2009).
2. Taymazov V. A., Golub Ya. V. *Psychophysiological state of an athlete (Methods of assessment and correction)*, 400 p. (St. Petersburg: Publishing house "Olymp SPb", 2004).
3. Mantrova I. N. *Methodological guide to psychophysiological and psychological diagnostics*, 216 p. (LLC Neurosoft, 2007).
4. Nekhoroshkova A. N., Griбанov A. V., Deputy I. S. Sensorimotor reactions in psychophysiological research (review), *Journal of Biomedical Research*, **1**, (2015). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/sensomotornyereaktsiiv-psihofiziologicheskikh-issledovaniyah-obzor> (date of reference: 17.06.2018).
5. Bolgov V. N. et al. The use of motor reaction time to determine the psychological characteristics of badminton players, *Scientific notes of the PF Lesgaft University*, **1 (155)**, 42 (2018).
6. Ozerov V. P. *Psychomotor abilities of a person*, 320p. (Dubna: Phoenix, 2002).

УДК 57.024

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ КОММУНИКАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ НЕЙРОЧАТ НА КОГНИТИВНЫЕ ПРОЦЕССЫ СТУДЕНТОВ МЕДИЦИНСКОГО ВУЗА

Коткова Т. В., Алданьязов А. С., Дёндёши Д., Прасковский Д. Д.

*Федеральное Государственное Бюджетное Образовательное Учреждение Высшего
Образования "Оренбургский государственный медицинский университет" Министерства
здравоохранения Российской Федерации, Оренбург, Россия
E-mail: t.v.kotkova@orgma.ru*

В работе представлены данные о влиянии нейрокоммуникационной системы «НейроЧат» на когнитивные процессы студентов. Проведенные исследования показали, что «НейроЧат» оказывает неоднозначное влияние на когнитивные функции студентов. Работа на «НейроЧат» достоверно увеличивает объем внимания и снижает процент количества ошибок, но достоверно это показал только один из двух применяемых в исследовании тестов. Так же достоверными были различия в бальной оценке внимания только в одном тесте. Тренинг с использованием системы «НейроЧат» не выявил значимых влияний на изменение механического запоминания цифр.

Ключевые слова: «НейроЧат», когнитивные процессы, память, внимание, студенты.

ВВЕДЕНИЕ

Обучающиеся ВУЗов являются отдельной уникальной социальной группой населения, которая отличается интенсивностью умственного труда в процессе получения соответствующего образования, специфичным образом жизни и мышлением [1, 2]. Уровень когнитивных процессов студента является определяющим фактором успешного обучения в высших учебных заведениях [3]. Высокие индивидуальные умственные способности являются предпосылкой к достижению хороших результатов в процессе профессиональной подготовки специалиста в ВУЗе, а также, необходимым условием реализации жизненной программы, достижения личного благополучия и счастья. Отмечается тесная взаимосвязь: чем выше уровень когнитивных процессов студентов, тем продуктивнее обучение [4, 5]. Многочисленные исследования, проведенные с участием студентов университетов, показывают распространенность учебного стресса среди учащихся, причем, наиболее интенсивно это сказывается на студентах первых и вторых курсов [6–9]. Учащиеся медицинского ВУЗа подвергаются большой сенсорной, когнитивной и эмоциональной нагрузке [10–13]. На основании изученных материалов мы выделили основные причины развития стрессорной реакции у студентов: смена типа подачи учебного материала, повышение объема информации для запоминания, большая интенсивность учебного процесса. В связи с

этим поиск методов и способов повышения уровня когнитивных процессов у студентов является актуальной задачей.

Система «НейроЧат» изначально разрабатывалась как коммуникационная система на основе технологии интерфейсов мозг-компьютер (ИМК) для людей с ограничением двигательной и речевой функций. Это абсолютно новый инструмент, значительно расширяющий возможности таких людей. Существует несколько подходов для разработки ИМК, среди которых одним из наиболее надежных по скорости и точности управления является так называемый ИМК на “волне Р300”, или ИМК-Р300. В основу работы ИМК-Р300 положен анализ когнитивного компонента потенциалов мозга, волны Р300, которая имеет тенденцию к увеличению при предъявлении ожидаемого оператором стимула в ряду незначимых стимулов [14–16].

Целью нашего исследования являлось определение возможности использования данной коммуникационной системы как нейротренинг для развития таких когнитивных сфер как внимание, память и скорость реакции за счет анализа работы головного мозга и передачи команд на компьютер. Такие занятия полезны для людей, работающих с большим объемом информации, в том числе и студентов медицинского ВУЗа.

В задачи исследования входило оценить влияние коммуникационной системы «НейроЧат» на память (механическую и зрительную смысловую), а также оценить возможность влияния работы на «НейроЧат» на интеллектуальную функцию – внимание.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В исследовании приняли участие 32 студента второго и третьего курса Оренбургского медицинского университета, которые были разделены на две группы (по 16 человек в каждой). Обе группы исследуемых прошли начальное тестирование на программном комплексе тестов и методик для образовательных учреждений «Effectonstudio» для определения уровня внимания и памяти. Для этих целей выбраны программы из пакета «Память» – «Разведчик» и «Корректор» и пакета «Память» – «Зрительная смысловая» и «Механическое запоминание». Первая группа исследуемых служила контролем. Вторая группа исследуемых прошла 10 сеансов работы на коммуникационной системе «НейроЧат». Студенты второй группы набирали текст на экране компьютера, не используя речь или движения. Пользователь, концентрируясь на нужном символе на виртуальной клавиатуре, осуществлял “мысленный выбор” объекта. По буквам человек печатал целые предложения. Во время сессии испытуемые сидели за столом, на котором располагался монитор с предъявляемыми на нем зрительными стимулами. Стимулы предъявлялись в парадигме ИМК-Р300 и были организованы в виде матрицы из 9 строк и 5 столбцов, ячейки которой содержали буквы русского алфавита и символы (угловые размеры: ячейки $4.0^\circ \times 4.0^\circ$, расстояния между ними – 1.9°). Для предъявления стимулов использовался 21.5-дюймовый экран с частотой обновления 60 Гц и разрешением 1920×1080 . Расстояние от экрана до глаз испытуемого составляло 70 см. Базовый цвет фона матрицы и ячеек был черным (RGB 0,0,0),

буквы и символы в ячейках – темно-серыми (RGB 40,40,40). Стимулом служила “подсветка” – изменение цвета фона ячеек с черного на серый (RGB 70,70,70). Стимуляция осуществлялась в виде поочередных подсветок строк и столбцов матрицы. Подсветки были объединены в так называемые “стимульные последовательности”, в рамках каждой из которых все строки и столбцы подсвечивались по одному разу в псевдослучайном порядке. Длительность одной подсветки составляла 160 мс, интервал между двумя соседними подсветками – 60 мс. Каждая сессия состояла из двух блоков: фазы обучения классификатора (калибровка) и фазы набора текста. Длительность работы на «НейроЧат» в течении одного сеанса составляла 30–40 минут, включая калибровку (6–7 минут). По окончании прохождения 10 сеансов на «НейроЧат», студенты второй группы повторно проходили тестирование на программном комплексе тестов и методик для образовательных учреждений «Effectonstudio» для определения уровня внимания и памяти. Студенты первой группы проходили повторное тестирование спустя три недели. После чего проводился статистический анализ полученных результатов. Применялся t-критерий Стьюдента. При оценке достоверности различий достоверным был 5 % уровень значимости. Все студенты, принимавшие участие в исследовании, были правшами. После ознакомления с условиями исследования все испытуемые подписывали информированное согласие.

Для определения уровня внимания использовали тест «Разведчик» и «Корректор».

Тест «Разведчик». После предварительного звукового сигнала исследуемому предъявляется «военная карта» с обозначением аэродромов. Исследуемые должны запомнить их расположение и сразу же после появления чистой карты внести в нее местонахождение аэродромов. Количество аэродромов увеличивается от двух до девяти до тех пор, пока исследуемый не ошибется два раза.

Тест «Корректор». Исследуемому предъявляется буквенная таблица (на нескольких страницах). Внимательно, но быстро исследуемый должен просматривать таблицу, отмечая буквы «А»«М»«К»«З» нажатием клавиши пробел. Мимо остальных букв, необходимо продвигаться, нажимая стрелку «вправо». Длительность работы – 4 минуты.

Для определения уровня памяти использовали тесты, оценивающие объем механического запоминания цифр и объем зрительной смысловой памяти.

Объем механического запоминания цифр. На короткое время исследуемому предъявляются ряды цифр. Исследуемый запоминает их и по команде с экрана вводит в компьютер. После последнего вспомненного символа нажимает Enter.

Объем зрительной смысловой памяти. На экране по очереди предъявляются 10 слов. Исследуемый читает их и старается запомнить. Затем вводит с клавиатуры то, что запомнил в любой последовательности. После набора каждого слова нажимает Enter. Тестирование повторяется дважды.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

В таблице 1 представлены данные основных показателей у студентов, принимавших участие в исследовании после прохождения теста «Разведчик». Анализ представленных в таблице показателей внимания у студентов, позволяет оценить

возможность использования системы «НейроЧат» в качестве нейротренинга. Результаты, приведенные в таблице 1, свидетельствуют о положительной динамике по такому показателю как «Объем внимания», который достоверно увеличился у студентов опытной группы по отношению к значениям начального тестирования.

Таблица 1.
Результаты показателей теста «Разведчик» исследуемых контрольной и опытной групп

Показатели внимания		Группа	
		Контрольная	Опытная
Объем внимания	Начальное тестирование	7,9±0,35	7,3±0,29
	Повторное тестирование	8,2±0,30	8,2±0,34*
Общее количество ошибок	Начальное тестирование	1,4±0,20	1,5±0,20
	Повторное тестирование	1,3±0,23	1,1±0,20
Бальная оценка	Начальное тестирование	7,2±0,43	6,4±0,51
	Повторное тестирование	7,5±0,40	7,8±0,32*

Примечание: * Разница достоверна: (здесь и далее в тексте) при $P < 0,05$ по отношению к значению начального тестирования

Внимание играет важную роль в процессе обучения личности, в том числе и профессионального. Как свидетельствуют данные, приведенные в таблице 2, результаты теста «Корректор» говорят о положительных тенденциях применения системы «НейроЧат»: количество ошибок в опытной группе снизилось в 2,2 раза, а обобщенный показатель внимания достоверно увеличился в 2,6 раз.

Таблица 2.
Результаты показателей теста «Корректор» исследуемых контрольной и опытной групп

Показатели внимания		Группа	
		Контрольная	Опытная
Количество просмотренных знаков	Начальное тестирование	487,9±32,82	543,4±33,38
	Повторное тестирование	562,1±42,49	642,7±42,18
Количество ошибок в %	Начальное тестирование	1,3±0,31	2,0±0,27
	Повторное тестирование	0,7±0,15	0,9±0,15*
Обобщенный показатель внимания	Начальное тестирование	91,1±17,9	51,3±5,3
	Повторное тестирование	134,5±17,6	134,97±31,12*
Бальная оценка	Начальное тестирование	6,0±0,62	4,1±0,49
	Повторное тестирование	7,25±0,51	7,0±0,55

Примечание: * Разница достоверна: (здесь и далее в тексте) * при $P < 0,05$ по отношению к значению начального тестирования

Важно отметить, что наши данные в целом коррелируют с информацией в литературных источниках в которых показано что, интерфейсы мозг-компьютер на

основе волны P300 не просто “протезируют” коммуникативную функцию, но также, представляя собой тренинг с обратной связью, могут иметь потенциал в плане восстановления когнитивных функций, в частности, функции внимания [17].

Формирование и состояние памяти у современного человека, особенно студентов ВУЗов, происходит в новом информационном поле, что расширяет возможности и границы познания человека. Это позволяет стимулировать механизм поиска информации и методов ее запоминания, а с другой стороны переизбыток информации, особенно у обучающихся первых-вторых курсов, приводит к отторжению, бессистемности и снижению успеваемости. Информационное поле студентов настолько огромно, что человеческий мозг не в силах усвоить и запомнить такой объем информации.

По результатам эксперимента нами сделан вывод, что на объем механического запоминания информации (цифр) сеансы на «НейроЧат» не оказали достоверного влияния (таблица 3).

Таблица 3.
Результаты показателей теста по определению объема механического запоминания информации

Показатели		Группа	
		Контрольная	Опытная
Среднее количество правильных символов	Начальное тестирование	6,9 ±0,18	7,0 ±0,26
	Повторное тестирование	7,2 ±0,16	7,1 ±0,17
% правильных ответов	Начальное тестирование	50,4 ±0,77	51,8 ±0,94
	Повторное тестирование	50,2 ±0,81	51,9 ±1,06
Средняя длина ряда	Начальное тестирование	7,4 ±0,14	7,6 ±0,26
	Повторное тестирование	7,7 ±0,12	7,6 ±0,16

Однако по результатам теста на определение объема зрительной смысловой памяти выявлено достоверное увеличение по числу правильных ответов и балльной оценке (таблица 4).

Таблица 4
Результаты показателей теста по определению объема зрительной смысловой памяти

Показатели		Группа	
		Контрольная	Опытная
Число правильных ответов	Начальное тестирование	12,7 ±0,68	11,2 ±0,78
	Повторное тестирование	12,3 ±0,69	13,9 ±0,55*
% правильных ответов	Начальное тестирование	64,75 ±3,37	56,9 ±4,44
	Повторное тестирование	62,25 ±3,58	65,3 ±2,94
Балльная оценка	Начальное тестирование	5,7 ±0,36	5,1 ±0,33
	Повторное тестирование	5,8 ±0,37	6,1 ±0,30*

Примечание: разница достоверна: (здесь и далее в тексте) * при P<0,05 по отношению к значению начального тестирования

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенные исследования показали, что нейрокоммуникационная система «НейроЧат» оказывает неоднозначное влияние на когнитивные функции студентов. Работа на «НейроЧат» достоверно:

- увеличивает объем внимания.

- снижает процент количества ошибок, что достоверно показал только один из двух применяемых в исследовании тестов («Корректор»). Так же достоверными были различия в бальной оценке внимания только в одном тесте («Разведчик»). Кроме того, в тесте «Корректор» статистически значимыми были данные обобщенного показателя внимания.

Тренинг с использованием системы «НейроЧат» не выявил значимых влияний на изменение механического запоминания цифр. При этом тест на изменение уровня зрительной смысловой памяти показал, что сеансы на «НейроЧат» достоверно улучшают такие параметры как процентное соотношение правильных ответов и бальная оценка.

Список литературы

1. Проскурякова Л. А. Структура и оценка эффективности мероприятий системы сохранения здоровья студентов / Л. А. Проскурякова, Е. Н. Лобыкина // Гигиена и санитария. – 2017. – № 96(1). – С. 79–84.
2. Aceijas C. Determinants of health-related lifestyles among university students / C. Aceijas, S. Waldhausl, N. Lambert [et al.] // Perspectives in public health. – 2017. – Vol. 137, № 4. – P. 227–236.
3. Агаджанян Н. А. Здоровье студентов / Н. А. Агаджанян, В. П. Дегтярев, Е. И. Русанова. – М.: Российский университет дружбы народов. – 1997. – 199 с.
4. Haidu F. The relation between students anxiety and cognitive styles / Haidu F. // International Multidisciplinary Scientific Conference on the Dialogue between Sciences & Arts, Religion & Education. – 2021. – № 5. – P. 106–114.
5. Anderson J. R. Cognitive psychology and its implications (7th ed). / Anderson J. R. – New York: Worth Publishers, 2009. – 469 p. Available from: https://www.academia.edu/17613920/Cognitive_Psychology_and_Its_Implications_and_Scientific_American_Explores_the_Hidden_Mind (date of access: 20.12.2021).
6. Аналитический доклад Уроки «Стресс-теста»: вузы в условиях пандемии и после нее // Качество образования. – 2020. – № 2. – С. 40–45.
7. Кулешова О. М. Исследование признаков и симптомов стресса у студентов-первокурсников медицинского вуза в условиях дистанционного обучения и самоизоляции / О. М. Кулешова, О. Г. Барина // Scientist. – 2020. – № 11. – С. 11–14.
8. Апарина Е. Н. Особенности стресса студентов разных специальностей / Е. Н. Апарина // Современная высшая школа: инновационный аспект. – 2020. – № 2. – С. 32–37.
9. Martin-Krumm C. La pleine conscience: un facteur d'adaptation au stress des étudiants? / C. Martin-Krumm, M.-H. Ferrer // Psychologie Positive. – 2019. – No 5. – P. 237–258.
10. Утюж А. С. Оценка психоэмоционального статуса и анализ уровня тревожности у студентов первого курса. / Утюж А. С., Юмашев А. В., Нефедова И. В. // В сборнике: Роль науки в развитии общества. сборник статей Международной научно-практической конференции: в 2-х частях. – 2016. – С. 148–157.
11. Юмашев А. В. Триггерная концепция стресса: роль стресса в этиологии и патогенезе психосоматических нарушений / А. В. Юмашев // Азимут научных исследований: педагогика и психология. – 2018. – Т. 7, № 2 (23). – С. 441–445
12. Milgram N. Correlates of academic procrastination: discomfort, task aversiveness, and task capability. / N. Milgram, S. Marshevsky // Journal of Psychology. – 1995. – Т. 129, № 2. – P. 145–155.

13. Schneider S. Coping, Akademischer Stress und die Einstellung zur Leistungssteigerung durch Cognitive-enhancing Drugs / S. Schneider // Researchgate. net/ Elektronische Ressource. – 2019. – 61 p.
14. Ганин И. П. Интерфейс мозг-компьютер на основе волны P300: предъявление комплексных стимулов "подсветка + движение"/ И. П. Ганин, А. Я. Каплан // Журнал высшей нервной деятельности им. И. П. Павлова. – 2014. – 64 (1). – С. 32–40.
15. Kaplan A. Ya. Neurophysiological foundations and practical realizations of the brain-machine interfaces in the technology in neurological rehabilitation / A. Ya. Kaplan // Human Physiology. – 2016. – 42 (1). – P. 103–110.
16. Ганин И. П. Набор текста пациентами с постинсультной афазией в комплексе "Нейрочат" на основе технологии интерфейсов мозг-компьютер на волне P300 / И. П. Ганин, С. А. Ким, С. П. Либуркина, Н. В. Галкина, А. О. Лужин, Л. А. Майорова, Н. Г. Малокова, В. М. Шкловский, А. Я. Каплан // Журнал высшей нервной деятельности им. И. П. Павлова. – 2020. – № 4 (70). – С. 435–445.
17. Arvaneh M. A P300-Based Brain-Computer Interface for Improving Attention. / M. Arvaneh, I. H. Robertson, T. E. Ward // Frontiers in Human Neuroscience. – 2018. – №12 – P. 524.

**INVESTIGATION OF THE INFLUENCE OF THE NEUROCHAT
COMMUNICATION SYSTEM ON THE COGNITIVE PROCESSES OF
MEDICAL UNIVERSITY STUDENTS**

Kotkova T. V., Aldaniyazov A. S., Dendeshi D., Praskovsky D. D.

*Arzamas branch of the National Research University of Nizhny Novgorod named after
N. I. Lobachevsky, Arzamas, Russia
E-mail: t.v.kotkova@orgma.ru*

The paper presents data on the influence of the neurocommunication system "NeuroChat" on the cognitive processes of students. The study involved 32 second- and third-year students of Orenburg Medical University, who were divided into two groups (16 people each). Both groups of subjects underwent initial testing on the software package of tests and techniques for educational institutions "Effectonstudio" to determine the level of attention and memory. For these purposes, programs from the "Memory" package – "Scout" and "Corrector" and the "Memory" package – "Visual semantic" and "Mechanical memorization" were selected. The first group of subjects served as a control. The second group of subjects underwent 10 sessions of work on the communication system "NeuroChat". Students of the second group typed text on a computer screen without using speech or movement. The user, concentrating on the desired symbol on the virtual keyboard, made a "mental choice" of the object. The person was typing whole sentences by letter. The duration of work on the NeuroChat during one session was 30–40 minutes, including calibration (6–7 minutes). After completing 10 sessions on "NeuroChat", the students of the second group were repeatedly tested on the software package of tests and techniques for educational institutions "Effectonstudio" to determine the level of attention and memory. The students of the first group were retested three weeks later. After that, a statistical analysis of the results was carried out. The Student's t-test was applied. When assessing the reliability of the differences, the 5 % significance level was reliable. All the students who took part in the study were right-handed. After familiarization with the study conditions, all subjects signed an informed consent. Studies

have shown that "NeuroChat" has an ambiguous effect on the cognitive functions of students. Working on "NeuroChat" significantly increases the amount of attention and reduces the percentage of errors, but only one of the two tests used in the study showed this reliably. Also significant were the differences in the score of attention in only one test. The training using the «NeuroChat» system did not reveal any significant effects on the change in the mechanical memorization of numbers.

Keywords: "NeuroChat", cognitive processes, memory, attention, students.

References

1. Proskuryakova L. A., Lobykina E. N. Structure and evaluation of the effectiveness of measures of the system of preserving the health of students, *Hygiene and sanitation*, **96**, 79 (2017)
2. Aceijas C. Waldhausl S., Lambert N., Cassar S., Bello-Corassa R. Determinants of health-related lifestyles among university students, *Perspectives in public health*, **137**, 227 (2017).
3. Aghajanyan N. A., Degtyarev V. P., Rusanova E. I. *Health of students* (Peoples' Friendship University of Russia, 1997).
4. Haidu F. *The relation between students anxiety and cognitive styles*, Abstract of International Multidisciplinary Scientific Conference «The Dialogue between Sciences & Arts, Religion & Education» (IFIASA, Galat, 2021), p. 106
5. Anderson J. R. *Cognitive psychology and its implications* (7th ed). (New York: Worth Publishers, 2009). 469 p.
6. Analytical report Lessons of the "Stress test": universities in a pandemic and after it, *Quality of education*, **2**, 40 (2020)
7. Kuleshova O. M., Barinova O. G. Investigation of signs and symptoms of stress in first-year medical university students in conditions of distance learning and self-isolation, *Scientist*, **11**, 11 (2020).
8. Aparina E. N. Features of stress of students of different specialties, *Modern Higher School: Innovative aspect*, **2**, 32 (2020).
9. Martin-Krumm C., Ferrer M-H. La pleine conscience : un facteur d'adaptation au stress des étudiants?, *Psychologie Positive*, **5**, 237 (2019).
10. Iron A. S., Zagorsky V. A., Yumashev A. V., Nefedova I. V., Luzhkov R. M. Assessment of the psychoemotional status and analysis of the level of anxiety in first-year students. *Abstract of International Scientific and Practical Conference «The role of science in the development of society»* (OMEGA SCIENCES, Ufa, 2016). p. 148.
11. Yumashev A. V. Trigger concept of stress: the role of stress in the etiology and pathogenesis of psychosomatic disorders, *The azimuth of scientific research: pedagogy and psychology*, **7**, 441 (2018).
12. Milgram N., Marshevsky S. Correlates of academic procrastination: discomfort, task aversiveness, and task capability, *Journal of Psychology*. **129**, 145 (1995).
13. Schneider S. Coping, Akademischer Stress und die Einstellung zur Leistungssteigerung durch Cognitive-enhancing Drugs, *Researchgate. Net (Elektronische Ressource)*, **4**, (2019). DOI:10.13140/RG.2.1.1651.2408.
14. Ganin I. P., Kaplan A. Ya. Brain-computer interface based on the P300 wave: presentation of complex stimuli "illumination + movement", *Journal of Higher Nervous Activity named after I. P. Pavlov*, **64**, 32 (2014).
15. Kaplan A. Ya. Neurophysiological foundations and practical realizations of the brain-machine interfaces in the technology in neurological rehabilitation, *Human Physiology*. **42**, 103 (2016).
16. Ganin I. P., Kim S. A., Liburkina S. P., Galkina N. V., Luzhin A. O., Mayorova L. A., Malyukova N. G., Shklovsky V. M., Kaplan A. Ya. Typing by patients with post-stroke aphasia in the Neurochat complex based on brain-computer interface technology on wave P300, *Journal of Higher Nervous Activity named after I. P. Pavlov*, **4**, 435 (2020).
17. Arvaneh M. A P300-Based Brain-Computer Interface for Improving Attention / M. Arvaneh, I. H. Robertson, T. E. Ward // *Frontiers in Human Neuroscience*. – 2018. – № 12. – P. 524.

УДК 581.5.002.8(470.51)(045)

ЭКОЛОГО-ФЛОРИСТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ПАРЦИАЛЬНОЙ ФЛОРЫ ПОЛИГОНА ТБО Г. ГЛАЗОВА УДМУРТСКОЙ РЕСПУБЛИКИ

Красноперова С. А., Ильминских Н. Г.

*Удмуртский государственный университет, Ижевск, Россия
E-mail: krasnoperova_sve@mail.ru*

Приводятся данные эколого-ценотических и флористических исследований полигона твердых бытовых отходов (ТБО), расположенного в 10 км от г. Глазова Удмуртской Республики. Глазов – это один из самых развитых и промышленных городов Удмуртии. Здесь полигон ТБО функционирует с 2005 г. Его изучение представляет интерес тем, что на его территории интенсивно происходит обогащение флоры за счет процессов адвентизации, эргазиофитизации, а также гибридизации видов растений. Нами проанализирован полный флористический состав парциальной флоры полигона г. Глазова и выявлено 193 видов растений, включенных в 42 семейства сосудистых растений. Также выделены 10 доминирующих семейств, наибольшую долю среди которых составляют Asteraceae (21,24 %), Poaceae (10,88 %), Brassicaceae (8,29 %), Rosaceae (7,25 %), Fabaceae (6,22 %) и др. Остальные семейства составляют менее 4,2 %. Все растения ранжировали по эколого-фитоценотическим группам: лесные, луговые, степные, околородные, культурные, адвентивные, сегетальные, рудеральные согласно принципам С. Коржинского и Н. Г. Ильминских. На основании данного анализа выявлено, что среди представленных групп растений преобладают рудеральные виды и дичающие культурные (эргазиофиты), редко встречаются околородные и лесные виды растений. Также отмечены инвазионные виды (*Heraclеum sosnowskyi*, *Lepidium densiflorum*, *Acer negundo*, *Impatiens glandulifera*) и так называемые ксеноэргазиофиты (*Persica vulgaris*, *Armeniaca vulgaris*). Аборигенные виды здесь чаще всего появляются из соседних местообитаний.

Ключевые слова: полигоны твердых бытовых отходов, флора, эргазиофиты, инвазионные виды.

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время количество твердых бытовых отходов (ТБО), вывозимых на полигоны или, так называемые «свалки мусора», становится все больше и больше. Здесь происходит не только накопление и утилизация разных видов отходов, но и обогащение флористического состава за счет процессов адвентизации [1–10].

Глазов – это один из самых развитых и промышленных городов Удмуртии. Здесь полигон ТБО функционирует с 2005 г. Его изучение представляет интерес тем, что на его территории интенсивно происходит обогащение флоры за счет процессов адвентизации, эргазиофитизации, а также гибридизации видов растений.

Целью нашей работы – изучение флористического состава полигона ТБО г. Глазова Удмуртской Республики и его экологический анализ.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Исследования проводились в 2017 г. на территории полигона ТБО, расположенного в 10 км к юго-западу от города Глазова, слева от автомобильной

дороги Глазов – Юкаменское Удмуртской Республики. Площадь последнего составляет 13,48 га, вместимость его около 200 тыс. м³/год, координаты: 58°4'11"N 52°35'18"E. Полигон относится к IV группе жизненного цикла (полигоны, находящиеся на стадии закрытия) и расположен на расстоянии 15 км от города [8]. Изучение флористического состава проводилось методом сплошного учета парциальной флоры «тела свалки» со сбором гербарного материала [3, 11]. В ходе определения образцов сосудистых растений применялся ряд отечественных определителей [12, 13]. При эколого-фитоценотической оценке видов руководствовались преимущественно работами [11, 14].

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Всего на полигоне ТБО г.Глазова обнаружено 193 вида растений из 42 семейств (табл. 1).

Наибольшую долю среди исследованных семейств видов растений составляют Asteraceae (21,24 %), Poaceae (10,88 %), Brassicaceae (8,29 %), Rosaceae (7,25 %), Fabaceae (6,22 %) (рис. 1). Остальные семейства составляют менее 4,2 % (табл. 1).

Таблица 1
Количество семейств и видов сосудистых растений, обнаруженных на полигоне ТБО, г. Глазов

№п/п	Семейство	Кол-во видов	%	№п/п	Семейство	Кол-во видов	%
1	Asteraceae	41	21,24	22	Rubiaceae	2	1,04
2	Poaceae	21	10,88	23	Verbenaceae	2	1,04
3	Brassicaceae	16	8,29	24	Vitaceae	1	0,52
4	Rosaceae	14	7,25	25	Violaceae	2	1,04
5	Fabaceae	12	6,22	26	Asparagaceae	1	0,52
6	Polygonaceae	8	4,15	27	Campanulaceae	1	0,52
7	Chenopodiaceae	8	4,15	28	Papaveraceae	1	0,52
8	Lamiaceae	8	4,15	29	Geraniaceae	1	0,52
9	Apiaceae	6	3,11	30	Oleaceae	1	0,52
10	Solanaceae	6	3,11	31	Fumariaceae	1	0,52
11	Salicaceae	4	2,07	32	Balsaminaceae	1	0,52
12	Cucurbitaceae	3	1,55	33	Iridaceae	1	0,52
13	Malvaceae	2	1,04	34	Hypericaceae	1	0,52
14	Onagraceae	1	0,52	35	Dipsacaceae	1	0,52
15	Aceraceae	2	1,04	36	Scrophulariaceae	1	0,52
16	Boraginaceae	3	1,55	37	Linaceae	1	0,52
17	Amaranthaceae	2	1,04	38	Oxalidaceae	1	0,52
18	Equisetaceae	2	1,04	39	Phytolaccaceae	1	0,52
19	Caryophyllaceae	5	2,59	40	Plantaginaceae	2	1,04
20	Convolvulaceae	2	1,04	41	Typhaceae	1	0,52
21	Cannabaceae	2	1,04	42	Urticaceae	1	0,52

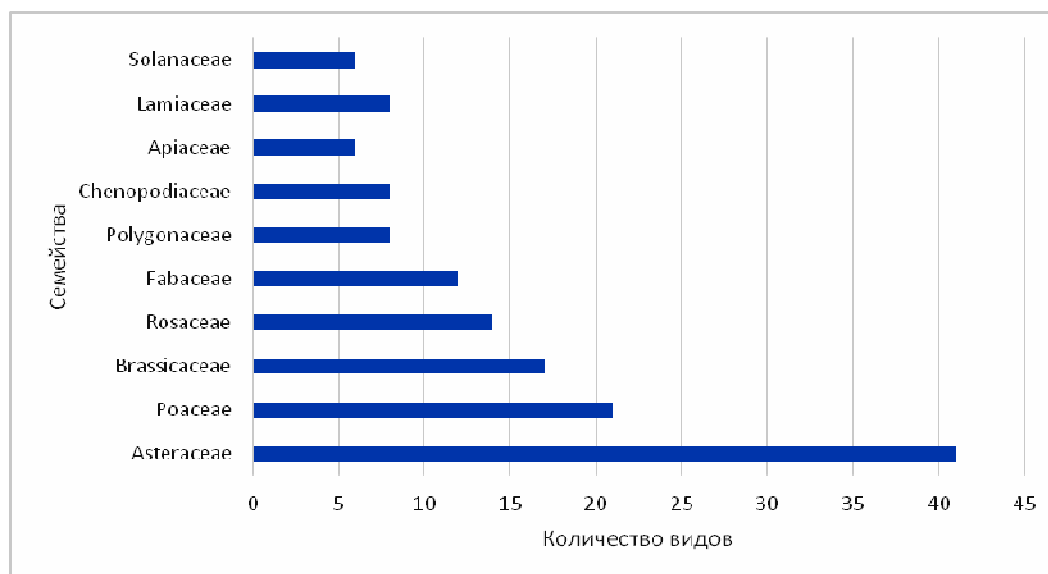


Рис. 1. Представленность видов сосудистых растений в ведущей десятке семейств на полигоне ТБО г. Глазова.

Мы распределили виды данных семейств по экологическим группам. В результате выявлено, что в семействе Asteraceae наибольшую долю среди данных групп составляют культурные виды растений (31,7%), среди которых чаще встречаются *Tagetes patula* L., *Helianthus annuus* L. (*H. cultorum* Wenzl.), *Helianthus tuberosus* L., *Inula helenium* L., *Calendula officinalis* L., *Conyza canadensis* (L.) Cronquist.

На втором месте по частоте встречаемости выделена сегетальная группа растений (17,07%), состоящая в основном из *Crepis tectorum* L., *Cirsium setosum* (Willd.) Besser, *Sonchus asper* (L.) Hill. На третьем месте – луговые растения (14,63%), к которым относятся: *Achillea millefolium* L., *Taraxacum officinale* aggr., *Leontodon autumnalis* L., *Leucanthemum vulgare* Lam.

Представители Poaceae представлены преимущественно луговыми (52,3%) и культурными (23,8%) видами растений. Среди луговых наиболее часто встречаются *Bromopsis inermis* (Leyss.) Holub, *Calamagrostis epigeios* (L.) Roth, *Dactylis glomerata* L., *Elytrigia repens* (L.) Nevski, *Festuca pratensis* Huds., *Phleum pratense* L., *Poa pratensis* L., *Poa angustifolia* L., *Poa palustris* L.; культурных – *Hordeum distichon* L., *Sorghum sudanense* (Piper) Stapf, *Lolium multiflorum* Lam, *Lolium perenne* L., *Panicum miliaceum* L. s.str., *Panicum miliaceum* ssp. *ruderales* (Kitag.) Tzvelev, *Phalaris canariensis* L.

Среди экологических групп семейства Brassicaceae наибольшую долю составляют рудеральные растения (41,2%) и культурные (по 17,6%). К первым относятся *Sisymbrium loeselii* L., *Sisymbrium officinale* (L.) Scop., *Capsella bursa-pastoris* (L.) Medikus, *Erysimum cheiranthoides* L., *Lepidium ruderales* L., *Sinapis arvensis* L.; ко вторым – *Armoracia rusticana* P.G. Gaertn., B. Mey. & Scherb., *Brassica napus* L. f. *oleifera*, *Brassica juncea* (L.) Czern, *Brassica oleracea* L., *Hesperis rycnotricha* Borbas & Degen.

Семейство Rosaceae преимущественно состоит культурных видов, таких как

Fragaria vesca L. (host.=cult.), *Malus domestica* Borkh., *Persica vulgaris* Mill., *Armeniaca vulgaris* Lam., *Padus virginiana* (L.) Mill, и луговых – *Filipendula ulmaria* (L.) Maxim., *Geum aleppicum* Jacq., *Potentilla anserina* L., *Potentilla intermedia* L. Лесные виды (*Rubus idaeus* L., *Rosa acicularis* Lindl., *Rosa majalis* Herzm.) данного семейства тоже имеют значительный вес в исследованных фитоценозах полигона ТБО.

Наибольшее количество видов семейства Fabaceae относится к луговым растениям таким как: *Trifolium pratense* L., *Trifolium hybridum* L., *Trifolium repens* L., *Vicia cracca* L., наименьшее – к степным (*Melilotus officinalis* (L.) Pall.).

В семействах Polygonaceae и Chenopodiaceae преобладают преимущественно рудеральные виды, а именно: *Fallopia convolvulus* (L.) A. Love, *Polygonum aviculare* L., *Rumex crispus* L., *Rumex pseudonatronatus* (Borb.)Borb.ex Murb., *Polygonum maculatum* Raf., *Polygonum scabrum* Moench, *Rumex obtusifolius* L. и *Atriplex patula* L., *Atriplex prostrata* Boucher ex DC, *Atriplex sagittata* Borkh., *Chenopodium album* L., *Chenopodium glaucum* L., *Chenopodium hybridum* L., *Chenopodium rubrum* L., *Chenopodium* × *schulzeanum* Murr соответственно.

Большое разнообразие экологических групп наблюдается в семействе Lamiaceae и Apiaceae, но с небольшим количеством видов. В первом случае встречаются околотовные растения (*Stachys palustris* L.), лесные (*Glechoma hederacea* L.), степные (*Nepeta cataria* L.), луговые (*Prunella vulgaris* L.), рудеральные (*Galeopsis speciosa* Mill., *Leonurus quinquelobatus* Gilib.), во втором – культурные (*Anethum graveolens* L.), лесные (*Pastinaca sylvestris* Mill., *Anthriscus sylvestris* (L.) Hoffm.), луговые (*Archangelica decurrens* Ledeb.), адвентивные (*Heracleum sosnowskyi* Manden.).

В семействе Solanaceae превалируют культурные виды: *Lycopersicon esculentum* Mill., *Solanum tuberosum* L., *Datura stramonium* L., *Petunia* × *hybrida* (Hook.) Vilm.

В целом, эколого-флористический и эколого-ценотический анализ показал (рис. 2), что среди представленных групп видов растений преобладают рудеральные (28 %) и дичающие культурные (эргазиофитофиты) (19,3 %): *Anethum graveolens*, *Helianthus annuus*, *Armoracia rusticana*, *Cucurbita pepo*, *Solanum tuberosum* и др. Также отмечены инвазионные виды (*Heracleum sosnowskyi*, *Lepidium densiflorum*, *Acer negundo*, *Impatiens glandulifera*) и так называемые ксеноэргазиофиты (*Persica vulgaris*, *Armeniaca vulgaris*) – растения, культивируемые в других регионах, случайно занесённые в изучаемый район в ходе хозяйственной деятельности.

Аборигенные виды здесь чаще всего появляются из соседних местообитаний. Их доля составляет 38,9 %. К ним относятся прежде всего луговые, лесные, околотовные и рудеральные виды растений.

Нами аналогичные флористические исследования проводились и на других полигонах ТБО Удмуртии [15], но только здесь мы обнаружили такие культурные растения, как: *Aster lanceolatus* Willd., *Campanula rapunculoides* L., *Cicerbita uralensis* (Rouy) Beauverd., *Helianthus orientalis* Wenzl, *Lysimachia punctata* L., *Spiraea salicifolia* L., *Zinnia elegans* Jacq, лесные виды: *Anthriscus sylvestris* (L.) Hoffm., *Equisetum sylvaticum* L. Нужно отметить, что по сравнению с другими исследованными полигонами ТБО, мы обнаружили значительное участие садовых растений: *Alcea rosea* L., *Asparagus officinalis* L., *Petunia* × *hybrida* (Hook.) Vilm., *Pyrethrum parthenium* (L.) J.G. Sm., которые облагораживают данную территорию.

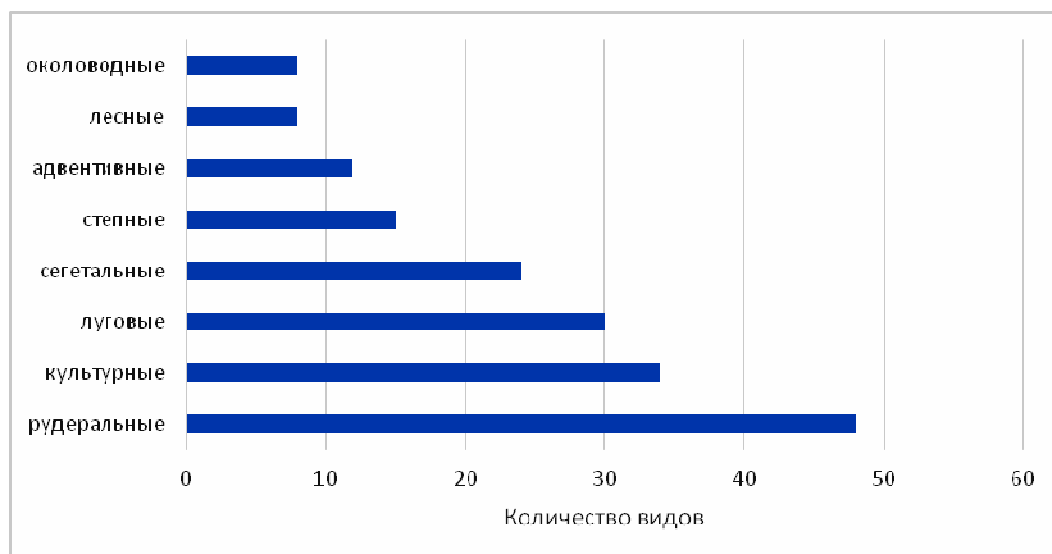


Рис. 2. Эколого-фитоценоотические группы растений полигона ТБО г. Глазова.



Рис. 3. *Alcea rosea* L. на полигоне ТБО, г. Глазов.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На основании эколого-флористического анализа на территории ТБО (г. Глазов) выявлено 193 вида. Среди лидирующих семейств по количеству видов растений относятся Asteraceae (21,24 %), Poaceae (10,88 %), Brassicaceae (8,29 %), Rosaceae (7,25 %), Fabaceae (6,22 %); среди экологических групп – луговые, культурные, рудеральные. Таким образом, полигоны ТБО являются дополнительными местообитаниями для активно осваивающих указанные территории инвазионных видов с широким спектром экологической валентности и пластичности, с другой стороны, они концентрируют немало случайно заносимых растений, культурных («дичающих») видов. Аборигенные виды здесь чаще всего появляются из соседних местообитаний. Их доля составляет 38,9 %.

Список литературы

1. Баранова О. Г. Подход к изучению урбанофлор малых городов Удмуртской Республики / О. Г. Баранова, Е. Н. Зянкина // Города Среднего Поволжья: история и современность: сб. ст. межрегион. науч.-практ. конф. Йошкар-Ола : Мар. гос. ун-т, 2014. – С. 268–271.
2. Баранова О. Г. Инвазионные растения во флоре Удмуртской Республики / О. Г. Баранова, Е. Н. Бралгина // Вестник Удм. ун-та. Серия Биология. Науки о Земле. – 2015. – Т. 25, Вып. 2. – С. 31–36.
3. Ильминских Н. Г. Флора полигонов твердых бытовых отходов городов Среднего Урала и Зауралья (Западная Сибирь) / Н. Г. Ильминских // Ботанические чтения : материалы II Междунар. науч.-практ. конф. Ишим : Изд-во ИГПИ им. П.П. Ершова, 2012. – С. 39–40.
4. Красноперова С. А. Флористические находки на полигонах ТБО Удмуртской Республики / С. А. Красноперова // Наука Удмуртии. – 2017. – № 4 (82). – С. 104–110.
5. Мамаджанов Р. Х. Оценка жизненного состояния растений в районах размещения полигонов ТБО Чеченской республики / Р. Х. Мамаджанов // Вестник Московского государственного областного университета. Серия: Естественные науки. – 2016. – № 1. – С. 28–35.
6. Миркин Б. М. Адвентизация растительности в призме идей современной экологии / Б. М. Миркин, Л. Г. Наумова // Журнал общей биологии. – 2002. – Т. 63, №6. – С. 500–508.
7. Тохтарь В. К. Особенности формирования урбанофлор в различных природно-климатических и антропогенных условиях: факторный анализ и визуализация данных / В. К. Тохтарь, О. В. Фомина // Науч. ведомости Белгород. гос. ун-та. Естеств. науки. – 2011. – № 9(104), Вып. 15. – С. 23–28.
8. Шамсутдинова А. И. Инженерно-экологическая классификация полигонов твердых бытовых отходов урбанизированных территорий (на примере Республики Башкортостан) / А. И. Шамсутдинова, С. К. Мустафин // Вестник ПНИПУ. Урбанистика. – 2012. – № 1. – С. 25–34.
9. Kreck W. Die Besiedlung des Trimmerschutts durch die Pflanzenwelt / W. Kreck // Naturw. Rundschau. – 1951. – No 7. – P. 298–303.
10. Tauchnitz J. Die Vegetationsentwicklung an verschiedenen Deponiestandorten und ihre ökologische Bewertung / J. Tauchnitz, G. Kiesel, M. Hanrieder, H. Henning // Petermanns geogr. Mitt. – 1984. Bd. – 128. – P. 25–30.
11. Ильминских Н. Г. Флорогенез в условиях урбанизированной среды. / Н. Г. Ильминских. – Екатеринбург : Изд-во УрО РАН, 2014. – 470 с.

12. Флора европейской части СССР – Флора Восточной Европы. – СПб.: Тов-во науч. изд. КМК, 2004. – 536 с.
13. Черепанов С. К. Сосудистые растения России и сопредельных государств / С. К. Черепанов. – СПб. : Мир и семья-95, 1995. – 990 с.
14. Коржинский С. Флора Востока Европейской России в ее систематических и географических отношениях / С. Коржинский // Известия Императ. Томского ун-та. – 1891. – Т.5. – С. 73–299.
15. Ильминских Н. Г. Полигоны ТБО в городах Глазов, Ижевск, Сарапул: экологический и флористический аспекты / Н. Г. Ильминских, С. А. Красноперова, А. Н. Ильминских // Наука Удмуртии. – 2017. – № 4 (82). – С. 78–88.

ECOLOGICAL AND FLORISTIC ANALYSIS OF THE PARTIAL FLORA OF MSW IN GLAZOV, UDMURT REPUBLIC

Krasnoperova S. A., Ilminskikh N. G.

*Udmurt State University, Izhevsk, Russia
E-mail: krasnoperova_sve@mail.ru*

The data of ecological-cenotic and floristic studies of the landfill of solid household waste (MSW), located 10 km from Glazov, Udmurt Republic, are presented. Glazov is one of the most developed and industrial cities of Udmurtia. The landfill has been operating here since 2005. Its study is of interest because the flora is intensively enriched on its territory due to the processes of adventization, ergaziophitization, as well as hybridization of plant species. We have analyzed the complete floral composition of the partial flora of the landfill. Glazov and identified 193 plant species included in 42 families of vascular plants. There are also 10 dominant families, the largest share of which are Asteraceae (21.24 %), Poaceae (10.88 %), Brassicaceae (8.29 %), Rosaceae (7.25 %), Fabaceae (6.22 %), etc. The remaining families make up less than 4.2 %. All plants were ranked according to ecological and phytocenotic groups: forest, meadow, steppe, near-water, cultural, adventitious, segetal, ruderal according to the principles of С. Korzhinsky and N. G. Ilminsky. Based on this analysis, it was revealed that ruderal species predominate among the presented plant groups (*Sisymbrium loeselii* L., *Sisymbrium officinale* (L.) Scop., *Capsella bursa-pastoris* (L.) Medikus, *Erysimum cheiranthoides* L., *Lepidium ruderae* L., *Sinapis arvensis* L., *Polygonum aviculare* L., *Rumex crispus* L., *Rumex pseudonatronatus* (Borb.) Borb.ex Murb., *Polygonum maculatum* Raf., *Polygonum scabrum* Moench, *Rumex obtusifolius* L., *Atriplex patula* L., *Atriplex prostrata* Boucher ex DC, *Atriplex sagittata* Borkh., *Chenopodium album* L., *Chenopodium glaucum* L., *Chenopodium hybridum* L., *Chenopodium rubrum* L.) and wild cultural (ergasiophytophytes) (*Tagetes patula* L., *Helianthus annuus* L. (*H. cultorum* Wenzl.), *Helianthus tuberosus* L., *Inula helenium* L., *Calendula officinalis* L., *Conyza canadensis* (L.) Cronquist., *Lycopersicon esculentum* Mill., *Solanum tuberosum* L., *Datura stramonium* L.), near-water and forest plant species are rare. Invasive species (*Heracleum*

sosnowskyi Manden, *Lepidium densiflorum* Schrad., *Acer negundo* L., *Impatiens glandulifera* Royle) and so-called xenoergasiophytes (*Persica vulgaris* Mill., *Armeniaca vulgaris* Lam) were also noted. Native species here most often appear from neighboring habitats. It is noted that landfills are additional habitats for invasive species actively developing these territories with a wide range of ecological valence and plasticity.

Keywords: solid waste landfills, flora, ergasiophytes, invasive species.

References

1. Baranova O. G., Zyankina E. N. Approach to the study of urban flora of small towns of the Udmurt Republic, *Cities of the Middle Volga region: history and modernity: a collection of art. mezhregion. scientific-practical conference* (MSU, Yoshkar-Ola, 2014), p. 268.
2. Baranova O. G., Bralgina E. N. Invasive plants in the flora of the Udmurt Republic, *Bulletin of the Udm. un-ta. Biology series. Earth sciences*, **25(2)**, 20 (2015).
3. Ilminskikh N. G. Flora of landfills of solid household waste of the cities of the Middle Urals and Trans-Urals (Western Siberia), *Botanical readings: materials of the II International Scientific and Practical Conference*. (P.P. Ershov IGPI, Ishim, 2012), p. 39.
4. Ilminskikh N. G. *Florogenesis in an urbanized environment* (Yekaterinburg, 2014).
5. Krasnoperova S. A. Floristic finds at landfills of the Udmurt Republic, *Science of Udmurtia*, **4(82)**, 104 (2017).
6. Mamadzhanov R. Kh. Assessment of the vital condition of plants in the areas of landfills of the Chechen Republic, *Bulletin of the Moscow State Regional University. Series: Natural Sciences*, **1**, 28 (2016).
7. Mirkin B. M., Naumova L. G. Adventization of vegetation in the prism of ideas of modern ecology, *Journal of General Biology*, **63(6)**, 500 (2002).
8. Tokhtar V. K., Fomina O. V. Features of urban flora formation in various climatic and anthropogenic conditions: factor analysis and visualization of data, *Nauch. vedomosti Belgorod. gos. un-ta Natures. Science*, **9(104)**, 23 (2011).
9. Shamsutdinova A. I., Mustafin S. K. Engineering and ecological classification of solid waste landfills of urbanized territories (on the example of the Republic of Bashkortostan), *Bulletin of PNRPU. Urbanistics*, **1**, 25 (2012).
10. Krech W. Die Besiedlung das Trummerschutts durch die Pflanzenwelt, *Naturw. Rundschau*, **4(7)**, 298 (1951).
11. Tauchnitz J., Kiesel G., Hanrieder M., Henning H. Die Vegetationsentwicklung and verschiedenen Deponiestandorten und ihre ökologische Bewertung, *Petermanns geogr. Mitt*, **128**, 25, (1984).
12. Flora of the European part of the USSR – Flora of Eastern Europe, (Comrade Scientific ed. KMK, St. Petersburg, 2004), 536 p.
13. Cherepanov S. K. *Vascular plants of Russia and neighboring states* (Mir i semya-95, St. Petersburg, 1995), 990 p.
14. Korzhinskii S. Flora of the East of European Russia in its systematic and geographical relations, *Izvestiya Imperat. Tomsk University*, **5**, 73 (1891).
15. Ilminskikh N. G., Krasnoperova S. A., Ilminskikh A. N. Landfills in the cities of Glazov, Izhevsk, Sarapul: ecological and floristic aspects, *Science of Udmurtia*, **4 (82)**, 78 (2017).

УДК 631.461

ИЗМЕНЕНИЯ МИКРОБИОЛОГИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ПОЧВ ПРИ ВНЕСЕНИИ ИЛОВ СТОЧНЫХ ВОД

*Кулагина В. И., Сунгатуллина Л. М., Кольцова Т. Г., Шагидуллин Р. Р.,
Рязанов С. С., Андреева А. А.*

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

Изучено воздействие внесения обработанных илов бытовых сточных вод в серую лесную почву на численность трофических групп микроорганизмов и направление процессов минерализации/иммобилизации азота в почве. Проведен 42-дневный вегетационный лабораторный опыт с внесением 7 т/га, 14 т/га, и 28 т/га илов сточных вод под посевы трех сельскохозяйственных культур. Показано, что изменение общей численности микроорганизмов в результате внесения в почву гранулята илов сточных вод не превышает размаха колебаний численности под различными культурами без внесения илов. Численность амилотических и автохтонных микроорганизмов, актиномицетов и микромицетов при внесении в почву гранулята илов сточных вод увеличивалась, хотя максимальная численность микроорганизмов под тремя разными культурами наблюдалась при разных дозах. Внесение илов сточных вод в почву привело к усилению процессов минерализации азота.

Ключевые слова: почва, илы сточных вод, численность микроорганизмов, трофические группы микроорганизмов, коэффициент минерализации.

ВВЕДЕНИЕ

Ежегодно в России образуется до 2,6 млн. т осадков сточных вод в пересчете на сухое вещество [1]. Самым логичным способом утилизации такого количества отходов с высоким содержанием органических веществ и элементов питания растений является внесение их в почву, разумеется, при соответствии требованиям ГОСТ Р 17.4.3.07-2001 и ГОСТ Р 54534-2011.

Обычно последствия внесения илов сточных вод в почву изучаются с точки зрения влияния на содержание тяжелых металлов в почвах и растениях, а также урожайность сельскохозяйственных культур [1–5].

Однако внесение в почву иловых осадков сточных вод в количестве нескольких тонн на гектар неизбежно приводит и к другим изменениям: изменению состояния почвенной биоты, направления и интенсивности микробиологических процессов, численности трофических групп микроорганизмов, что не всегда является положительным моментом. Прежде, чем рекомендовать внесение илов сточных вод в почву, необходимо понять изменения, происходящие не только с урожайностью растений, но и с микробиологическими параметрами почв, попытаться выяснить направления развития микробиологических процессов.

Численность трофических групп микроорганизмов – наиболее динамичный и чувствительный параметр. Несмотря на высокую вариабельность, данный параметр

имеет ряд преимуществ при оценке эколого-биологического состояния почв [6]. В частности очень быструю реакцию. Численность трофических групп микроорганизмов в почвах изменяется и под воздействием возделываемых культур [7] и при внесении удобрений [8], и при внесении в почву загрязняющих веществ [6]. Часто при этом изменяется и баланс процессов минерализации-иммобилизации азота в почве.

Между тем воздействие илов сточных вод на микробиологические свойства почвы до сих пор изучено слабо, а имеющиеся данные носят противоречивый характер [8–10].

Целью работы было установить воздействие внесения илов бытовых сточных вод г. Казани на численность трофических групп микроорганизмов и направление процессов минерализации/иммобилизации азота в почве.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Объектом исследования послужили гранулированные илы бытовых сточных вод (гранулят) г. Казани после сушки и термической обработки – сухой сыпучий продукт, не содержащий патогенных микроорганизмов.

С целью определения воздействия илов сточных вод на микробиологические свойства почв был проведен вегетационный лабораторный опыт в соответствии с ГОСТ Р ИСО 22030-2009.

В эксперименте использовалась серая лесная почва со следующими базовыми характеристиками: гранулометрический состав – средний суглинок, содержание гумуса – 3,1 %, рН солевой вытяжки 5,4.

В вегетационные сосуды помещали 400 г смеси почвы с гранулятом из расчета 7 т/га, 14 т/га, 28 т/га. Доза рассчитывалась так, чтобы содержание тяжелых металлов не превышало ПДК в почвах. В качестве контроля использовалась почва без илов сточных вод.

В каждый вегетационный сосуд высевалось по 12 семян одно- и двудольных растений: гречихи посевной (*Fagopyrum esculentum Moench*), гороха посевного (*Pisum sativum L.*) и полбы (*Triticum dicoccum L.*).

В сосудах поддерживалась влажность 65 % от полной влагоемкости. Опыт продолжался 42 дня и проводился в 3-кратной повторности.

Определение численности групп микроорганизмов проводилось при помощи посева разведениями почвенных взвесей на плотных питательных средах:

- 1) общая численность микроорганизмов (ОМЧ) – на мясо-пептонный агар (МПА);
- 2) амилитических - на крахмал-аммиачный агар (КАА);
- 3) актиномицетов – посев также на КАА, но подсчитывались отдельно;
- 4) микроскопических грибов (микромикетов) – на среду Чапека;
- 5) автохтонных микроорганизмов на нитритный агар.

Среди эколого-трофических индексов был выбран коэффициент минерализации/иммобилизации по Е. Н. Мишустину [11].

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Общая численность микроорганизмов (ОМЧ).

Проведенные исследования показали, что на контроле, в почве без внесения

илов сточных вод, общая численность микроорганизмов определяется особенностями выращиваемых растений (рис. 1). На контроле ОМЧ статистически значимо отличается в почве под посевами гороха и двух других культур (тест Стьюдента, $p < 0,05$). Согласно шкале Звягинцева [12] почва под посевами полбы богата микроорганизмами, под гречихой – очень богата. При этом под посевами гороха общая численность микроорганизмов в 56 раз выше, чем под посевами полбы и 27 раз выше, чем под посевами гречихи. И это никак не связано с загрязнением или влиянием илов сточных вод, которые на контроле не вносились.

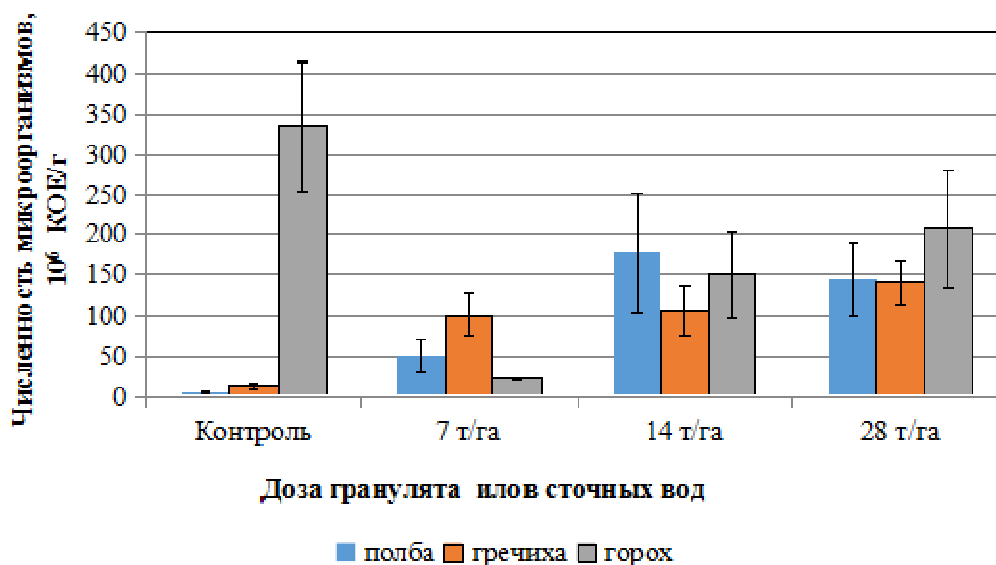


Рис. 1. Общая численность микроорганизмов ($M \pm m$) при разных дозах гранулята илов сточных вод в почве под посевами гречихи посевной (*Fagopyrum esculentum Moench*), гороха посевного (*Pisum sativum L.*) и полбы (*Triticum dicoccum L.*).

Подобный всплеск общей численности микроорганизмов под посевами гороха можно объяснить наличием у бобовых культур симбиотических азотфиксирующих бактерий, способствующих увеличению содержания в почве органического азота. При определении ОМЧ как раз учитываются микроорганизмы, способные использовать азот органических соединений. Полученный результат согласуется с данными У. С. Бекеновой с соавторами, приводившими в своей работе данные, что с ростом числа симбиотических бактерий, возрастает и ОМЧ почвы в целом [13]. Сходный результат был получен Т. Х. Гордеевой с соавторами, показавшими, что максимальная численность микроорганизмов, способных трансформировать азотсодержащие органические соединения, наблюдается под смешанными посевами с участием гороха [7].

Общая численность микроорганизмов под посевами полбы и гречихи возрастала с увеличением количества вносимых илов сточных вод (рис. 1). Коэффициент корреляции 0,78 и 0,88 соответственно, что свидетельствует о

высокой взаимосвязи между признаками.

Под посевами гороха наблюдалась несколько другая картина. Максимальная ОМЧ наблюдалась на контроле, то есть в почве без внесения илов сточных вод. При внесении илов в количестве 7 т/га общая численность микроорганизмов под посевами гороха уменьшалась по сравнению с контролем в 14,5 раз, а затем увеличивалась с увеличением дозы илов, но так и не достигла значений на контроле. Коэффициент корреляции между дозой гранулята и ОМЧ в вариантах с горохом равен -0,14, то есть корреляционная зависимость отсутствовала.

При внесении в почву илов в дозах 7 т/га, 14 т/га и 28 т/га отличия по общей численности микроорганизмов под посевами разных культур оказались статистически незначимыми (тест Стьюдента, $p < 0,05$). Внесение илов сточных вод нивелировало воздействие особенностей отдельных культур на ОМЧ.

Амилолитики. Данная трофическая группа отличается тем, что принадлежащие к ней микроорганизмы способны использовать минеральный азот почвы.

Распределение численности амилолитических микроорганизмов по вариантам опыта повторило результат, полученный для ОМЧ, а именно – под посевами полбы и гречихи численность микроорганизмов имела сильную положительную корреляционную взаимосвязь с дозой гранулята (коэффициент корреляции 0,77 и 0,72 соответственно), а под горохом корреляционной зависимости между этими признаками не обнаруживалось (коэффициент корреляции 0,06). Изменения численности амилолитиков под посевами гороха и двух других культур шли в противофазе (рис. 2). Например, при переходе от контроля к варианту с 7 т/га гранулята численность амилолитиков в почве под полбой и гречихой увеличивалась, а под горохом – уменьшалась.

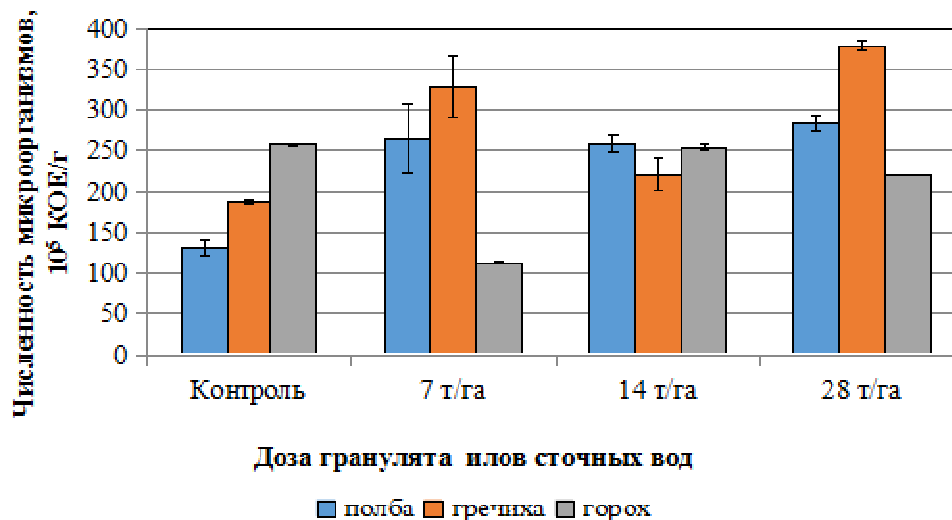


Рис. 2. Численность амилолитических микроорганизмов ($M \pm m$) при разных дозах гранулята илов сточных вод в почве под гречихой посевной (*Fagopyrum esculentum* Moench), горохом посевным (*Pisum sativum* L.) и полбой (*Triticum dicoccum* L.).

Максимальная численность амилोलитических микроорганизмов на контроле наблюдалась под посевами гороха. Полученные результаты согласуются с данными Гордеевой с соавторами, согласно которым под смешанными посевами с участием гороха численность амилолитиков превышала их численность на других вариантах [7].

Статистически значимая разница по численности амилолитических микроорганизмов под всеми тремя культурами отсутствовала только при внесении в почву 14 т/га илов сточных вод. На контроле и при других дозах внесения разница численности под различными культурами статистически значима.

Актиномицеты. Так называемые плесневидные бактерии. Относятся к трофической группе амилолитических, но имеют свои особенности, и часто изучаются отдельно [11].

Максимальная численность актиномицетов под посевами гречихи наблюдалась при дозе гранулята 28 т/га (рис. 3), а под посевами гороха и полбы при дозе гранулята 14 т/га.

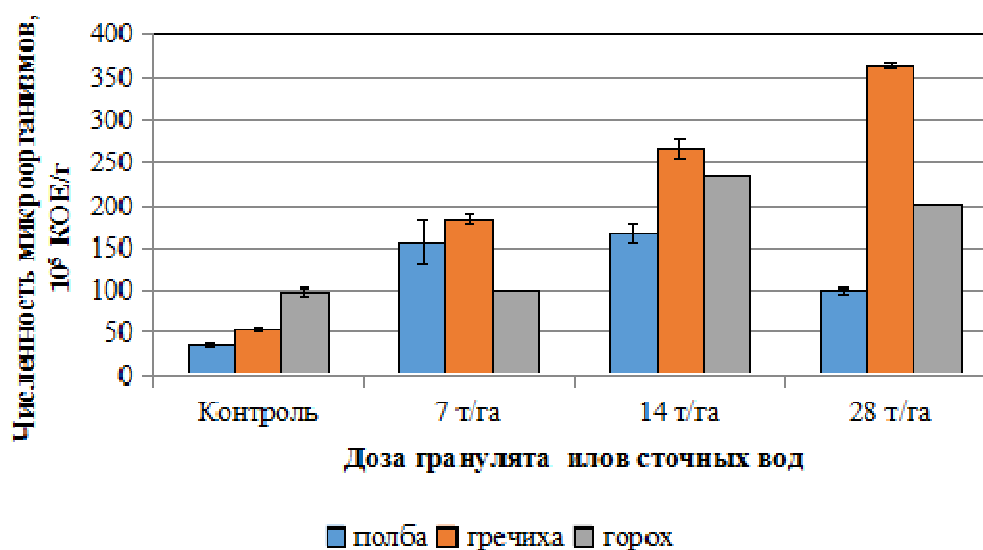


Рис. 3. Численность актиномицетов ($M \pm m$) при разных дозах гранулята илов сточных вод в почве под гречихой посевной (*Fagopyrum esculentum Moench*), горохом посевным (*Pisum sativum L.*) и полбой (*Triticum dicocum L.*).

В нашем исследовании наиболее тесная зависимость между количеством внесенного гранулята и численностью актиномицетов проявилась под посевами гречихи – коэффициент корреляции 0,97. Под горохом взаимосвязь этих двух признаков высокая – коэффициент корреляции 0,73, а в почве под посевами полбы практически отсутствовала – коэффициент корреляции равен 0,27. Хотя в последнем случае, вероятно, просто прослеживалось нормальное распределение численности микроорганизмов: то есть сначала с увеличением дозы илов численность актиномицетов возрастала, а при самых высоких дозах – уменьшалась.

Численность актиномицетов статистически значимо отличалась под посевами разных культур и на контроле, и на других вариантах опыта.

В литературе сведения об изменении численности актиномицетов при внесении в почву илов сточных вод немногочисленны. По данным Т. А. Спасской с соавторами (2021) численность актиномицетов при внесении в дерново-подзолистую почву 15 т/га илов сточных вод увеличивалась примерно в 1,5 раза по сравнению с контролем [9]. В нашем опыте численность актиномицетов при внесении в почву 14 т/га гранулята илов сточных вод увеличилась по сравнению с контролем в 2,5–5 раз. По-видимому, разница объясняется разной длительностью опыта.

Микромицеты. Микромицеты или, по-другому, микроскопические грибы, обладают мощным ферментативным аппаратом и способны к деструкции даже трудноразлагаемых органических остатков. Увеличение численности микромицетов при внесении в почву большого количества органических остатков является вполне закономерным. Например, при внесении в почву биоугля из илов сточных вод численность микромицетов увеличивается по сравнению с контролем [14].

В проведенном нами опыте при внесении в почву илов сточных вод, не подвергнутых пиролизу, численность микроскопических грибов также увеличилась по сравнению с контролем (рис. 4).

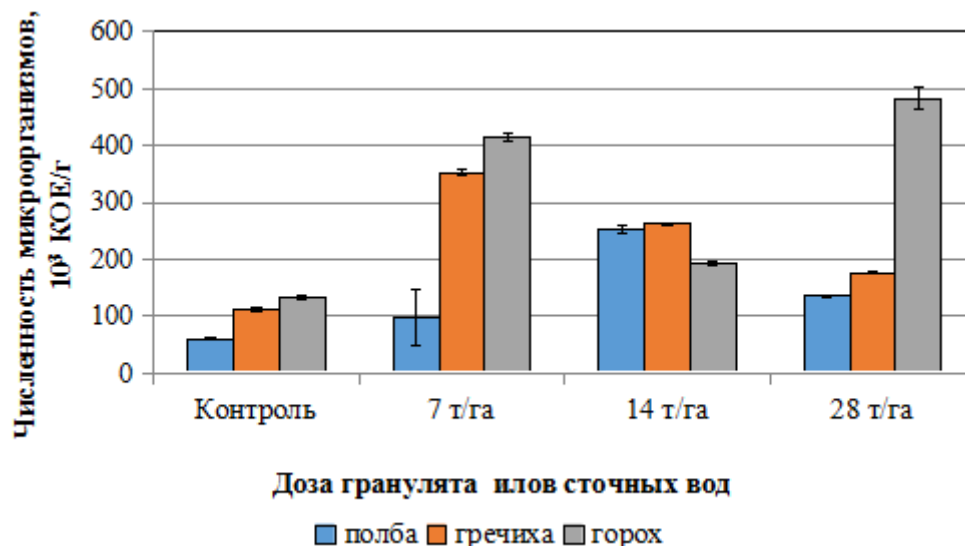


Рис. 4. Численность микромицетов ($M \pm m$) при разных дозах гранулята илов сточных вод в почве под гречихой посевной (*Fagopyrum esculentum* Moench), горохом посевным (*Pisum sativum* L.) и полбой (*Triticum dicoccum* L.).

Однако численность микромицетов достигла максимальных значений при разных дозах илов сточных вод под посевами разных культур: под посевами гороха – при 28 т/га, под посевами полбы – при 14 т/га, под посевами гречихи – при 7 т/га (рис. 4).

Под посевами гороха наблюдалась средняя прямая зависимость между дозой гранулята и численностью микроскопических грибов – коэффициент корреляции

равен 0,68, под посевами полбы зависимость слабая (коэффициент 0,44), под посевами гречихи – отсутствует (коэффициент 0,003).

Численность микромицетов под посевами разных культур статистически значимо отличалась как на контроле, так и при внесении разных доз гранулята.

Автохтонные микроорганизмы. Трофическая группа почвенных микроорганизмов, способных разлагать гумусовые соединения. Обычно их численность увеличивается в условиях дефицита легкоразлагаемого органического вещества [15]

Полученные нами результаты представлены на рис. 5. Численность автохтонных микроорганизмов под посевами гороха последовательно возрастала с увеличением дозы илов сточных вод. Максимальная численность наблюдалась при внесении илов в количестве 28 т/га. Под посевами гороха корреляционная зависимость между численностью автохтонных микроорганизмов и дозой илов высокая (коэффициент корреляции равен 0,87).

Под посевами полбы и гречихи максимальная численность автохтонных микроорганизмов наблюдалась при дозе илов 7 га, а корреляция между численностью и количеством внесенных илов или отсутствовала, или была слабой (коэффициент соответственно 0,01 и 0,35).

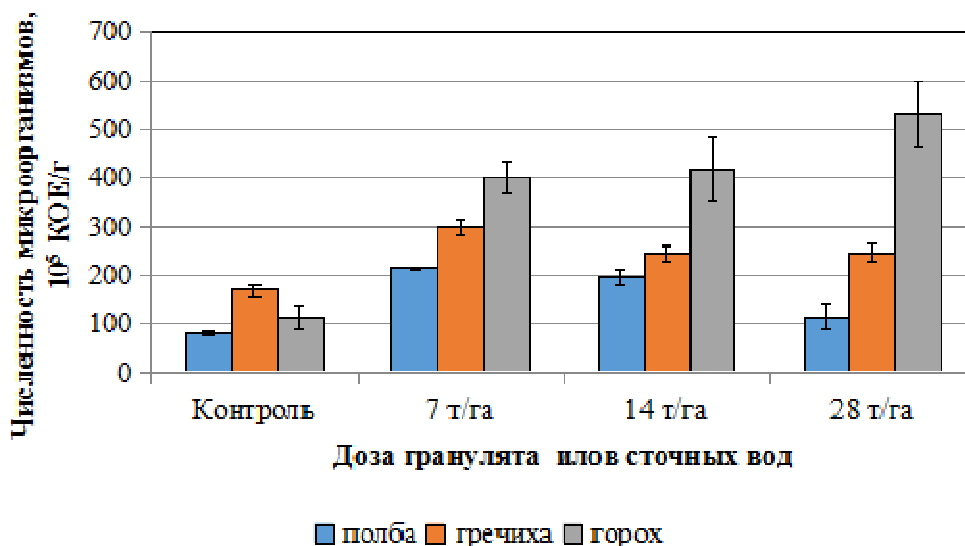


Рис. 5. Численность автохтонных микроорганизмов ($M \pm m$) при разных дозах гранулята илов сточных вод в почве под гречихой посевной (*Fagopyrum esculentum Moench*), горохом посевным (*Pisum sativum L.*) и полбой (*Triticum dicoccum L.*).

Такая разница в изменении численности автохтонных микроорганизмов под посевами разных культур может объясняться в свою очередь неоднородностью самой трофической группы, включающей все же отличающиеся по некоторым свойствам группы микроорганизмов [15]. По-видимому, под посевами бобовой культуры преобладали одни представители этой трофической группы, а под полбой

и гречихой – другие.

Коэффициент минерализации/иммобилизации. Коэффициент минерализации-иммобилизации рассчитывается как соотношение численности амилотических почвенных микроорганизмов к аммонифицирующим [11].

Проведенные исследования показывают, что самый высокий коэффициент минерализации/иммобилизации наблюдается на контроле под посевами полбы и гречихи (рис. 6). Здесь коэффициент минерализации/иммобилизации превышает единицу, что, согласно Е. Н. Мишустину, говорит о преобладании процессов иммобилизации азота в почве [11]. На всех остальных вариантах коэффициент минерализации/иммобилизации меньше единицы, что свидетельствует о преобладании процессов минерализации азота. Интересно, что коэффициент минерализации на контроле под посевами гороха также меньше единицы, что подтверждает версию о дополнительном поступлении азота в почву под бобовыми культурами.

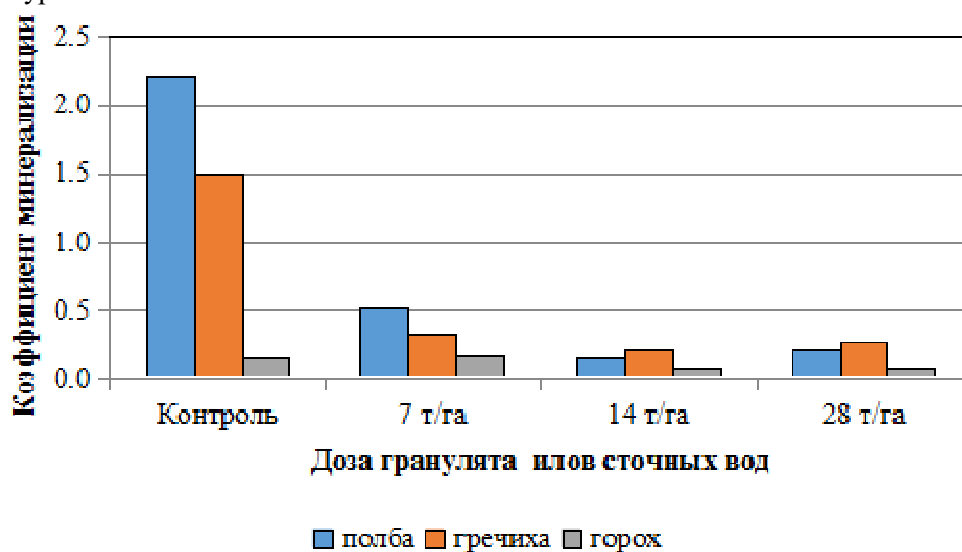


Рис. 6. Коэффициент минерализации/иммобилизации при разных дозах гранулята илов сточных вод в почве под гречихой посевной (*Fagopyrum esculentum Moench*), горохом посевным (*Pisum sativum L.*) и полбой (*Triticum dicoccum L.*).

Считается, что при соотношении в почве или субстрате C:N равном 20–25 процессы минерализации/иммобилизации находятся в равновесии, при увеличении соотношения преобладают процессы иммобилизации, при уменьшении соотношения – минерализации [15]. В нашем опыте дополнительное поступление азота за счет деятельности азотфиксирующих бактерий могло вызвать усиление процессов минерализации под посевами гороха даже без внесения илов сточных вод.

Под посевами полбы и гречихи при внесении гранулята илов сточных вод произошло изменение баланса двух противоположных процессов – иммобилизация сменилась минерализацией. По-видимому, это обусловлено поступлением азота с

илами сточных вод и изменением соотношения C:N.

Под посевами гороха процесс минерализации усилился при дозах илов сточных вод 14т/га и 28 т/га.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Размах колебаний общей численности микроорганизмов на контроле под воздействием различных культур и их симбиотических бактерий превышал изменения общей численности микроорганизмов в результате внесения гранулята илов бытовых сточных вод в дозах 7, 14 и 28 т/га. Это позволяет говорить об отсутствии негативного воздействия илов на общую численность микробного сообщества почв.

Численность трофических групп микроорганизмов при внесении различных доз илов изменялась по-разному под посевами полбы, гречихи и гороха. Особенности развития отдельных трофических групп микроорганизмов под посевами гороха, по-видимому, связаны с наличием у бобовых культур симбиотических азотфиксирующих бактерий и поступлением в почву дополнительных количеств азотсодержащих соединений.

В целом численность амилотических и автохтонных микроорганизмов, актиномицетов и микромицетов при внесении в почву гранулята илов сточных вод увеличивалась, хотя максимальная численность микроорганизмов под тремя разными культурами наблюдалась при разных дозах.

Внесение в серую лесную почву гранулята илов сточных вод привело к усилению процессов минерализации азота под всеми культурами, но в разной степени.

Изучение возможностей безопасного использования илов сточных вод в сельском хозяйстве должны быть продолжено.

Список литературы

1. Плеханова И. О. Степень самоочищения агродерново-подзолистых супесчаных почв, удобренных осадком сточных вод / И. О. Плеханова // Почвоведение. – 2017. – №4. – С. 506–512.
2. Чекаев Н. П. Изменение свойств чернозема выщелоченного под действием компостов из осадков сточных вод / Н. П. Чекаев // Нива Поволжья. – 2010. – № 1 (14). – С. 31–34.
3. Касатиков В. А. Последствие осадка городских сточных вод и действие торфогуминового удобрения на урожайность и макроэлементный состав яровой / В. А. Касатиков, Н. П. Шабардина, В. А. Раскатов // Плодородие. – 2019. – № 1 (106). – С. 44–46.
4. Чепрунова Ю. В. Влияние осадка сточных вод на урожайность сена овса при биологической рекультивации полигона твердых коммунальных отходов / Ю. В. Чепрунова, А. В. Тиньгаев, Р. П. Воробьева, В. Б. Шепталов, А. С. Давыдов // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – 2019. – № 12 (182). – С. 50–56.
5. Смирнова А. В. Использование осадков сточных вод в качестве удобрений / А. В. Смирнова // Матрица научного познания. – 2021. – № 11–1. – С. 76–78.
6. Казеев К. Ш. Биодиагностика почв: методология и методы исследований / К. Ш. Казеев, С. И. Колесников. – Ростов-на-Дону: Изд-во Южного федерального университета, 2012. – 260 с.
7. Гордеева Т. Х. Микрофлора почвы и смешанных бобово-злаковых агроценозов / Т. Х. Гордеева, С. И. Новоселов // Фундаментальные исследования. – 2014. – № 11–1. – С. 99–104.

8. Мосина Л. В. Микробиологическая диагностика состояния системы почва-растение на сенокосах при внесении компостов на основе осадков сточных вод / Л. В. Мосина, Г. Е. Мерзлая // Известия Тимирязевской сельскохозяйственной академии. – 2010. – № 1. – С. 18–27.
9. Спасская Т. А. Вариабельность почвенной микробиоты дерно-подзолистых супесчаных почв в условиях применения нетрадиционных удобрений / Т. А. Спасская, Ю. В. Леонова, Д. Г. Свириденко, М. В. Тютюнькова // Агропромышленные технологии Центральной России. – 2021. – № 1 (19). – С. 60–64.
10. Яппаров А. Х. Агрехимический и микробиологический мониторинг серой лесной почвы при внесении осадков сточных вод / А. Х. Яппаров, Ш. А. Алиев, И. А. Дегтярева, Т. Х. Ишкаев, М. М. Ильясов, С. Ю. Селивановская // Журнал экологии и промышленной безопасности. – 2010. – № 2 (46). – С. 41–46.
11. Мишустин Е. Н. Микроорганизмы и плодородие почвы / Е. Н. Мишустин. – М.: Изд-во АН СССР, 1956. – 342 с.
12. Звягинцев Д. Г. Биологическая активность почв и шкалы для оценки некоторых ее показателей / Д. Г. Звягинцев // Почвоведение. – 1978. – № 6. – С. 48–54.
13. Бекенова У. С. Изучение микробиологического режима почвы при инокуляции семян люцерны / У. С. Бекенова, М. Б. Жакеева, Ж. Ш. Жумадилова, Е. Ж. Шорабаев, А. К. Саданов // Фундаментальные исследования. – 2014. – № 9–7. – С. 1538–1541.
14. Рязанов С. С. Влияние биоуглей из илов сточных вод на рост растений, почвенные микроорганизмы и содержание азота в серых лесных почвах / С. С. Рязанов, В. И. Кулагина, А. Н. Грачев, Л. М. Сунгатуллина, С. А. Забелкин, Р. Р. Шагидуллин // Принципы экологии. – 2020. – № 4 (38). – С. 54–70.
15. Емцев В. Т. Микробиология / В. Т. Емцев, Е. Н. Мишустин. – М.: Дрофа, 2005. – 445 с.

CHANGES IN THE MICROBIOLOGICAL PROPERTIES OF SOILS DUE TO APPLICATION OF SEWAGE SLUDGE

***Kulagina V. I., Sungatullina L. M., Koltcova T. G., Shagidullin R. R.,
Ryazanov S. S., Andreeva A. 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*

One of the most promising ways to dispose of domestic sewage sludge is to introduce them into the soil, provided that this does not harm the ecological state of the soil. The study of the impact of sewage sludge on the microbiological properties of soils is an urgent task, since the microbial community of soils is very sensitive to any changes that occur with the soil. The purpose of this work was to establish the impact of the application of sludge from domestic wastewater in the city of Kazan on the population of trophic groups of microorganisms and the direction of the processes of mineralization/immobilization of nitrogen in the soil. The object of the study was granulated sludge from domestic wastewater (granulate) in the city of Kazan after drying and heat treatment – a dry bulk product that does not contain pathogenic microorganisms. A 42-day vegetative laboratory experiment was carried out with the application of 7 t/ha, 14 t/ha, and 28 t/ha of granulate for sowing three crops: buckwheat (*Fagopyrum esculentum* Moench), pea (*Pisum sativum* L.) and farro (*Triticum dicoccum* L.). The dose was calculated so that the content of

heavy metals did not exceed the maximum allowable concentrations in soils. Soil without sewage sludge was used as a control. Determination of populations of microorganisms groups was carried out by sowing dilutions of soil suspensions on dense nutrient media. It is shown that the change in the total number of microorganisms as a result of the sewage sludge granulate application into the soil does not exceed the range of fluctuations in the number under various crops without the introduction of sludge. The total population of microorganisms in the control under pea crops was 56 times higher than under farro crops and 27 times higher than under buckwheat crops. Since sludge was not introduced in the control, the differences are due to the effect of root exudates and symbiotic nitrogen-fixing microorganisms. The total number of microorganisms under the crops of farro and buckwheat increased with an increase in the amount of sewage sludge introduced. The correlation coefficient was 0.78 and 0.88, respectively, which indicates a high relationship between the indicators. There was no significant correlation under pea crops. The maximum total number of microorganisms under pea crops was observed in the control. The number of amyolytic and autochthonous microorganisms, actinomycetes and micromycetes increased when granulated sewage sludge was introduced into the soil, although the maximum number of microorganisms under three different cultures was observed at different doses. The mineralization/immobilization coefficient of nitrogen under different crops differed the most in the control. Under crops of farro and buckwheat, the coefficient was greater than 1, which indicated the predominance of nitrogen immobilization processes. Under pea crops, the coefficient was less than 1, which indicated the predominance of mineralization processes. The reason, apparently, was the additional supply of nitrogen to the soil due to the activity of symbiotic bacteria. The introduction of sewage sludge into the soil led to an increase in the processes of nitrogen mineralization under all crops. Under the crops of farro and buckwheat, after the application of sewage sludge, the balance of two opposite processes changed – immobilization was replaced by mineralization. Apparently, this is due to the influx of nitrogen with sewage sludge and a change in the C:N ratio. Under pea crops, the mineralization process intensified at doses of sewage sludge of 14 t/ha and 28 t/ha.

Keywords: soil, sewage sludge, microorganisms population, trophic groups of microorganisms, mineralization coefficient.

References

1. Plekhanova I. O., The degree of self-purification of agro-podzolic sandy loamy soils fertilized with sewage sludge, *Soil science*, **4**, 506 (2017).
2. Chekaev N. P., Changes in the properties of leached chernozem under the action of composts from sewage sludge, *Niva of the Volga region*, **1 (14)**, 31 (2010).
3. Kasatkov V. A., Shabardina N. P. and Raskatov V. A., The aftereffect of urban sewage sludge and the effect of peat-humic fertilizer on the yield and macroelement composition of spring crops, *Fertility*, **1 (106)**, 44 (2019).
4. Cheprunova Yu. V., Tingaev A. V., Vorobiev R. P., Sheptalov V. B., Davydov A. S. Influence of sewage sludge on the yield of oat hay during biological reclamation of a solid municipal waste landfill, *Bulletin of the Altai State Agrarian University*, **12 (182)**, 50 (2019).
5. Smirnova A. V., The use of sewage sludge as fertilizers, *Matrix of scientific knowledge*, **11-1**, 76 (2021).
6. Kazeev K. Sh., Kolesnikov S. I. *Biodiagnostics of soils: methodology and research methods*. 260. (Publishing House of the Southern Federal University, 2012).

7. Gordeeva T. Kh. and Novoselov S. I. Soil microflora and mixed legume-cereal agrocenoses, *Fundamental research*, **11-1**, 99 (2014).
8. Mosina L. V. and Frozen G. E. Microbiological diagnostics of the state of the soil-plant system in hayfields during the introduction of composts based on sewage sludge, *Proceedings of the Timiryazev Agricultural Academy*, **1**, 18 (2010).
9. Spasskaya T. A., Leonova Yu. V., Sviridenko D. G., Tyutyunkova M. V. Variability of soil microbiota in sod-podzolic sandy loamy soils under the conditions of application of non-traditional fertilizers, *Agro-industrial technologies of Central Russia*, **1 (19)**, 60 (2021).
10. Yapparov A. Kh., Aliev Sh. A., Degtyareva I. A., Ishkaev T. Kh., Ilyasov M. M., Selivanovskaya S. Yu., Agrochemical and microbiological monitoring of gray forest soil during the introduction of sewage sediments, *Journal of Ecology and Industrial Safety*, **2 (46)**, 41 (2010).
11. Mishustin E. N. *Microorganisms and soil fertility*, 342. (Publishing House of the USSR Academy of Sciences, 1956).
12. Zvyagintsev D. G. Biological activity of soils and scales for assessing some of its indicators, *Soil science*, **6**, 48 (1978).
13. Bekenova U. S., Zhakeeva M. B., Zhumadilova Zh. Sh., Shorabaev E. Zh., Sadanov A. K. The study of the microbiological regime of the soil during the inoculation of alfalfa seeds, *Fundamental research*, **9-7**, 1538 (2014).
14. Ryzanov S. S., Kulagina V. I., Grachev A. N., Sungatullina L. M., Zabelkin S. A., Shagidullin R. R. Influence of biochars from sewage sludge on plant growth, soil microorganisms and nitrogen content in gray forest soils, *Principles of ecology*, **4 (38)**, 54 (2020).
15. Emtsev V. T., Mishustin E. N. *Microbiology*. 445 (Drofa, 2005).

УДК 612.821

ИЗМЕНЕНИЯ МЕЖПОЛУШАРНЫХ КОГЕРЕНТНЫХ СВЯЗЕЙ РИТМОВ ЭЭГ ПРИ РЕАЛИЗАЦИИ ПОМОГАЮЩЕГО ПОВЕДЕНИЯ У ДЕТЕЙ ДОШКОЛЬНОГО ВОЗРАСТА

Куличенко А. М., Кайда А. И., Португальская А. А., Михайлова А. А., Павленко В. Б.

*ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет имени В. И. Вернадского», Симферополь,
Республика Крым, Россия
E-mail: alexander.kulichenko@gmail.com*

Целью настоящего исследования являлось установление динамики межполушарной когерентности (МПК) в θ -, α - и β -частотных диапазонах электроэнцефалограммы (ЭЭГ) симметричных корковых зон у детей дошкольного возраста во время реализации инструментального, эмоционального и альтруистического помогающего поведения (ПП). Установлено, что при реализации ПП у участников исследования проявляются специфические для каждого из изученных частотных диапазонов изменения ЭЭГ, которые зависят от направленности предлагаемого ребенку задания. Полученные данные обсуждаются с учетом представлений о динамической природе межполушарного взаимодействия корковых зон и роли межполушарных связей в организации просоциального поведения. Выявленные особенности динамики межполушарной когерентности в θ -, α - и β -диапазонах ЭЭГ важны для понимания центральных механизмов становления ПП у детей.

Ключевые слова: дети раннего возраста, моральные оценки, когерентность ЭЭГ.

ВВЕДЕНИЕ

Моральное поведение, являясь важной частью процесса регуляции социального взаимодействия, позволяет индивиду оценивать как собственные поступки, так и поступки других людей. Некоторые базовые представления о морали и нравственности, а также определенные паттерны социального поведения формируются в раннем детстве. Для изучения психофизиологических коррелятов морального поведения применяют игровые методики, в которых испытуемые проявляют индивидуальные особенности развития просоциального поведения (помогают другим людям, подавая предметы; утешая; делясь своими ресурсами). Использование таких методик позволило выявить возрастные, межкультурные, гендерные особенности морального развития детей [1, 2].

Однако лишь единичные работы посвящены изучению мозговых механизмов формирования морального и просоциального поведения у детей раннего возраста. В недавней работе Паулуса и соавторов (2013) выявлена связь выполнения детьми действий, имеющих просоциальный характер с активностью разных областей неокортекса [3]. В нашей лаборатории показано, что мощность сенсомоторных ритмов ЭЭГ детей раннего возраста в период наблюдения за про- и антисоциальным действием кукольных персонажей и в период принятия решения об их

вознаграждении зависит от уровня сформированности моральных оценок и возможности отождествления себя с персонажем, совершающим социально значимые действия [4, 5].

В контексте этого направления исследований особый интерес представляет оценка процесса формирования взаимодействия и интеграции функционально специфических областей мозга в распределенную систему, обеспечивающую реализацию всех форм деятельности, включая когнитивную [6]. Имеются основания полагать, что одним из важнейших механизмов, лежащих в основе такой координации, является система дистантной (пространственной) синхронизации нейрональной активности [7], которая, проявляется в когерентности ритмов ЭЭГ [8]. Следует отметить, что показатели когерентности ЭЭГ отражают особенности протекания когнитивных процессов в восходящем онтогенезе [9] и специфику нарушений развития у детей [10].

Для успешного выполнения когнитивных и моторных функций жизненно важны связь и интеграция отдельных областей мозга [11]. Показателем интенсивности интегративных процессов между гомологичными участками коры является межполушарная когерентность (МПК) [12]. МПК связывают с когнитивными процессами, обеспечивающими формирование гибкого и адаптивного целенаправленного поведения и когнитивным контролем [13]. Имеются сведения, что высокий уровень межполушарного взаимодействия является необходимым условием работы эпизодической памяти [14]. Уровень α -когерентности отражает степень внимания, связанного с выполнением когнитивных задач, а уровень β -когерентности указывает на степень умственных усилий, связанных с их выполнением [15].

Появляется все больше данных, свидетельствующих о том, что изменения межполушарных связей являются определяющей характеристикой таких заболеваний, как болезнь Паркинсона, расстройство аутистического спектра, тревожное расстройство личности, обсессивно-компульсивное расстройство и синдром дефицита внимания/гиперактивности. Патологические процессы в мозге, как правило, сопровождаются снижением МПК, которое сочетается с нарушениями когнитивного и эмоционального функционирования [16].

В связи с этим нами предполагается, что анализ МПК в θ -, α - и β -диапазонах даёт возможность судить о работе функциональных систем интеграции мозговой активности, включая кортико-гиппокампальную и фронто-таламическую, участвующих в формировании морального поведения. Как известно, фронто-таламическая система преимущественно связана с активацией передних отделов коры, а через систему θ -ритма, как предполагается, осуществляется синхронизация активности между гиппокампом и отдельными областями неокортекса, что создает условия для облегчения взаимодействия этих мозговых структур [17].

Гипотеза исследования: процесс ПП отражается в особенностях МПК ЭЭГ.

В связи с этим, целью нашего исследования явилось установление динамики МПК в θ -, α - и β -диапазонах ЭЭГ симметричных корковых зон у детей дошкольного возраста во время реализации инструментального ПП.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В исследовании приняли участие 24 ребенка (16 мальчиков и 8 девочек) в возрасте 4–7 лет. Средний возраст исследуемых детей составил $70,8 \pm 14,0$ месяцев. Критерии включения детей в исследование: масса тела при рождении не менее 2,5 кг; отсутствие записей в медицинской карточке о генетических заболеваниях и заболеваниях ЦНС. Перед проведением исследования проводили оценку интеллектуального развития детей по тесту Векслера [18, 19]. В выборку были включены дети с уровнем общего интеллекта выше 80 баллов (сниженная норма). В исследуемой группе детей среднее значение по шкале теста Векслера «общий интеллект» составило $112,0 \pm 16,2$ балла (при крайних значениях от 85 до 145 баллов).

Методика изучения просоциального поведения. Для изучения психофизиологических коррелятов ПП использовались четыре экспериментальные ситуации:

1. Задание на реализацию инструментального помогающего поведения (ИПП) по методике, предложенной F. Warneken, M. Tomasello [20] с изменениями [21]. На стол перед ребенком устанавливалась специальная коробка, в которой есть небольшое отверстие сверху и полностью открыта грань, направленная к ребенку. Таким образом ребенок может видеть, что лежит в коробке и может достать что-то оттуда. Затем экспериментатор ставил на коробку кружку и как-бы помешивая в ней «чай» случайно ронял ложку в верхнее отверстие коробки. Ожидалось, что ребенок поможет достать ложку и отдаст ее экспериментатору. Фиксировался результат поведения ребенка и время, через которое ребенок отдавал ложку. После того как ребенок отдал ложку, экспериментатор говорил «теперь я могу помешать чай» и переходил к следующей экспериментальной ситуации. Если ребенок не дал ложку в течении 50 секунд, экспериментатор молча убирал коробку и переходил к следующей экспериментальной ситуации.

2. Задание на реализацию эмоционального помогающего поведения (ЭПП) по методике, предложенной K. Dunfield с соавторами, с изменениями [22]. Согласно оригинальной методике экспериментатор демонстрирует, что испытывает боль от удара коленом о край низкого стола. В настоящем исследовании ситуация с коленом заменена на ситуацию с планшетом с зажимом. Экспериментатор кладет на стол планшет для бумаг с зажимом и как бы случайно придавливает палец зажимом с возгласом «Ой!». Затем экспериментатор демонстрирует, что ему больно (делает грустное лицо, потирает палец, вздыхает и постанывает). Анализируется, успокаивал ли ребенок экспериментатора в течении 50 секунд (дотрагивался до руки экспериментатора, озвучивал беспокойство об экспериментаторе, направлял внимание родителя на экспериментатора, чтобы тот помог ему и т.д.).

3. Задание на реализацию альтруистического помогающего поведения (АПП) по методике, предложенной K. Dunfield с соавторами – «неравное угощение» [22]. Экспериментатор достает два прозрачных контейнера, один для себя, другой для ребенка и говорит: «Посмотри, что у меня есть». При этом контейнер экспериментатора пустой, в то время как у ребенка – четыре печенья. Экспериментатор различными способами показывает, что у него нет печенья, а у

ребенка есть, делает грустное лицо, протягивает руку ладонью вверх в требовательном жесте. Задание заканчивается, когда ребенок делится печеньем, либо не проявляет помощи в течении 50 с.

4. Задание на реализацию комплекса альтруистического и эмоционального помогающего поведения (АЭПП) по методике, предложенной D. Bischof-Köhler [23] и J. Kärtner с соавторами [24]. Экспериментатор сначала играет с ребенком, используя двух плюшевых мишек, у одного из которых лапа прикреплена на застежке-липучке. После нескольких минут игры лапа у игрушки экспериментатора отпадает, и он демонстрирует грустное лицо. Затем сигналы о необходимости помощи становятся все более явными, например, экспериментатор произносит: «Лапа отпала! Моим мишкой теперь не поиграть!». Оценивается в какой степени на протяжении 50 секунд ребенок демонстрирует просоциальное поведение пытаясь починить мишку, либо успокаивая, либо предлагая свою игрушку.

Регистрация ЭЭГ осуществлялась с помощью электроэнцефалографа «Нейрон-Спектр-5» (Иваново, «Нейрософт», год выпуска 2016). ЭЭГ регистрировали монополярно от 19 отведений по стандартной схеме 10–20 % (референт – объединенные ушные электроды) в полосе пропускания сигнала 0,5–30,0 Гц при частоте дискретизации 250 Гц.

Запись фоновой ЭЭГ проводили при открытых глазах в условиях устойчивого зрительного внимания (УЗВ) при просмотре видеозаписи вращающегося мяча. Длительность фоновой записи составляла 50 с. Для анализа динамики ЭЭГ при реализации просоциального поведения были использованы четыре экспериментальные ситуации ПП. Видеозапись во время предъявления всех тестов была синхронизирована с записью ЭЭГ в программе Нейрон-Спектр.NET. Длительность записей ЭЭГ в экспериментальных ситуациях зависела от времени, через которое ребенок оказывал помощь.

Обработку данных ЭЭГ проводили с помощью программы WinEEG («Мицар», Россия). Артефакты удаляли с помощью встроенного в программу метода независимых компонент с дополнительным зрительным контролем качества записи. Записи ЭЭГ трех детей содержали большое количество артефактов из-за чрезмерной двигательной активности ребенка и были исключены из дальнейшей статистической обработки.

Полученные безартефактные отрезки ЭЭГ разбивали на эпохи по 2 с. Фрагменты ЭЭГ подвергались быстрому преобразованию Фурье с взаимным перекрытием эпох 50 %.

Показатели когерентности ЭЭГ рассчитывали в индивидуальных, для каждого испытуемого, частотных диапазонах. На основе анализа различий спектров мощности ЭЭГ в отведении С3 в состоянии двигательного покоя ребенка и при выполнении им движений (феномены синхронизации и десинхронизации ЭЭГ) находили границы индивидуального частотного диапазона варианта α -ритма – μ -ритма [25].

В исследуемой группе детей среднее значение нижней границы частотного диапазона μ -ритма составило $7,1 \pm 0,7$ Гц, а верхней границы – $10,5 \pm 0,9$ Гц. Диапазон бета-ритма был выбран 15–25 Гц. В соответствии с литературными данными при

выполнении действий в этом диапазоне частот в сенсомоторных областях наблюдается подавление амплитуды β -колебаний [26].

Межполушарную когерентность биопотенциалов рассчитывали для 6 пар симметричных отведений ($F_{p1}-F_{p2}$, F_7-F_8 , F_3-F_4 , C_3-C_4 , P_3-P_4 , O_1-O_2).

Поскольку ряд отведений находятся в корковых областях, где отсутствуют генераторы сенсомоторного μ -ритма (расположенные, главным образом, в центральном регионе неокортекса), в дальнейшем, описывая когерентность ЭЭГ-осцилляций в соответствующем частотном диапазоне, мы будем употреблять термин «когерентность α -ритма». Значения коэффициентов когерентности для каждой из описанных выше четырех ситуаций и частотных диапазонов θ -, α -, и β -ритмов ЭЭГ преобразовали с применением функции натурального логарифма.

Статистическую обработку данных проводили с использованием программы STATISTICA v.10. Значения когерентности ЭЭГ подвергали дисперсионному анализу ANOVA с повторными измерениями (repeated measures) с внутрисубъектными факторами СИТУАЦИЯ (ситуации ФОН и ИПП, ФОН и ЭПП, ФОН и АПП, ФОН и АЭПП). Для оценки изменений когерентности ЭЭГ в каждом из 6 пар использовали метод линейных контрастов. Статистически значимыми считали различия и корреляции при $p < 0,05$.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Как указано выше (в разделе «МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ») нами анализировалась когерентность ЭЭГ-сигналов, зарегистрированных симметрично от двух полушарий в периоды, когда испытуемым ($n=21$) предлагались четыре задания на реализацию ПП.

Когерентность тета-ритма ЭЭГ, зарегистрированной во время наблюдения за просоциальными действиями по сравнению с исходной ситуацией УЗВ анализировали с учетом влияния фактора СИТУАЦИЯ.

Во время реализации детьми инструментального и эмоционального видов ПП по сравнению с ситуацией УЗВ для МПК ЭЭГ в θ -диапазоне (рис. 1, А, Б) статистически значимого влияния исследуемых фактора СИТУАЦИЯ выявлено не было. Однако, при анализе МПК ЭЭГ в ситуациях АПП и АЭПП обнаружено значимое влияние фактора СИТУАЦИЯ на рост МПК в θ -диапазоне. Для оценки эффектов изменения когерентности в θ -диапазоне в каждой исследуемой паре отведений проведен post-hoc анализ методом контрастов. В результате выявлено статистически значимое увеличение когерентности θ -диапазона в паре $F3-F4$ ($p=0,022$, $p=0,024$ соответственно) (рис. 1, В, Г).

В частотном диапазоне α -ритма ЭЭГ, зарегистрированной во время наблюдения за просоциальными действиями по сравнению с исходной ситуацией УЗВ отмечен ряд особенностей влияния фактора СИТУАЦИЯ.

Во время реализации детьми инструментального и совокупности альтруистического и эмоционального поведения по сравнению с ситуацией УЗВ для когерентности ЭЭГ α -диапазона (рис. 2, А, Г) статистически значимого влияния исследуемых факторов выявлено не было.

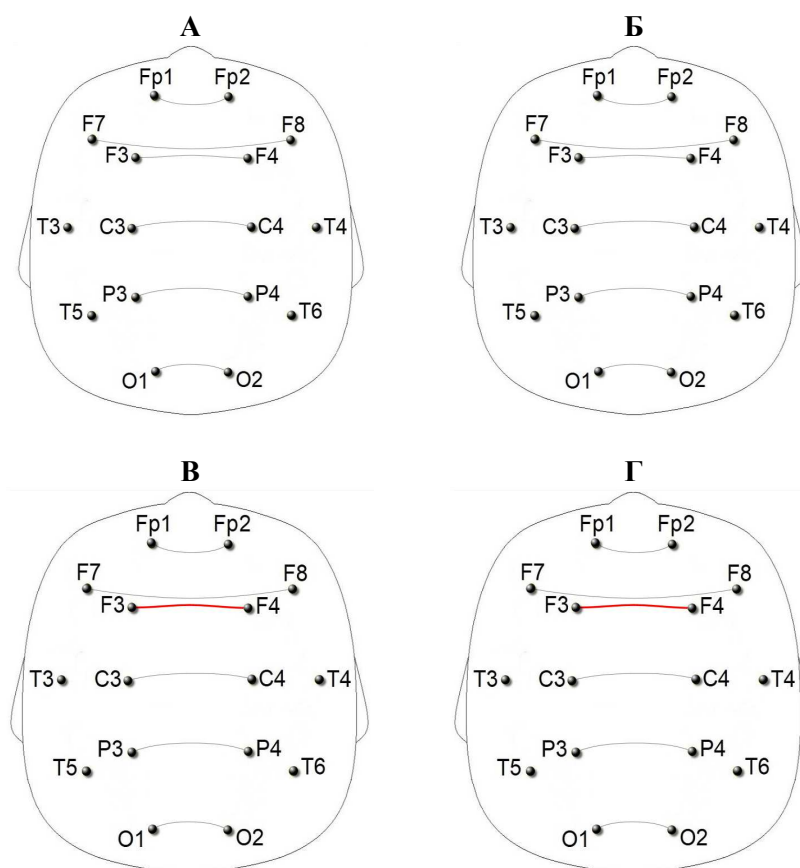


Рис. 1. Карты различий когерентности в θ -диапазоне ЭЭГ при сравнении установочных ситуаций: инструментального – А, эмоционального – Б, альтруистического – В и совокупности альтруистического и эмоционального поведения – Г с исходным состоянием.

Здесь и далее – тонкими линиями отмечены пары отведений, которые включены в анализ. Жирными сплошными линиями соединены пары отведений, для которых увеличение когерентности в установочных ситуациях по сравнению с исходным состоянием являлось значимым ($p < 0,05$).

В ситуации ЭПП обнаружено статистически значимое снижение МПК α -диапазона в паре Fp_1 - Fp_2 ($p=0,028$) (рис. 2, Б). В ситуации АПП обнаружено статистически значимое увеличение МПК α -диапазона в паре F_7 - F_8 ($p = 0,048$) (рис. 2, В).

Анализ МПК ЭЭГ в частотном диапазоне β -ритма ЭЭГ, зарегистрированной во время реализации детьми эмоционального и альтруистического поведения (рис. 3, А, Б, Г) статистически значимого влияния фактора СИТУАЦИЯ не выявил.

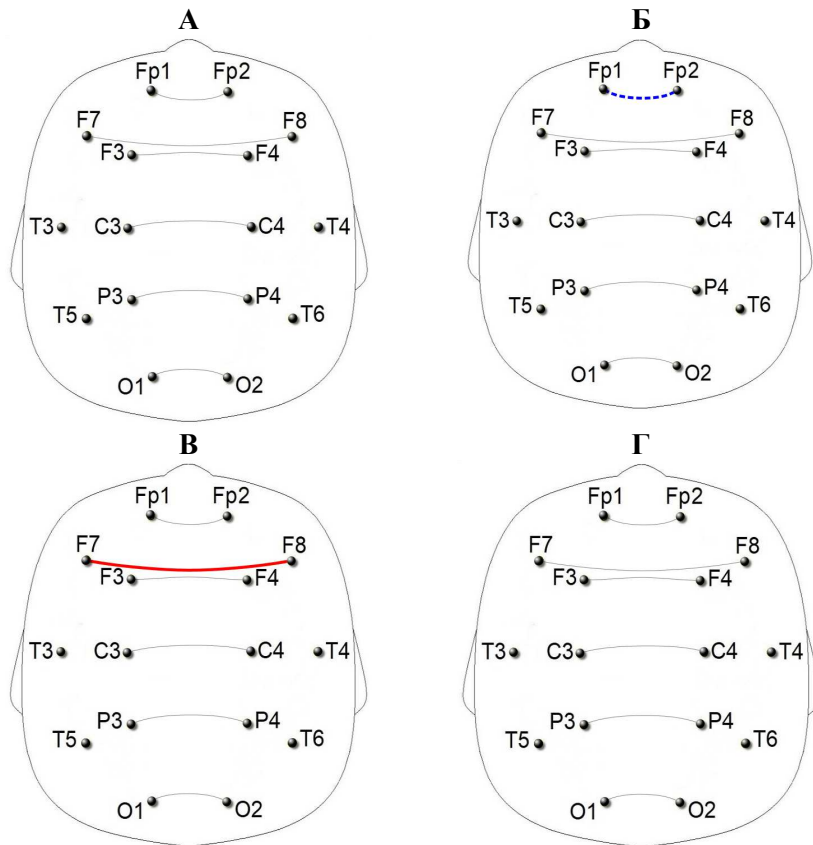


Рис. 2. Карты различий когерентности в α -диапазоне ЭЭГ при сравнении установочных ситуаций: инструментального – А, эмоционального – Б, альтруистического – В и совокупности альтруистического и эмоционального поведения – Г с исходным состоянием. Жирными штриховыми линиями соединены пары отведений, для которых снижение когерентности в установочных ситуациях по сравнению с исходным состоянием являлось значимым ($p < 0,05$). Остальные обозначения как на рис. 1.

При анализе МПК в ситуациях ИПП и АЭПП обнаружено увеличение когерентности β -диапазона в паре F3-F4 ($p = 0,042$ и $p = 0,043$ соответственно) (рис. 3, А, Г).

Таким образом, установлено, что при реализации ПП у участников исследования проявляются специфические для каждого из изученных частотных диапазонов изменения МПК ЭЭГ, которые зависят от направленности предлагаемого ребенку задания.

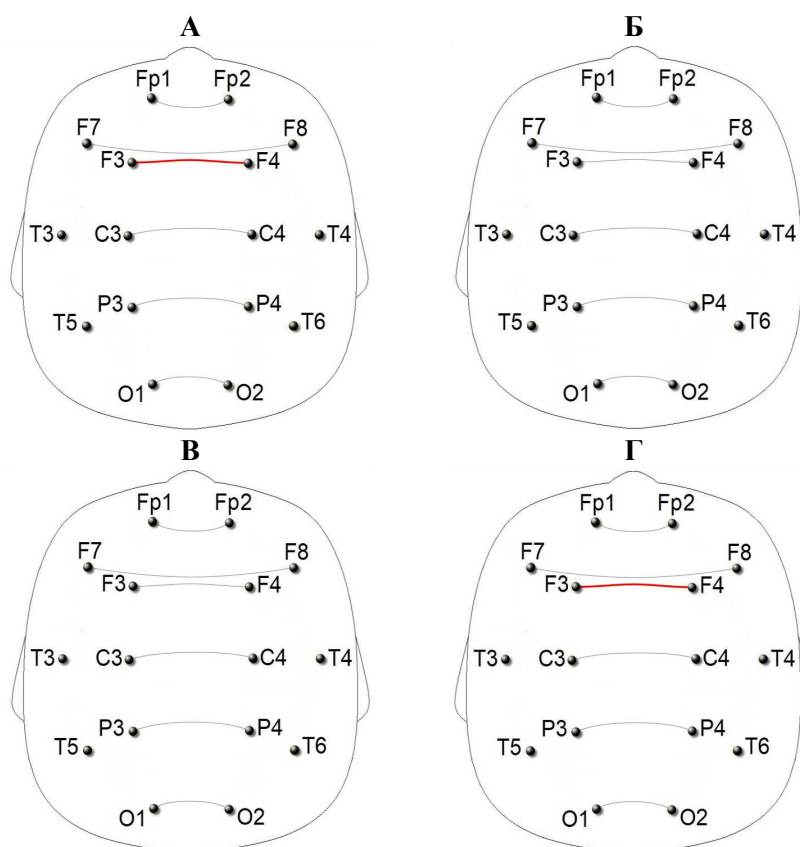


Рис. 3. Карты различий когерентности в сенсомоторном β -диапазоне ЭЭГ при сравнении установочных ситуаций: инструментального эмоционального, альтруистического и совокупности альтруистического и эмоционального поведения с исходным состоянием. Обозначения как на рис. 1.

В контексте анализа наблюдаемых изменений МПК изученных диапазонов ЭЭГ детей следует рассмотреть перестройки комиссуральных путей, происходящие в данном возрасте. Возраст детей, принявших участие в исследовании, был, как указано в разделе «МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ», в пределах от 4 до 7 лет. Основной тенденцией в формировании межполушарного взаимодействия у детей является выступающая на первый план активизация межгиппокампальных комиссуральных систем, которые играют ведущую роль в организации межполушарного обеспечения полисенсорной, межмодальной, эмоционально-мотивационной интеграции. На этом этапе развития начинают функционировать механизмы межполушарного переноса, стабилизируются взаимоотношения двигательных и сенсорных асимметрий между гемисферами, устанавливается ведущая роль левого полушария в моторных функциях [27].

Полагая, что полушарная координация отражается в показателе когерентности ЭЭГ, мы исследовали различия в межполушарной когерентности в четырех уникальных по эмоциональной и когнитивной нагрузке экспериментальных ситуациях.

Как показали результаты настоящего исследования, наблюдаемые изменения межполушарных взаимодействий зависели от типа ситуации, в которой ребенок реализовывал ПП. Анализ изменений МПК позволил выявить увеличение ее уровня во всех анализируемых нами частотных диапазонах, исключая случай снижения МПК в α -диапазоне в паре Fr_1 - Fr_2 . Эти изменения указывают на повышение внутрислошарной интеграции, возможно, необходимой для реализации ПП.

Увеличение МПК в паре F3-F4, наблюдаемое в θ -диапазоне в ситуациях АПП и АЭПП и в β -диапазоне в ситуациях ИПП и АЭПП свидетельствует об особой роли межполушарного взаимодействия фронтальных областей коры при реализации ПП. Известно, что лобные доли являются центрами нейронных сетей, поддерживающих мышление, планирование, исполнительные функции, контроль настроения и двигательную активность [28]. Усиление межполушарных взаимодействий, сопровождающее когнитивные задачи может отражать оптимизацию функциональных систем интеграции мозговой активности, способствующие реализации ПП. ПП в условиях нашей экспериментальной ситуации требует от испытуемых повышения когнитивных усилий, индикатором которых является рост МПК.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Настоящие результаты могут указывать на важность концептуализации межполушарной коммуникации как динамического процесса, а не фиксированной передачи информации. Поведенческие исследования межполушарного взаимодействия уже давно подчеркивают его динамическую природу. Например, исследователи рассматривали мозолистое тело как избирательный фильтр, который может адаптивно контролировать поток информации между полушариями [29].

Наши результаты согласуются с точкой зрения о том, что мозолистое тело представляет собой избирательный фильтр, который участвует в обработке информации способами, на которые влияют эмоциональные составляющие и содержание стимула. Будущие исследования могут изучить взаимосвязь между межполушарным обменом и другими физиологическими коррелятами ПП, чтобы проверить возможность того, что модификация межполушарной коммуникации может оказывать влияние на стратегии ПП в норме и аномальном развитии детей.

Рост МПК в диапазонах θ -, α - и β -ритмов, зафиксированный в экспериментальных ситуациях инструментального альтруистического и эмоционального поведения дает основания полагать, что эти условия могут влиять на усиление связи между полушариями, что является проявлением нейропластичности.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 22-28-00720, <https://rscf.ru/project/22-28-00720/> с использованием оборудования ЦКП

“Экспериментальная физиология и биофизика” и НКЦ “Технологии здоровья и реабилитации”.

Список литературы

1. Li J. The development of intent-based moral judgment and moral behavior in the context of indirect reciprocity: A cross-cultural study / J. Li, W. Hou, L. Zhu, M. Tomasello // *Int. J. Behav. Dev.* – 2020. – Vol. 44, No 6. – P. 525–533.
2. Decety J. The neurodevelopment of social preferences in early childhood / J. Decety, N. Steinbeis, J. M. Cowell // *Curr. Opin. Neurobiol.* – 2021. – Vol. 68. – P. 23–28.
3. Paulus M. Neural correlates of prosocial behavior in infancy: different neurophysiological mechanisms support the emergence of helping and comforting / M. Paulus, N. Kuhn-Popp, M. Licata, B. Sodian, J. Meinhardt // *Neuroimage.* – 2013. – Vol. 66. – P. 522.
4. Orekhova L. S. EEG patterns in early childhood differ between children prone to reward “bad” or “good” Actors / L. S. Orekhova, S. A. Makhin, A. A. Mikhailova, V. B. Pavlenko // *Psychol. Russ.* – 2020. – Vol. 13, No 2. – P. 84.
5. Михайлова А. А. Реактивность сенсомоторных ритмов ЭЭГ при наблюдении за про- и антисоциальными действиями у детей в раннем возрасте / А. А. Михайлова, Л. С. Орехова, С. А. Махин, В. Б. Павленко // *Журн. высш. нервн. деят. им. И. П. Павлова.* – 2022. – Т. 72, № 2. – С. 217–226.
6. Курганский А. В. Оценка управляющих функций у детей 3–6 лет: состояние, проблемы и перспективы / А. В. Курганский // *Журн. высш. нервн. деят. им. И. П. Павлова.* – 2021. – Т. 71, № 4. – С. 468–484.
7. Мачинская Р. И. Сравнительное электрофизиологическое исследование регуляторных компонентов рабочей памяти у взрослых и детей 7–8 лет. Анализ когерентности ритмов ЭЭГ / Р. И. Мачинская, А. В. Курганский // *Физиология человека.* – 2012. – Т. 38, № 1. – С. 5–19.
8. Schneider M. A mechanism for inter-areal coherence through communication based on connectivity and oscillatory power / M. Schneider, A. C. Broggin, B. Dann, A. Tzanou, C. Uran, S. Sheshadri, H. Scherberger, M. Vinck // *Neuron.* – 2021. – Vol. 109, No 24. – P. 4050–4067.
9. Мачинская Р. И. Возрастные изменения функциональной организации корковых звеньев регуляторных систем мозга у подростков. Анализ нейронных сетей покоя в пространстве источников ЭЭГ / Р. И. Мачинская, А. В. Курганский, Д. И. Ломакин // *Физиология человека.* – 2019. – Т. 45, № 5. – С. 5–19.
10. Лушекина Е. А. Исследование когерентности ЭЭГ у детей с расстройствами аутистического спектра: неоднородность группы / Лушекина Е. А., Лушекин В. С., Стрелец В. Б. // *Физиология человека.* – 2021. – Т. 47, № 5. – С. 17–27.
11. Rubinov M. Complex network measures of brain connectivity: uses and interpretations / M. Rubinov, O. Sporns // *NeuroImage.* – 2010. – Vol. 52, No 3. – P. 1059–1069.
12. Jin X. Functional integration between the two brain hemispheres: evidence from the homotopic functional connectivity under resting state / X. Jin, X. Liang, G. Gong // *Front Neurosci.* – 2020. – Vol. 14. – 9 p.
13. Basharpour S. EEG coherence in theta, alpha, and beta bands in frontal regions and executive functions / S. Basharpour, F. Heidari, P. Molavi // *Appl. Neuropsychol. Adult.* – 2021. – Vol. 28, No 3. – P. 310–317.
14. Christman S. D. Mixed-handedness advantages in episodic memory obtained under conditions of intentional learning extend to incidental learning / Christman S. D., Butler M. // *Brain and Cognition.* – 2011. – Vol. 77, No 1. – P. 17–22.
15. Garcia A. EEG and autonomic responses during performance of matching and non-matching to sample working memory tasks with emotional content / A. Garcia, C. E. Uribe, M. C. Tavares, C. Tomaz // *Frontiers in Behavioral Neuroscience.* – 2011. – Vol. 5. – 9 p.
16. Saunders A. Hemispheric coherence in ASD with and without comorbid ADHD and anxiety / A. Saunders, I. J. Kirk, K. E. Waldie // *Biomed Res Int.* – 2016. – Vol. 2016. – 12 p.
17. Кичигина В. Ф. Нарушения тета- и гамма-осцилляций в мозге с патологиями, характерными для болезни Альцгеймера и височной эпилепсии / В. Ф. Кичигина // *Журнал высшей нервной деятельности им. И. П. Павлова.* – 2019. – Т. 69, № 4. – С. 33–60.

18. Ильина М. Н. Психологическая оценка интеллекта у детей / М. Н. Ильина. – П.: Питер, 2006. – 368 с.
19. Филимошенко Ю. И. Тест Д. Векслера. Диагностика структуры интеллекта (детский вариант): методическое руководство / Филимошенко Ю. И. . СПб. : ИМАТОН, 2016. – 106 с.
20. Warneken F. Altruistic helping in human infants and young chimpanzees / F. Warneken, M. Tomasello // Science. – 2006. Vol. 311. No 5765. – P. 1301–1303.
21. Kochukhova O. Better language – faster helper: the relation between spontaneous instrumental helping action and language ability in family-reared and institutionalized toddlers / O. Kochukhova, Yu. Dyagileva, A. Mikhailova, L. Orekhova, S. Makhin, V. Pavlenko // Psychol. Russia: State of the Art. – 2021. – Vol. 14, No 4. – P. 79–94.
22. Dunfield K. A. Examining the diversity of prosocial behaviour: helping, sharing, and comforting in infancy / K. A. Dunfield, V. A. Kuhlmeier, L. J. O’Connell, E. A. Kelley // Infancy. – 2011. – Vol. 16. – P. 227–247.
23. Bischof-Köhler D. The development of empathy in infants. In M. E. Lamb & H. Keller (Eds.), *Infant development: Perspectives from German-speaking countries* / D. Bischof-Köhler // Lawrence Erlbaum Associates, Inc., 1991. – P. 245–273.
24. Kärtner J. Socio-cognitive influences on the domain-specificity of prosocial behavior in the second year / J. Kärtner, N. Schuhmacher, J. Collard // *Infant Behavior & Development*. – 2014. – Vol. 37. – P. 665–675.
25. Михайлова А. А. Реактивность мю-ритма ЭЭГ при наблюдении и выполнении действий у детей раннего возраста, имеющих разный уровень развития рецептивной речи / А. А. Михайлова, Л. С. Орехова, Ю. О. Дягилева, Т. И. Мухтаримова, В. Б. Павленко // Журн. высш. нервн. деят. им. И. П. Павлова. – 2020. – Т. 70, № 3. – С. 422–432.
26. Simon S. Power modulation of electroencephalogram mu and beta frequency depends on perceived level of observed actions / S. Simon, R. Mukamel // *Brain Behav.* – 2016. – Vol. 6, № 8. – 11 p.
27. Александров С. Г. Функциональная асимметрия и межполушарные взаимодействия головного мозга : учебное пособие для студентов / С. Г. Александров. – Иркутск : ИГМУ, 2014. – 62 с.
28. Alvarez J. A. Executive function and the frontal lobes: a meta-analytic review / J. A. Alvarez, E. Emory // *Neuropsychology Review*. – 2006. – Vol. 16, No 1. – P. 17–42.
29. Mikels J. A. Neural gate keeping: the role of interhemispheric interactions in resource allocation and selective filtering / J. A. Mikels, P. A. Reuter-Lorenz // *Neuropsychology*. – 2004. – Vol. 18, No 2. – P. 328–339.

CHANGES IN INTERHEMISPHERIC COHERENT RELATIONSHIPS OF EEG RHYTHMS DURING THE IMPLEMENTATION OF HELPING BEHAVIOR IN PRESCHOOL CHILDREN

Kulichenko A. M., Kaida A. I., Portugal'skaya A. A., Mikhailova A. A., Pavlenko V. B.

*V. I. Vernadsky Crimean Federal University, Simferopol, Republic of Crimea, Russia
E-mail: alexander.kulichenko@gmail.com*

The aim of this study was to establish the dynamics of interhemispheric coherence (IPC) in the θ -, α -, and sensorimotor β -frequency ranges of the electroencephalogram (EEG) in symmetrical cortical zones in young children during the implementation of instrumental, emotional, and altruistic helping behavior (HB). The study involved 24 children (16 boys and 8 girls) aged 4–7 years. The average age of the studied children was 70.8 ± 14.0 months. The sample included children with a general intelligence level above 80 points (reduced norm). In the study group of children, the average value on the Wechsler test scale "general intelligence" was 112.0 ± 16.2 points (with extreme values from 85 to 145 points). EEG coherence indices were calculated in individual frequency

ranges for each subject. Interhemispheric coherence of biopotentials was calculated for symmetrical leads (Fp₁–Fp₂, F₇–F₈, F₃–F₄, C₃–C₄, P₃–P₄, O₁–O₂). Strengthening of interhemispheric interactions that accompanies cognitive tasks may reflect the optimization of functional systems for the integration of brain activity, which contribute to the implementation of SP. HB in our experimental situation, requires the subjects to increase their cognitive efforts, the indicator of which is the growth of the interhemispheric EEG coherence (IHC).

Our results are consistent with the view that the *corpus callosum* is a selective filter that is involved in information processing in ways that are influenced by emotional components and stimulus content. Future studies may explore the relationship between interhemispheric turnover and other physiological correlates of HB to test the possibility that modification of interhemispheric communication may have an impact on HB strategies in normal and abnormal development of children. The growth of the IHC in the ranges of θ -, α - and β -rhythms, recorded in experimental situations of instrumental altruistic and emotional behavior, suggests that these conditions can affect the strengthening of the connection between the hemispheres, which is a manifestation of neuroplasticity. The revealed features of the dynamics of IHC in the θ -, α -, and sensorimotor β -ranges of the EEG are important for understanding the central mechanisms of the formation of moral judgments in young children.

Keywords: young children, moral assessments, inter-hemispheric coherence.

References

1. Li J., Hou W., Zhu L. and Tomasello M. The development of intent-based moral judgment and moral behavior in the context of indirect reciprocity: A cross-cultural study. *Int. J. Behavior Dev.*, **44**, 525 (2020).
2. Decety J., Steinbeis N. and Cowell J. M. The neurodevelopment of social preferences in early childhood. *Curr. Opin. Neurobiol.*, **68**, 23 (2021).
3. Paulus M., Kuhn-Popp N., Licata M., Sodian B. and Meinhardt J. Neural correlates of prosocial behavior in infancy: different neurophysiological mechanisms support the emergence of helping and comforting. *Neuroimage*, **66**, 522 (2013).
4. Orekhova L. S., Makhin S. A., Mikhailova A. A. and Pavlenko V. B. EEG patterns in early childhood differ between children prone to reward “bad” or “good” actors. *Psychol. Russ.* **13**, 84 (2020).
5. Mikhailova A. A., Orekhova L. S., Makhin S. A. and Pavlenko V. B. Reactivity of EEG sensorimotor rhythms during observation of pro- and antisocial actions in children at an early age. *Zh. Vyssh. Nerv. Deyat.* **72**, 217 (2022).
6. Kurgansky A. V. Assessment of executive functions in children 3–6 years old: current state, problems and future directions. *Neurosci. Behav. Physiol.*, **71**, 468 (2021).
7. Machinskaya R. I. and Kurgansky A. V. A comparative electrophysiological study of regulatory components of working memory in adults and children of 7-8 years old. An analysis of coherence of EEG rhythms. *Fiziologiya Cheloveka*, **38**, 5 (2012).
8. Schneider M., Brogini A. C., Dann B., Tzanou A., Uran C., Sheshadri S., Scherberger H. and Vinck M. A mechanism for inter-areal coherence through communication based on connectivity and oscillatory power. *Neuron*, **109**, 4050 (2021).
9. Machinskaya R. I., Kurgansky A. V. and Lomakin D. I. Age-Related Trends in the Functional Organization of Cortical Parts of Regulatory Brain Systems in Adolescents: Analysis of Resting State Networks in the EEG Source Space. *Fiziologiya Cheloveka*, **45**, 5 (2019).
10. Lushchekina E. A., Lushchekin V. S. and Strelets V. B. EEG Spectral Power in Children with Autistic Spectrum Disorders: Heterogeneity of the Group. *Human Physiology*, **45**, 242 (2019).

11. Rubinov M., and Sporns O. Complex network measures of brain connectivity: uses and interpretations. *NeuroImage*, **52**, 1059 (2010).
12. Jin X., Liang X. and Gong G. Functional integration between the two brain hemispheres: evidence from the homotopic functional connectivity under resting state, *Front Neurosci.*, e-print doi: 10.3389/fnins.2020.00932 (2020).
13. Basharpour S., Heidari F. and Molavi P. EEG coherence in theta, alpha, and beta bands in frontal regions and executive functions. *Appl. Neuropsychol. Adult*, **28**, 310 (2021).
14. Christman S. D. and Butler M. Mixed-handedness advantages in episodic memory obtained under conditions of intentional learning extend to incidental learning. *Brain and Cognition*, **77**, 17 (2011).
15. Garcia A., Uribe C. E., Tavares M. C. and Tomaz C. EEG and autonomic responses during performance of matching and non-matching to sample working memory tasks with emotional content. *Front. Behav. Neurosci.*, e-print doi: 10.3389/fnbeh.2011.00082 (2011).
16. Saunders A., Kirk I. J. and Waldie K. E. Hemispheric coherence in ASD with and without comorbid ADHD and anxiety. *Biomed. Res. Int.* e-print doi: 10.1155/2016/4267842 (2016).
17. Kitchigina V. F. Alterations of coherent theta and gamma network oscillations as an early biomarker of temporal lobe epilepsy and Alzheimer's disease. *Zh. Vyssh. Nerv. Deyat.*, **69**, 33 (2019).
18. Il'ina M. N. *Psichologicheskaya ocenka intellekta u detej* (Piter, 2006).
19. Filimonenko Yu. I. Test D. Vekslera. *Diagnostika struktury intellekta (detskij variant): metodicheskoe rukovodstvo* (Imaton, 2016).
20. Warneken F., Tomasello M. Altruistic helping in human infants and young chimpanzees. *Science*, **311**, 1301 (2006).
21. Kochukhova O., Dyagileva Yu., Mikhailova A., Orekhova L., Makhin S. and Pavlenko V. Better language – faster helper: the relation between spontaneous instrumental helping action and language ability in family-reared and institutionalized toddlers. *Psychol. Russia: State of the Art*, **14**, 79 (2021).
22. Dunfield K. A., Kuhlmeier V. A., O'Connell L. J., Kelley E. A. Examining the diversity of prosocial behaviour: helping, sharing, and comforting in infancy. *Infancy*, **16**, 227 (2011).
23. Bischof-Köhler D. The development of empathy in infants. In M. E. Lamb & H. Keller (Eds.), *Infant development. Perspectives from German-speaking countries* (Lawrence Erlbaum Associates Inc, 1991).
24. Kärtner J., Schuhmacher N. and Collard J. Socio-cognitive influences on the domain-specificity of prosocial behavior in the second year. *Infant Behavior & Development*, **37**, 665 (2014).
25. Mikhailova A. A., Orekhova L. S., Dyagileva Yu. O., Mukhtarimova T. I. and Pavlenko V. B. Reactivity of the EEG μ rhythm on observing and performing actions in young children with different levels of receptive speech development. *Zh. Vyssh. Nerv. Deyat.*, **72**, 217 (2020).
26. Simon S. and Mukamel R. Power modulation of electroencephalogram mu and beta frequency depends on perceived level of observed actions. *Brain Behav.* e-print doi: 10.1002/brb3.494 (2016).
27. Aleksandrov S. G. *Funkcional'naya asimetriya i mezhpolusharnye vzaimodejstviya golovnogo mozga : uchebnoe posobie dlya studentov.* (IGMU, 2014).
28. Alvarez J. A. and Emory E. Executive function and the frontal lobes: a meta-analytic review. *Neuropsychology Review*, **16**, 17 (2006).
29. Míkels J. A. and Reuter-Lorenz P. A. Neural gate keeping: the role of interhemispheric interactions in resource allocation and selective filtering, *Neuropsychology*, **18**, 328 (2004).

УДК 615.1:582.738

**ВЛИЯНИЕ ЭКСТРАКТА *ASTRAGALUS PHYSODES* L. НА
ИНТЕНСИВНОСТЬ ОКИСЛИТЕЛЬНО-ВОССТАНОВИТЕЛЬНЫХ
ПРОЦЕССОВ В ГИПОТАЛАМИЧЕСКОЙ ОБЛАСТИ БЕЛЫХ КРЫС НА
МОДЕЛИ «СОЦИАЛЬНОГО» СТРЕССА**

*Мурталиева В. Х., Сергалиева М. У., Цибизова А. А., Башкина О. А.,
Самотруева М. А.*

*ФГБОУ ВО «Астраханский государственный медицинский университет» Минздрава
России, Астрахань, Россия
E-mail: charlina_astr@mail.ru*

В статье представлены результаты по изучению воздействия экстракта Астрагала вздутого (*Astragalus physodes* L.) на интенсивность окислительно-восстановительных процессов в гипоталамической области белых крыс в условиях «социального» стресса. Эксперименты выполнены на нелинейных крысах-самцах 6–8-месячного возраста, которые были разделены на группы: 1) контрольная группа образована интактными крысами; 2) стрессированные животные (жертвы/агрессоры); 3) стрессированные особи, которым внутривенно вводили экстракт Астрагала вздутого (50 мг/кг/сут) в течение 14 дней (жертвы/агрессоры), начиная с 21 дня эксперимента. «Социальный» стресс воспроизводился путем помещения животных попарно в клетку с прозрачной перегородкой, в результате чего крысы были разделены на агрессоров и жертв. Установлено, что экстракт Астрагала вздутого (*Astragalus physodes* L.) оказывает влияние на интенсивность окислительно-восстановительных процессов липидов и белков в гипоталамической области головного мозга крыс-самцов в условиях «социального» стресса, проявляя выраженную антиоксидантную активность.

Ключевые слова: «социальный» стресс, экстракт *Astragalus physodes* L., перекисное окисление липидов, перекисное окисление белков, антиоксидантная активность.

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время изучение влияния стрессовых факторов на состояние функциональных систем является актуальной проблемой. Исследованиями последних лет установлено, что наиболее уязвимой является антиоксидантная система [1, 2]. Известно, что сбалансированность прооксидантных и антиоксидантных процессов обеспечивает постоянство внутренней среды организма, поддерживая тем самым оптимальные условия для развития нормальных физиологических и биохимических процессов [3–5]. В свою очередь, нарушение баланса, его замедление или ускорение, является основой молекулярного механизма структурного повреждения биологических тканей, и выступает в качестве ведущего звена патогенеза различных патологических состояний организма, требующих их своевременной коррекции лекарственными препаратами [6–9].

На сегодняшний день в качестве источников эффективных корректоров стрессопосредованных нарушений активно изучаются препараты растительного происхождения. Особое внимание привлекают фитопрепараты, полученные на основе растений рода Астрагал (*Astragalus*), обладающие разносторонней фармакологической активностью [10, 11]. Перспективным представителем данного рода является Астрагал вздутый (*Astragalus physodes* L.), произрастающий в Астраханской области. Проведенные исследования выявили наличие в надземной части *Astragalus physodes* биологически активных веществ, основными из которых являются флавоноиды (1,2 %), органические (7,6 %) и гидроксикоричные (0,57 %) кислоты, которые обеспечивают антидепрессивную, антистрессорную, иммунокорректирующую и другие виды активности [10].

Цель исследования: изучение влияния экстракта травы *Astragalus physodes* L. на интенсивность процессов перекисного окисления липидов и белков в гипоталамической области головного мозга белых крыс на модели «социального» стресса.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Исследование проводили на белых нелинейных крысах-самцах 6–8-месячного возраста. Все манипуляции производили, опираясь на основные положения Европейской конвенции о защите позвоночных животных, используемых в экспериментах и в других научных целях и заключение локального этического комитета Астраханского государственного медицинского университета (протокол № 6 от 27 ноября 2018 г.).

Модель «социального» стресса (сенсорный контакт), воспроизводили путем помещения животных попарно в клетку с прозрачной перегородкой, в результате чего крысы были разделены на агрессоров и жертв. Перегородку каждый день убирали и наблюдали за межсамцовыми конфронтациями в течение 10 минут и оценивали поведение животных: активное и пассивное сопротивление агрессору, позы выжидания, груминг, рыхление носом подстилки.

Эксперименты проводили в течение 20 дней, так как это наименьший срок в течение которого формируются стойкие психоэмоциональные изменения, после чего все животные были разделены на несколько групп (n=10): 1) контрольная группа образована интактными крысами; 2) стрессированные животные (жертвы/агрессоры); 3) стрессированные особи, которым внутривенно вводили экстракт Астрагала вздутого (50 мг/кг/сут) в течение 14 дней (жертвы/агрессоры), начиная с 21 дня эксперимента. Так как действие растительных экстрактов развивается после кумуляции и к концу второй недели развивается стойкий фармакологический эффект был выбран 14-дневный курс введения. Доза экстракта 50 мг/кг/сут выбрана после проведенного исследования зависимости ожидаемого эффекта от дозы; данная доза выбрана как наименьшая эффективная. В 14 дневный период стрессирование прекращалось во всех группах животных.

Для подтверждения наличия психотропных свойств у экстракта травы Астрагала вздутого, была сформирована группа животных, получавших изучаемый экстракт в «фоновых» условиях. При изучении влияния экстракта травы Астрагала

вздутого на поведение животных в тестах «Открытое поле», «Порсолт» и «Приподнятый крестообразный лабиринт» выраженных изменений выявлено не было, что свидетельствует об отсутствии влияния изучаемого фитосредства на психоэмоциональное состояние организма в условиях отсутствия стрессирующего воздействия.

Экстракт Астрагала вздутого получен в соотношении 1:1 путем настаивания наводяной бане травы с водно-спиртовым раствором 60 % концентрации с последующим отгоном экстрагента с использованием роторного испарителя Nei-VAPValueG3 (Германия). Оценку процессов перекисного окисления липидов (ПОЛ) осуществляли путем спектрофотометрического измерения в гомогенате ткани гипоталамической области уровня малонового диальдегида (МДА), скоростей спонтанного и индуцированного аскорбатом и ионами железа ПОЛ при длине волны 532 нм. Метод основан на определении МДА, образующего розовый триметиновый комплекс при взаимодействии с 2-тиобарбитуровой кислотой [12].

При определении степени перекисного окисления белков (ПОБ) в ткани гипоталамической области применяли модифицированную методику, основанной на реакции взаимодействия окисленных аминокислотных остатков белков с 2,4-динитрофенилгидразоном (2-ДФГ), продукты взаимодействия которых определяли в белковом осадке в растворе мочевины. При $\lambda=270$ нм регистрировали первичные продукты – альдегидфенилгидразоны (АФГ); при $\lambda=363$ нм и 370 нм – кетонфенилгидразоны (КФГ) [13].

О состоянии антиоксидантной защиты организма судили по активности ключевого фермента – каталазы, определение которой проводили спектрофотометрическим методом ($\lambda=410$ нм), основанным на способности перекиси водорода образовывать с солями молибдена стойкий окрашенный комплекс [14]. Все измерения регистрировали на спектрофотометре ПЭ-5400В (Россия).

Статистическую обработку данных осуществляли при помощи пакета программы «Statistica 6.0» с учетом критерия Манна-Уитни. Различия между группами признавались статистически значимыми при $p < 0,05$.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Результаты изучения воздействия Астрагала вздутого на интенсивность процессов ПОЛ в гипоталамической области головного мозга крыс в условиях «социального» стресса представлены на рисунке 1.

Моделирование «социального» стресса привело к увеличению продуктов перекисного окисления в гипоталамической области головного мозга крыс в сравнении с контролем, а именно повышению уровня МДА более чем на 40 % ($p < 0,05$) в группе животных-агрессоров и на 50 % ($p < 0,01$) в группе животных-жертв; скорость спонтанного ПОЛ у агрессоров увеличилась более чем в 2 раза ($p < 0,01$), у жертв – в 1,5 раз ($p < 0,05$), скорость аскорбатзависимого на 40 % ($p < 0,01$) и 30 % ($p < 0,05$) соответственно по отношению к контрольной группе животных.

Применение экстракта Астрагала вздутого в условиях «социального» стресса привело к снижению в гомогенате ткани гипоталамуса МДА, скорости спонтанного

и аскорбатзависимого ПОЛ, а также активности каталазы. Содержание МДА снижалось у агрессоров почти на 20 % ($p>0,05$) и у жертв – на 25 % ($p<0,05$), скорость спонтанного ПОЛ на 35 % ($p<0,01$) и более чем на 20 % ($p>0,05$), скорость аскорбатзависимого ПОЛ почти на 30 % ($p<0,05$) у агрессоров и жертв в сравнении с группой «социальный» стресс. Активность каталазы под воздействием экстракта Астралага вздутого снизилась в среднем на 20 % ($p>0,05$) по сравнению с группой животных, подверженных стрессу

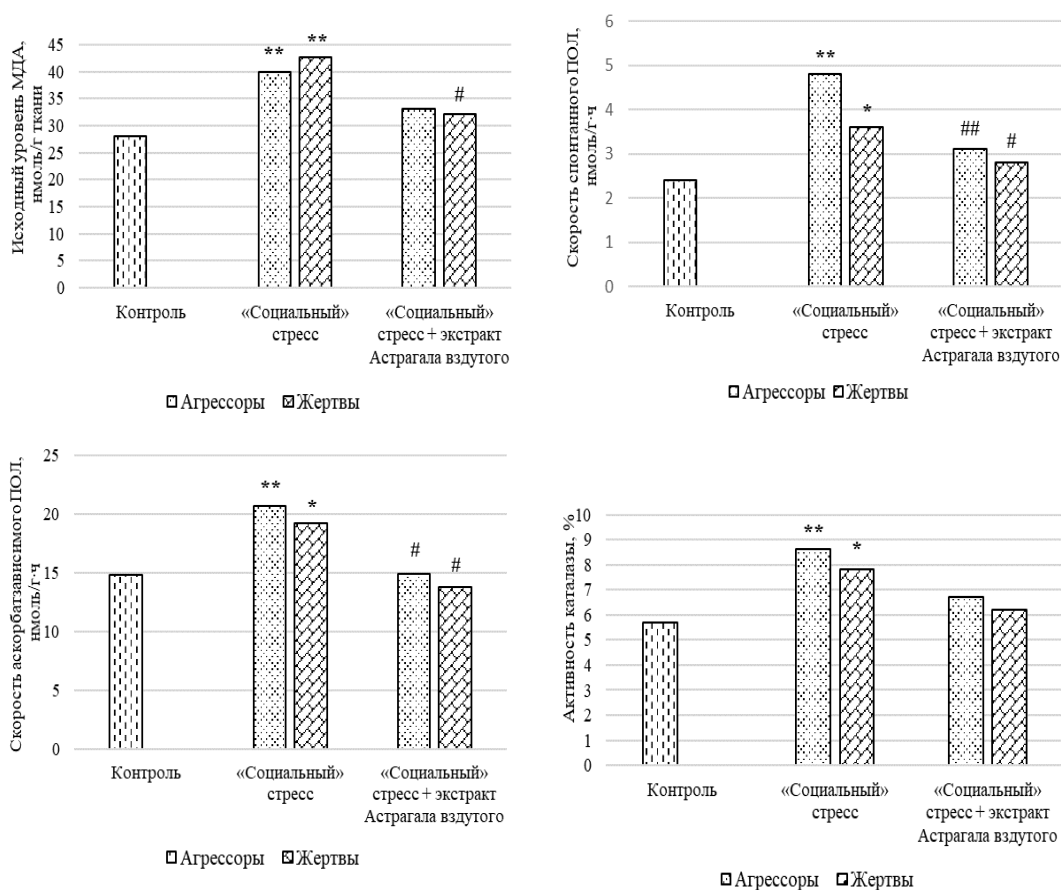


Рис. 1. Влияние экстракта Астралага вздутого на показатели ПОЛ и уровень активности каталазы в гипоталамической области головного мозга крыс в условиях «социального» стресса

Примечание: * – $p<0,05$; ** – $p<0,01$ – относительно контроля; # – $p<0,05$; ## – $p<0,01$ – относительно стресса.

Наряду с усилением выраженности процессов пероксидации на фоне «социального» стресса наблюдается увеличение активности каталазы в гипоталамической области на 50 % ($p<0,01$) у животных – агрессоров и на 40 %

($p < 0,05$) у животных – жертв, что, вероятно, свидетельствует о вовлечении данной зоны мозга в реализацию стресс-реакции.

Результаты изучения воздействия Астралага вздутого на интенсивность процессов ПОБ в гипоталамической области головного мозга крыс в условиях «социального» стресса представлены на рисунке 2.

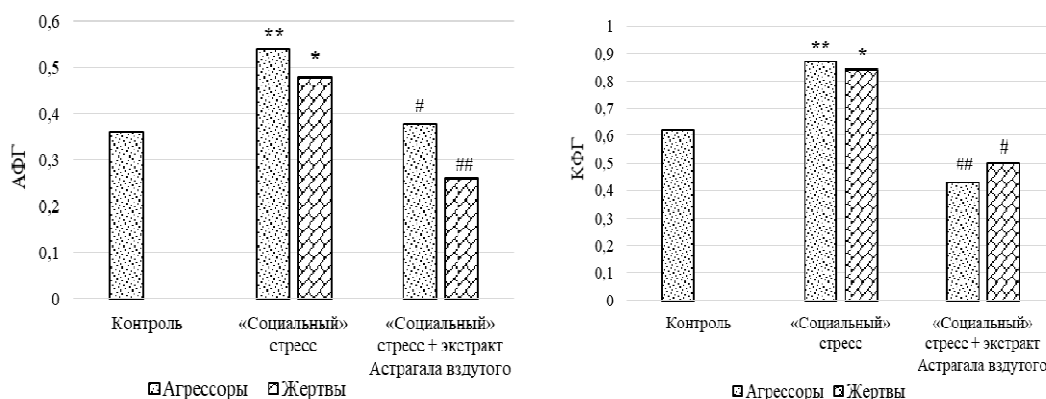


Рис. 2. Влияние экстракта Астралага вздутого на показатели ПОБ в гипоталамической области головного мозга крыс-самцов в условиях «социального» стресса

Примечание: * – $p < 0,05$; ** – $p < 0,01$ – относительно контроля; # – $p < 0,05$; ## – $p < 0,01$ – относительно стресса.

Было выявлено, что «социальный» стресс вызывает выраженные изменения показателей перекисного окисления белков в ткани гипоталамуса, а именно увеличение АФГ – на 50 % ($p < 0,01$) у агрессоров и более чем на 30 % ($p < 0,05$) у жертв, КФГ – на 40 % ($p < 0,01$) и 35 % ($p < 0,05$) по отношению к контрольным особям.

Под действием экстракта Астралага вздутого на фоне «социального» стресса наблюдалось снижение показателей окислительной модификации белков: АФГ – на 30 % ($p < 0,05$) у агрессоров и 45 % ($p < 0,01$) у жертв, КФГ – на 50 % и 40 % ($p < 0,01$ и $p < 0,05$ соответственно) по сравнению со стрессированными крысами.

Установлено, что агрессия и субмиссия, сформированная в результате «социальных» конфронтаций, приводила к усилению с разной степенью выраженности процессов перекисидации, что указывает на негативное влияние «социального» стресса на указанную область мозга. Полученные результаты подтверждаются исследованиями, доказывающими что перекисное окисление липидов в тканях изменяется в зависимости от фазы развития эмоционального стресса и коррелирует с изменением поведения животных. Высокая реактивность нервно-эндокринной системы при стрессовом воздействии приводит к усилению процессов свободнорадикального окисления, в том числе и в гипоталамусе. Установлено, что активация процессов перекисного окисления является одним из ранних факторов нарушения физиологических функций при стрессе, а именно

социальном [15]. Введение экстракта Астрагала вздутого на фоне социального стресса способствовало статистически значимому снижению показателей окислительной модификации липидов и белков.

Результаты, полученные в ходе данного исследования, подтверждаются результатами изучения антиоксидантной активности на моделях различных патологических состояний других представителей рода Астрагал. Так, экстракт корней *Astragalus mongolicus* показал высокую степень ингибирования супероксидных и гидроксильных радикалов в эксперименте на изолированном сердце крыс [16]. Экстракт *Astragalus complanatus* на модели токсического поражения печени активно снижал содержание МДА. Экстракт семян *Astragalus chinensis* L. в эксперименте на модели оксидативного стресса показал антиоксидантную активность сопоставимую с витамином С. Водно-спиртовое извлечение корней и стеблей *Astragalus gombiformis* продемонстрировал активное поглощение активных форм кислорода в эксперименте на клетках линии HaCaT [15]. Введение водного настоя травы *Astragalus galactatis* способствовало снижению активности оксидазных ферментов в плазме животных с индуцированной перекисидацией липидов динитрофенолом [17]. В исследовании установлена антиоксидантная активность экстрактов подземной и надземной части *Astragalus membranaceus*, проявляющаяся снижением окислительных показателей в модельной системе желточных липопротеинов [18].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, результаты изучения влияния экстракта Астрагала вздутого (*Astragalus physodes* L.) на показатели перекисного окисления липидов и белков в гипоталамической области головного мозга крыс-самцов в условиях «социального» стресса показали выраженную антиоксидантную активность, что свидетельствует о возможном применении экстракта данного растения в качестве корректора изменений окислительно-восстановительных процессов.

Список литературы

1. Суркова Д. Р. Стресс и его влияние на здоровье человека / Д. Р. Суркова, М. Н. Пискайкина // Известия Института систем управления СГЭУ. – 2018. – № 1. – С. 34–36.
2. Петрова Л. Ю. Определение понятия стресса и его воздействие на организм человека / Л. Ю. Петрова, М. А. Петров, А. В. Зайцева // Актуальные проблемы, современные тенденции развития физической культуры и спорта с учетом реализации национальных проектов. – 2020. – С. 571–576.
3. Shim S. Y. Oxidative stress and the antioxidant enzyme system in the developing brain / S. Y. Shim, H. S. Kim // Korean journal of pediatrics. – 2013. – Vol. 56, No. 3. – P. 107. doi: 10.3345/kjp.2013.56.3.107.
4. Yaribeygi H. The impact of stress on body function: A review / H. Yaribeygi, Y. Panahi, H. Sahraei [et al.] // EXCLI J. – 2017. – Vol. 16. – P. 1057–1072. doi: 10.17179/excli2017-480.
5. Peña-Bautista C. Lipid peroxidation in neurodegeneration / C. Peña-Bautista, M. Vento, M. Baquero [et al.] // Clinica Chimica Acta. – 2019. – Vol. 497. – P. 178–188. doi: 10.1016/j.cca.2019.07.037.
6. Sadžak A. The structural integrity of the model lipid membrane during induced lipid peroxidation: The role of flavonols in the inhibition of lipid peroxidation / A. Sadžak, J. Mravljak, N. Maltar-Strmečki [et al.] // Antioxidants. – 2020. – Vol. 9, No. 5. – P. 430. doi:10.3390/antiox9050430

7. Barrera G. Lipid peroxidation-derived aldehydes, 4-hydroxynonenal and malondialdehyde in aging-related disorders / G. Barrera, S. Pizzimenti, M. Daga [et al.] // *Antioxidants*. – 2018. – Vol. 7, No. 8. – P. 102. doi: 10.3390/antiox7080102.
8. Peña-Bautista C. Lipid peroxidation biomarkers correlation with medial temporal atrophy in early Alzheimer Disease / C. Peña-Bautista, R. López-Cuevas, A. Cuevas [et al.] // *Neurochemistry international*. – 2019. – Vol. 129. – P. 104519. doi: 10.1016/j.neuint.2019.104519.
9. Lee J. Y. Antioxidant Effect via Bioconversion of Isoflavonoid in *Astragalus membranaceus* Fermented by *Lactiplantibacillus plantarum* MG5276 In Vitro and In Vivo / J. Y. Lee, H. M. Park, C. H. Kang // *Fermentation*. – 2022. – Vol. 8, No.1. – P. 34. doi: 10.3390/fermentation8010034
10. Сергалиева М. У. Растения рода Астрагал: перспективы применения в фармации / М. У. Сергалиева, М. В. Мажитова, М. А. Самогруева // *Астраханский медицинский журнал*. – 2015. – Т. 10, № 2. – С. 17–31.
11. Kondeva-Burdina M. In vitro/in vivo antioxidant and hepatoprotective potential of defatted extract and flavonoids isolated from *Astragalus spruneri* Boiss. (Fabaceae) / M. Kondeva-Burdina, A. Shkondrov, R. Simeonova [et al.] // *Food Chem Toxicol*. – 2018. – Vol. 111. – P. 631–640. doi: 10.1016/j.fct.2017.12.020doi: 10.1016/j.fct.2017.12.020.
12. Богачева Е. В. Определение концентрации малонового диальдегида в сыворотке крыс, облученных электромагнитным полем метрового диапазона / Е. В. Богачева, В. В. Алабовский, С. Ю. Перов // *Известия Саратовского университета. Новая серия. Серия Химия. Биология. Экология*. – 2016. – № 1. – С. 70–74.
13. Хужахметова Л. К. Особенности окислительной модификации белков при стрессогенном воздействии и фармакологической коррекции у половозрелых и старых крыс / Л. К. Хужахметова, Д. Л. Тёплый // *Естественные науки*. – 2015. – Т. 3, № 52. – С. 84–89.
14. Королюк М. А. Метод определения активности каталазы / М. А. Королюк, Л. И. Иванова, И. Г. Майрова [и др.] // *Лабораторное дело*. – 1988. – № 1. – С. 16–19.
15. Месова А. М. Иммунологическая реактивность, перекисное окисление липидов и антиоксидантная активность при стрессе (литературный обзор) / Месова А. М. // *Вестник Казахского Национального медицинского университета*. – 2016. – № 2. – С. 110–115.
16. Березуцкий М. А. Фармакологические свойства препаратов, созданных на основе экстракта астрагала (обзор) / М. А. Березуцкий, Л. Р. Якубова, Н. А. Дурнова [и др.] // *Химико-фармацевтический журнал*. – 2020. – Т. 54, № 4. – С. 20–25. – doi:10.30906/0023-1134-2020-54-4-20-25.
17. Наранцэцэг Ж. Антиоксидантный эффект водного настоя астрагала молочно-белого / Ж. Наранцэцэг, Х. Солонго, М. Амбага [и др.] // *Сибирский медицинский журнал (Иркутск)*. – 2014. – Т. 124, № 1. – С. 103–106.
18. Шурыгина Л. В. Антиоксидантная активность экстрактов из корней и надземной части *Astragalus membranaceus* (Fabaceae) в двух модельных системах / Л. В. Шурыгина, А. А. Кравцов, С. В. Козин [и др.] // *Растительные ресурсы*. – 2017. – Т. 53, № 2. – С. 291–299.

THE EFFECT OF THE EXTRACT OF *ASTRAGALUS PHYSODES* L. ON INTENSITY REDOX PROCESSES IN THE HYPOTHALAMIC REGION OF WHITE RATS ON THE MODEL OF «SOCIAL» STRESS

Muratalieva V. X., Sergaliev M. U., Tsibizova A. A., Bashkina O. A., Samotrueva M. A.

Astrakhan State Medical University, Astrakhan, Russian Federation
E-mail: charlina_ast@mail.ru

Currently, the study of the influence of stress factors on the state of functional systems is an urgent problem. Recent studies have established that the antioxidant system is the most vulnerable. It is known that the balance of pro-oxidant and antioxidant

processes ensures the constancy of the internal environment of the body, thereby maintaining optimal conditions for the development of normal physiological and biochemical processes.

To date, herbal preparations are being actively studied as sources of effective correctors of stress-mediated disorders. Particular attention is drawn to phytopreparations obtained on the basis of plants of the genus *Astragalus*, which have versatile pharmacological activity. A promising representative of this genus is *Astragalus physodes* L., which grows in the Astrakhan region. The conducted studies revealed the presence of biologically active substances in the aboveground part of *Astragalus physodes*, the main of which are flavonoids, organic and hydroxycinnamic acids, which provide antidepressant, antistress, immunocorrective and other types of activity.

The purpose of the study: to study the effect of the extract of the herb *Astragalus physodes* L. the intensity of lipid and protein peroxidation processes in the hypothalamic region of the brain of white rats on the model of «social» stress.

The study was carried out on white nonlinear male rats of 6–8 months of age. on the model of «social» stress (sensory contact), reproduced by placing animals in pairs in a cage with a transparent partition, as a result of which the rats were divided into aggressors and victims. The partition was removed every day and inter-amoral confrontations were observed for 10 minutes. The experiments were carried out for 20 days, after which all the animals were divided into several groups (n=10): 1) the control group was formed by intact rats; 2) stressed animals (victims/aggressors); 3) stressed individuals who were intragastrically injected with *Astragalus physodes* extract (50 mg/kg/ day) for 14 days (victims/ aggressors), starting from the 21st day of the experiment.

The extract of *Astragalus physodes* was obtained in a ratio of 1:1 by infusing herbs in a water bath with an aqueous alcohol solution of 60 % concentration, followed by distilling the extractant. The assessment of lipid peroxidation processes was carried out by spectrophotometric measurement in the tissue homogenate of the hypothalamic region of the initial level of malondialdehyde, the rates of spontaneous and induced ascorbate and iron ions, at a wavelength of 532 nm. The method is based on the determination of malonic dialdehyde, which forms a pink trimethine complex when interacting with 2-thiobarbituric acid.

When determining the degree of protein peroxidation in the hypothalamic tissue, a modified technique was used based on the reaction of the interaction of oxidized amino acid residues of proteins with 2,4-dinitrophenylhydrazone, the interaction products of which were determined in the protein precipitate in urea solution. At $\lambda=270$ nm, the primary products were aldehydenylhydrazones; at $\lambda=363$ nm and 370 nm, ketonphenylhydrazones.

The state of the body's antioxidant defense was judged by the activity of a key enzyme, catalase, which was determined by the spectrophotometric method ($\lambda=410$ nm) based on the ability of hydrogen peroxide to form a stable colored complex with molybdenum salts. All measurements were recorded on a spectrophotometer.

The use of *Astragalus physodes* extract under conditions of «social» stress led to a decrease in the initial level of malondialdehyde in the homogenate of the hypothalamus tissue, the rate of spontaneous and ascorbate-dependent lipid peroxidation, as well as

catalase activity. Catalase activity under the influence of *Astragalus physodes* extract decreased by an average of 20 % compared to the group of animals exposed to stress. Under the action of the extract of *Astragalus* inflated against the background of «social» stress, there was a decrease in the indicators of oxidative modification of proteins: aldehydenylhydrazones – by 30 % in aggressors and 45 % in victims, ketonphenylhydrazones – by 50 % and 40 % compared with stressed rats.

It was found that aggression and submission, formed as a result of «social» confrontations, led to an increase in the processes of peroxidation with varying degrees of severity, which indicates the negative impact of «social» stress on this area of the brain. The introduction of *Astragalus physodes* extract against the background of social stress contributed to a statistically significant decrease in the indicators of oxidative modification of lipids and proteins.

Thus, the results of studying the effect of the extract of *Astragalus physodes* L. the indicators of lipid and protein peroxidation in the hypothalamic region of the brain of male rats under conditions of «social» stress showed pronounced antioxidant activity, which indicates the possible use of the extract of this plant as a corrector of changes in redox processes.

Keywords: «social» stress, extract of *Astragalus physodes* L., peroxidation of lipids, peroxidation of proteins, antioxidant activity.

References

1. Surkova D. R., Piskaikina M. N. Stress and its impact on human health. *Proceedings of the Institute of Management Systems of the SGEU*, **1**, 34 (2018).
2. Petrova L. Yu., Petrov M. A., Zaitseva A. V. Definition of the concept of stress and its impact on the human body. *Actual problems, modern trends in the development of physical culture and sports, taking into account the implementation of national projects*, 571 (2020).
3. Shim S. Y., Kim H. S. Oxidative stress and the antioxidant enzyme system in the developing brain. *Korean journal of pediatrics*, **56** (3), 107 (2013). doi: 10.3345/kjp.2013.56.3.107.
4. Yaribeygi H., Panahi Y., Sahraei H. [et al.]. The impact of stress on body function: A review. *EXCLI J*, **16**, 1057 (2017). doi: 10.17179/excli2017-480.
5. Peña-Bautista C., Vento M., Baquero M. [et al.]. Lipid peroxidation in neurodegeneration. *ClinicaChimica Acta*, **497**, 178 (2019). doi: 10.1016/j.cca.2019.07.037.
6. Sadžak A., Mravljak J., Maltar-Strmečki N. [et al.]. The structural integrity of the model lipid membrane during induced lipid peroxidation: The role of flavonols in the inhibition of lipid peroxidation. *Antioxidants*, **9**(5), 430 (2020). doi:10.3390/antiox9050430
7. Barrera G., Pizzimenti S., Daga M. [et al.], Lipid peroxidation-derived aldehydes, 4-hydroxynonenal and malondialdehyde in aging-related disorders. *Antioxidants*, **7** (8), 102 (2018). doi: 10.3390/antiox7080102.
8. Peña-Bautista C., López-Cuevas R., Cuevas A. [et al.], Lipid peroxidation biomarkers correlation with medial temporal atrophy in early Alzheimer's Disease. *Neurochemistry international*, **129**, 104519 (2019). doi: 10.1016/j.neuint.2019.104519.
9. Lee J. Y., Park H. M., Kang C. H. Antioxidant Effect via Bioconversion of Isoflavonoid in *Astragalus membranaceus* Fermented by Lactic iplantibacillus plantarum MG5276 *In Vitro* and *In Vivo*. *Fermentation*, **8** (1), 34 (2022). doi: 10.3390/fermentation8010034
10. Sergaliev M. U., Mazhitova M. V., Samotrueva M. A. Plants of the genus *Astragalus*: prospects of application in pharmacy. *Astrakhan Medical Journal*, **10** (2), 17 (2015).
11. Kondeva-Burdina M., Shkondrov A., Simeonova R. [et al.]. In vitro/in vivo antioxidant and hepatoprotective potential of defatted extract and flavonoids isolated from *Astragalus sprunerii* Boiss. (Fabaceae). *Food Chem Toxicol.*, **111**, 631 (2018). doi: 10.1016/j.fct.2017.12.020 doi: 10.1016/j.fct.2017.12.020.

12. Bogacheva E. V., Alabovsky V. V., Perov S. Yu. Determination of the concentration of malondialdehyde in the serum of rats irradiated with an electromagnetic field of the meter range. *Izvestiya Saratov University. A new series. Chemistry series. Biology. Ecology*, **1**, 70 (2016).
13. Khuzhakhmetova L. K., Teply D. L. Features of oxidative modification of proteins under stress and pharmacological correction in mature and old rats. *Natural sciences*, **3** (52), 84 (2015).
14. Korolyuk M. A., Ivanova L. I., Mayrova I. G. [et al.], Method for determining catalase activity. *Laboratory business*, **1**, 16 (1988).
15. Mesova A. M. Immunological reactivity, lipid peroxidation and antioxidant activity under stress (literary review). *Bulletin of the Kazakh National Medical University*, **2**, 110 (2016).
16. Berezutsky M. A., Yakubova L. R., Durnova N. A. [et al.]. Pharmacological properties of preparations based on astragalus extract (review). *Chemico-pharmaceutical journal*, **54** (4), 20 (2020). doi 10.30906/0023-1134-2020-54-4-20-25. EDN IZJNVY.
17. Narantsetseg Zh., Solongo H., Ambaga M. [et al.] Antioxidant effect of water infusion of milk-white astragalus. *Siberian Medical Journal (Irkutsk)*, **124** (1), 103 (2014).
18. Shurygina L. V., Kravtsov A. A., Kozin S. V. [et al.], Antioxidant activity of extracts from the roots and aboveground part of *Astragalus membranaceus* (Fabaceae) in two model systems. *Plantresources*, **53** (2), 291 (2017).

УДК 612.821+159.91

ПОКАЗАТЕЛИ ДВИЖЕНИЙ ГЛАЗ ПРИ ВОСПРИЯТИИ НЕЙТРАЛЬНЫХ И УЛЫБАЮЩИХСЯ ЛИЦ

Павленко Д. В., Чуян Е. Н., Михайлова А. А., Александрова С. В., Павленко В. Б.

*ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет имени В. И. Вернадского», Симферополь,
Республика Крым, Россия
E-mail: vprav55@gmail.com*

Целью настоящего исследования являлось уточнение характеристик движений глаз при предъявлении взрослым здоровым испытуемым статичных изображений нейтральных и улыбающихся лиц. Установлено, что при восприятии указанных изображений у участников исследования формируется паттерн глазодвигательных реакций, специфичный для каждого из видов стимулов. Предъявление изображений улыбающихся лиц выявило тенденцию к большей амплитуде саккадических движений глаз, а также к значимо более продолжительной фиксации взора на нижней части лица, чем при предъявлении лиц с нейтральным выражением. Диаметр зрачков испытуемых был больше при экспозиции эмоциональных лиц, что свидетельствует о дополнительной активации норадренергической системы при восприятии данного вида стимулов.

Ключевые слова: лицевая экспрессия, трекинг движений глаз, диаметр зрачка.

ВВЕДЕНИЕ

Как известно, глаза называют «зеркалом души». Глаза человека обладают уникальными физическими, фотометрическими и двигательными характеристиками. Наблюдая за глазами окружающих, воспринимая характеристики глаз как единое целое, мы получаем жизненно важную информацию об эмоциональном состоянии и умственной деятельности других людей [1]. Важным показателем являются не только различные движения глаз, меняющие направление взора и обеспечивающие считывание информации (саккады и фиксации), но и изменения диаметра зрачка. Если глаза – это окна в душу, то зрачки представляют, своего рода, ворота в мозг и могут дать уникальную информацию о деятельности центральной нервной системы (ЦНС). Изменения размеров зрачка, в первую очередь, опосредованы различными условиями освещения. Однако их можно наблюдать также и при постоянном уровне освещенности. Эти изменения опосредованы уровнем общего возбуждения ЦНС, а также различными когнитивными стратегиями [2].

В настоящее время разрабатываются новые способы диагностики и коррекции нарушений развития у детей (в том числе расстройств аутистического спектра) с применением предъявления различных эмоциональных изображений, что делает особенно актуальным анализ паттернов движений глаз при восприятии лиц (см. обзор [3]). Движения глаз при восприятии лиц подчиняются определенным

закономерностям. Так, например, при идентификации лица знакомого человека и восприятии эмоциональной лицевой экспрессии проявляются разные стратегии перемещения взгляда. Распознавание лиц требует Т-образного паттерна фиксации взгляда, охватывающего области глаз и рта [4]. В то же время, при распознавании лицевых эмоциональных экспрессий наивысшая точность идентификации эмоций радости и отвращения достигается на основе восприятия мимики нижней части лица (рта, губ), а идентификация нейтрального выражения лица или эмоции горя – верхней (лба, бровей) [5]. В контексте восприятия лиц гораздо меньше известно о закономерностях изменений размера зрачка. Данные о модуляции размера зрачка при разных эмоциональных валентностях изображений и наблюдениями за разными лицевыми экспрессиями (положительными, нейтральными, или отрицательными) остаются противоречивыми [6]. Учитывая это, изучение роли эмоциональной окраски воспринимаемых образов в анализе характеристик зрачковых реакций является безусловно актуальным.

Изменение размера зрачка при восприятии лиц и других сложных, эмоционально окрашенных объектов является следствием активации ряда корковых и подкорковых структур ЦНС человека. Ключевую роль в этом играет нейронная сеть, вырабатывающая норадреналин [7]. Известно, что активация норадренергической системы увеличивает отношение сигнал/шум в нейронных сетях и улучшает обработку релевантной информации на разных уровнях ЦНС, а также модулирует баланс коркового возбуждения и торможения. Эти нейромодулирующие влияния облегчают избирательную обработку приоритетной информации (см. обзор [8]). У человека норадренергические клетки группируются в отдельных пигментированных ядрах в стволе головного мозга. Самое крупное из них – голубое пятно (ГП) – имеет длину около 15 мм и расположено рядом с четвертым желудочком [9]. ГП получает афферентную информацию от ряда подкорковых структур и, что особенно важно, нисходящие влияния от префронтальной коры. По восходящему пути ГП, в свою очередь, обеспечивает норадренергическую иннервацию таламуса и почти всех областей неокортекса. Такой характер связей обеспечивает префронтальным областям регулирующее влияние на функционирование таламуса и переднего мозга. Префронтальные области коры контролируют самые важные элементы нашего социального поведения, определяют субъективную важность стимулов, направляют произвольное внимание. В свою очередь, под влиянием выброса НА из аксонных терминалей нейронов ГП обработка информации в таламусе и обширных корковых регионах смещается в пользу приоритетных, наиболее значимых стимулов. При этом таламус организует предпочтительную обработку наиболее важной информации, координируя ритмическую нейронную активность в распределенной лобно-теменной сети [8].

Физически размер зрачка определяется взаимодействием двух мышц-антагонистов: дилатора (расширителя) и сфинктера (кольцевой мышцы) радужной оболочки глаза, иннервируемых симпатической и парасимпатической нервными системами соответственно. Важно отметить, что ГП функционирует как премоторное ядро для нейронов обеих систем, стимулируя/ингибируя

симпатические и парасимпатические преганглионарные нервные клетки, соответственно [10]. Стимуляция ГП в экспериментах на животных вызывала расширение зрачка, тогда как его торможение сужало зрачок [11]. Мышца сфинктера сильнее, чем мышца, расширяющая зрачок, что делает мышцу сфинктера радужной оболочки основным регулятором диаметра зрачка. Поскольку ГП имеет прямые тормозные проекции на парасимпатическое ядро Эдингера-Вестфала, откуда берут начало волокна, сужающие зрачок, активация ГП подавляет активность нейронов ядра Эдингера-Вестфала и тонус сужающей мышцы зрачка, что и приводит к его расширению (см. обзор [12]). Таким образом, независимые от яркости изменения диаметра зрачка являются индикатором норадренергической активности головного мозга [8].

Поскольку изображения улыбающихся лиц предполагается применять в коррекционной практике при работе с детьми, имеющими диагноз аутистического спектра, целью нашего исследования было уточнить особенности характеристик движений глаз (саккад, фиксаций взора и размеров зрачка) при предъявлении взрослым здоровым испытуемым статичных изображений нейтральных и улыбающихся лиц.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В исследовании, которое было проведено с информированного согласия испытуемых и соответствует этическим нормам Хельсинкской декларации, приняли участие 29 студентов КФУ им. В. И. Вернадского в возрасте от 18 до 25 лет (10 юношей и 19 девушек). Все испытуемые были праворукими и имели нормальное или скорректированное до нормального зрение.

Во время записи движений глаз участники исследования находились в затемненной комнате и сидели в кресле. Трекинг взора выполняли с помощью бесконтактной установки RED-250. Стимулы представляли собой фотографии нейтральных и улыбающихся лиц из Амстердамского набора динамических экспрессий. Было предъявлено по четыре фотографии нейтральных и улыбающихся лиц (два мужских, два женских). Среди фотографий изображения средиземноморских и североевропейских лиц были представлены в равной степени. Время экспозиции фотографий составляло 3 с. Предъявлению каждой фотографии предшествовало фоновое изображение (красный крестик) на сером фоне (время презентации 2 с). Перед предъявлением стимулов испытуемым давалась инструкция определить, какое из выражений лиц моделей является, по их мнению, самым естественным.

Анализ движений глаз по интересующим показателям (амплитуда саккад, время пребывания взора на разных участках предлагаемых изображений, диаметр размера зрачка) проводили с использованием программы SMI BeGaze. Статистическая обработка данных проводилась с помощью пакета программ Statistica, версия 12. Характер распределения показателей определяли тестом Шапиро-Уилка. В случае распределения, не отличающегося от нормального, достоверность различий оценивали критерием Стьюдента для попарно связанных вариантов. Остальные подробности методики описаны ранее [13].

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

При анализе паттернов движений глаз в процессе зрительного восприятия фотоизображений лиц установлено следующее. Рассмотрение изображений улыбающихся лиц сопровождалось саккадическими движениями глаз с несколько большей амплитудой, чем при восприятии нейтральных лиц (рис. 1). Хотя различия между этими показателями не достигали статистической значимости ($P = 0,08$), присутствует тенденция к большей амплитуде движений глаз при восприятии изображения улыбающегося лица. Можно предположить, что в условиях ограниченного времени экспозиции оценка степени естественности улыбки модели требовало от испытуемых дополнительного анализа черт лица по сравнению с оценкой нейтрального лица.

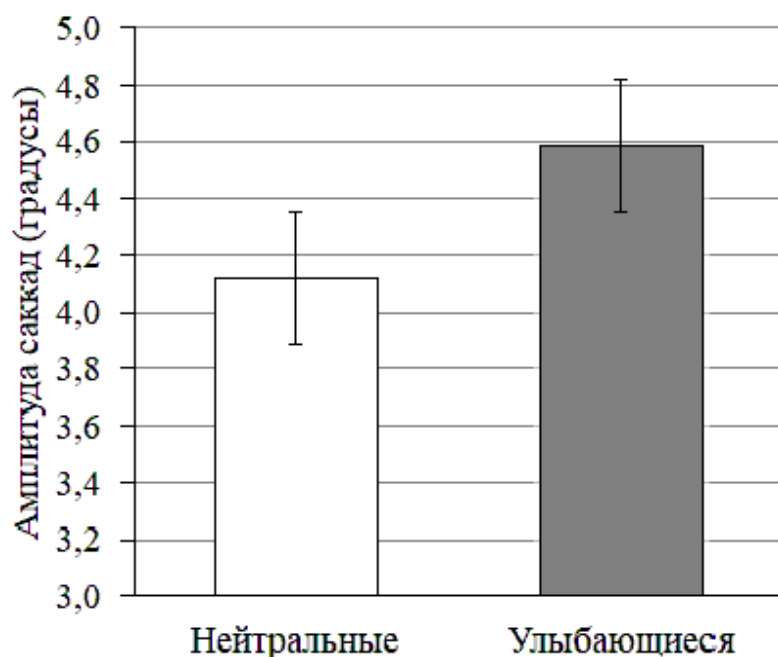


Рис. 1. Амплитуда саккадических движений глаз при восприятии фотоизображений нейтральных и улыбающихся лиц (белые и темные столбцы), соответственно. Здесь и далее представлены средние значения \pm ошибка среднего.

Для анализа устойчивых положений взгляда (моментов фиксации взора) определяли т.н. зоны интереса. Как в случае изображений лиц с нейтральным выражением, так и лиц с улыбкой, фотоизображение было разделено на две зоны интереса: глаза и рот. При восприятии улыбающихся лиц время фиксации взора было больше в области рта, а при восприятии нейтральных лиц взгляд больше

концентрировался в области глаз (рис. 2). Полученные нами результаты согласуются с результатами других исследователей [5, 14–17].

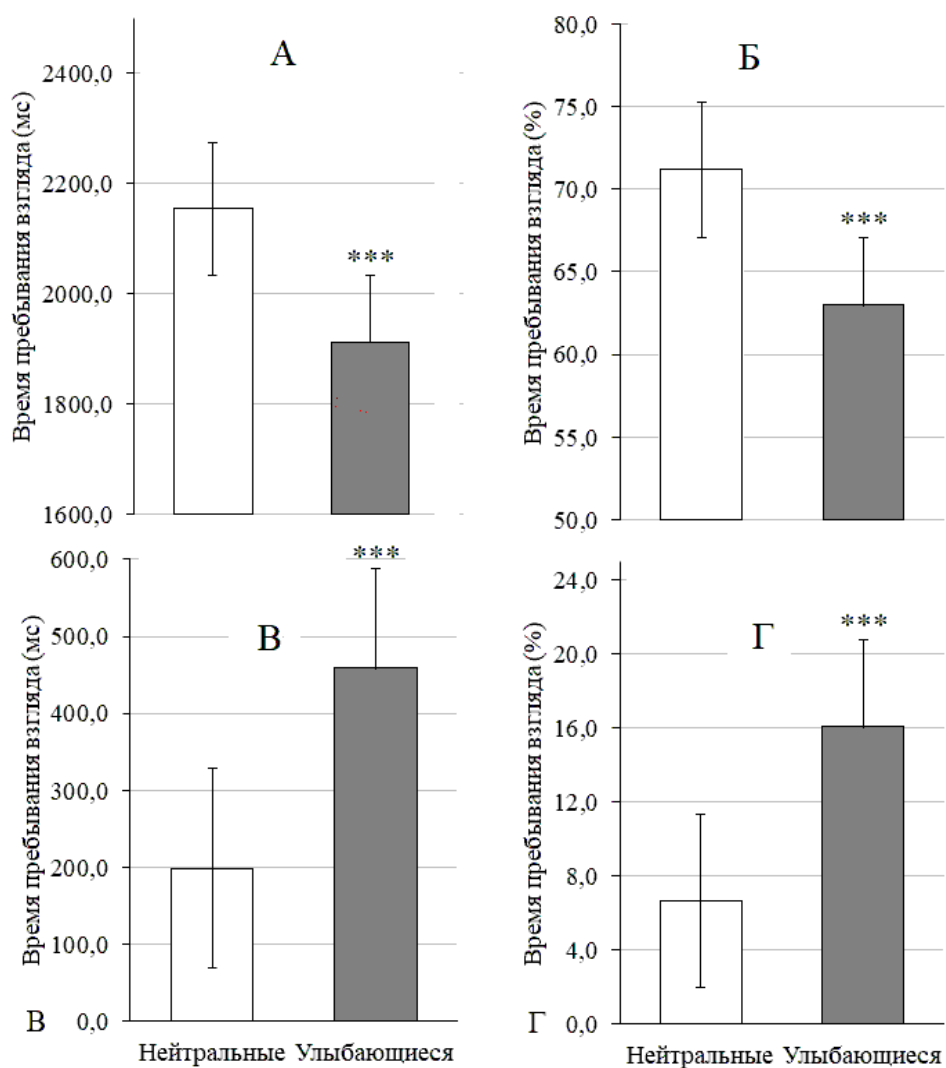


Рис. 2. Среднее время пребывания взгляда в области глаз (А, Б) и рта (В, Г) при восприятии фотоизображений нейтральных (белые столбцы) и улыбающихся лиц (темные столбцы). Звездочками отмечены достоверные различия между средними при $P \leq 0,001$.

Очевидно, при восприятии улыбающихся лиц происходит более детальная обработка информации о нижней части лица, чем при восприятии нейтральных

лицевых экспрессий. На фотоизображении улыбающихся лиц наиболее информативной частью изображения являются рот и губы. При восприятии нейтральных выражений лиц нет таких ярких мимических реакций как улыбка. Предполагают [5], что анализ невыраженных экспрессий (нейтральное выражение лица), происходит в основном за счет визуального сканирования области глаз. Также перемещение взора может захватывать и область носа, переносицы.

При восприятии фотоизображений нейтральных и улыбающихся лиц оценивался диаметр зрачков испытуемых на обоих глазах (рис. 3). Как видно из рисунка, диаметр зрачков плавно увеличивался и достигал максимального размера примерно через полторы секунды после начала презентации фотоизображений, оставаясь затем на постоянном уровне. При этом восприятие испытуемыми изображений улыбающихся лиц вызывало большее расширение зрачков обоих глаз. В определенные моменты времени различия между размером зрачков при презентации нейтральных и эмоциональных лиц достигали уровня значимости.

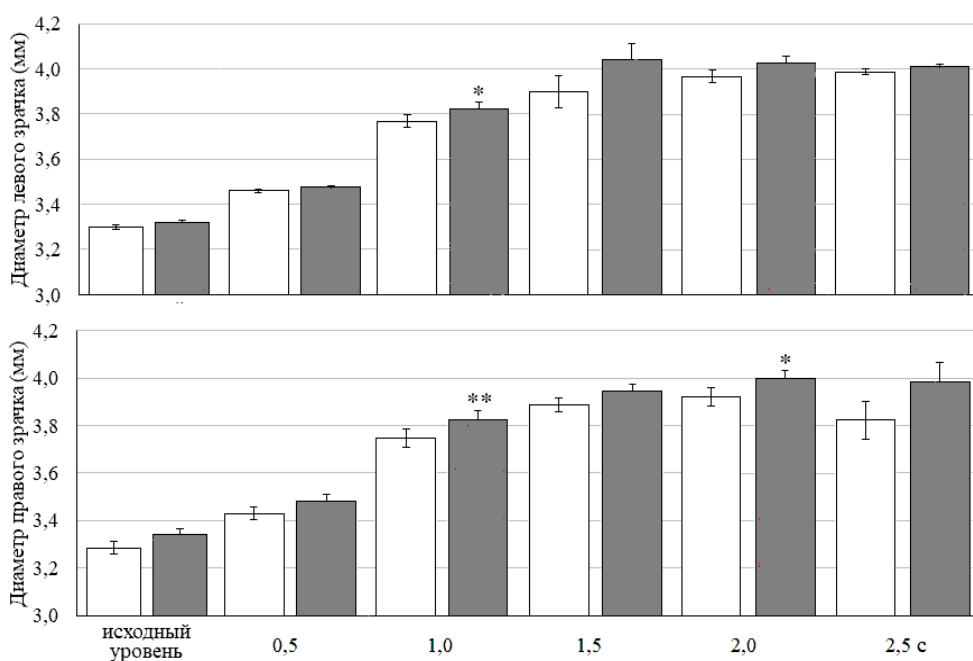


Рис. 3. Изменение диаметра зрачков левого и правого глаза в процессе презентации фотоизображений нейтральных (белые столбцы) и улыбающихся лиц (темные столбцы). Различия между средними достоверны: * – при $P \leq 0,05$; ** – при $P \leq 0,01$.

Как отмечалось выше, расширение зрачка при восприятии изображений лиц отражает активацию норадренергической системы, что обеспечивает оптимальный уровень произвольного внимания при выполнении когнитивных задач. Испытуемым требовалось не только оценить естественность мимических реакций моделей, но и

запомнить соответствующее изображения. Значимо больший размер зрачков при оценке фотоизображений улыбающихся лиц, по сравнению с нейтральными, свидетельствует о повышенных требованиях при выполнении подобных задач и вовлечении дополнительных ресурсов ЦНС [18]. Активация ГП, о которой свидетельствует увеличение размера зрачка, облегчает избирательную обработку соответствующей информации за счет гибкой настройки локальной возбудимости коры [8]. Таким образом, восприятие эмоциональной лицевой экспрессии в виде улыбки в условиях нашей экспериментальной ситуации требует от испытуемых повышенных когнитивных усилий, индикатором которых является размер зрачка.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Установлено, что при восприятии изображений улыбающихся и нейтральных лиц у взрослых здоровых испытуемых формируется специфический паттерн глазодвигательных реакций. Предъявление изображения улыбающегося лица выявило тенденцию к большей амплитуде саккадических движений глаз, а также к значимо более продолжительной фиксации взора на нижней части лица, чем при предъявлении лиц с нейтральным выражением. Диаметр зрачков испытуемых был больше при восприятии эмоциональных лиц, что свидетельствует о дополнительной активации норадренергической системы.

Работа выполнена на оборудовании ЦКП научным оборудованием «Экспериментальная физиология и биофизика» ФГАОУ ВО «КФУ им. В. И. Вернадского».

Список литературы

1. Omer Y. What Is a Face? Critical Features for Face Detection / Y. Omer, R. Sapiro, Y. Hatuka, G. Yovel // Perception. – 2019. – Vol. 48. – P. 437–446.
2. Eye pupil – a window into central autonomic regulation via emotional/cognitive processing / N. Ferencová, Z. Višňovcová, L. Bona Olexová, I. Tönhajzerová // Physiol. Res. – 2021. – Vol. 70 (Supp 14). – P. 669–682.
3. Павленко Д. В. Нейрофизиологические механизмы восприятия лицевой экспрессии и их особенности при расстройствах аутистического спектра / Д. В. Павленко, Е. Н. Чуян, В. Б. Павленко // Ученые записки Крымского федерального университета имени В. И. Вернадского. Биология. Химия. – 2021. – Т. 7, № 3. – С. 160–179.
4. Барабанщиков В. А. Восприятие и событие / В. А. Барабанщиков – Санкт-Петербург : Алетейя, 2002. – 512 с.
5. Барабанщиков В. А. Системность. Восприятие. Общение / В. А. Барабанщиков, В. Н. Носуленко. – Москва : Институт психологии РАН, 2004. – 480 с.
6. Bradley M. M. The pupil as a measure of emotional arousal and autonomic activation / M. M. Bradley, L. Miccoli, M. A. Escrig, P. J. Lang // Psychophysiology. – 2008. – Vol. 45, No 4. – P. 602–607.
7. Gilzenrat M. S. Pupil diameter tracks changes in control state predicted by the adaptive gain theory of locus coeruleus function / M. S. Gilzenrat, S. Nieuwenhuis, M. Jepma, J. D. Cohen // Cogn. Affect. Behav. Neurosci. – 2010. – Vol. 10, No 2. – P. 252–269.
8. Dahl M. J. Noradrenergic modulation of rhythmic neural activity shapes selective attention / M. J. Dahl, M. Mather, M. Werkle-Bergner // Trends Cogn. Sci. – 2022. – Vol. 26, No 1. – P. 38–52.
9. Fernandes P. The human locus coeruleus 3-D stereotactic anatomy / P. Fernandes, J. Regala, F. Correia, A. J. Gonçalves-Ferreira // Surg. Radiol. Anat. – 2012. – Vol. 34, No 10. – P. 879–885.

10. Joshi S. Pupil size as a window on neural substrates of cognition / S. Joshi, J. I. Gold // Trends Cogn. Sci. – 2020. – Vol. 24. – P. 466–480.
11. Breton-Provencher V. Active control of arousal by a locus coeruleus GABAergic circuit / V. Breton-Provencher, M. Sur // Nat. Neurosci. – 2019. – Vol. 22. – P. 218–228.
12. Larsen R. S. Neuromodulatory Correlates of Pupil Dilation / R. S. Larsen, J. Waters // Front. Neural. Circuits. – 2018. – Vol. 12. – P. 21.
13. Динамика ритмов ЭЭГ при восприятии нейтральных и улыбающихся лиц / Д. В. Павленко, Е. Н. Чуян, А. А. Михайлова [и др.] // Ученые записки Крымского федерального университета имени В. И. Вернадского. Биология. Химия. – 2021. – Т. 7, № 4. – С. 134–143.
14. Барабанщиков В. А. Восприятие индивидуально-психологических особенностей человека по изображению целого и частично открытого лица / В. А. Барабанщиков // Экспериментальная психология. – 2008. – Т. 1, № 1. – С. 62–83.
15. Malcolm G. L. Scan patterns during the processing of facial expression versus identity: An exploration of task driven and stimulus-driven effects / G. L. Malcolm, L. J. Lanyon, A. J. B. Fugard // Journal of vision – 2008. – Vol. 8, No 2. – P. 1–9.
16. Барабанщиков В. А. Айттрекинг: Методы регистрации движений глаз в психологических исследованиях и практике / В. А. Барабанщиков, А. В. Жегалло. – Москва : Когито-Центр, 2014. – 128 с.
17. Барабанщиков В. А. Динамика зрительного процесса и саккадические движения глаз / В. А. Барабанщиков // Психологический журнал. – 2018. – Т. 39, № 1. – С. 46–56
18. Wel P. Pupil dilation as an index of effort in cognitive control tasks: A review / P. Wel, H. Steenbergen // Psychon. Bull. Rev. – 2018. – Vol. 25, No 6. – P. 2005–2015.

EYE MOVEMENTS IN THE PERCEPTION OF NEUTRAL AND SMILING FACES

Pavlenko D. V., Chuyan E. N., Mikhailova A. A., Aleksandrova S. V., Pavlenko V. B.

*V. I. Vernadsky Crimean Federal University, Simferopol, Crimea, Russia
E-mail: vpav55@gmail.com*

Currently, researchers are developing new methods for diagnosing and correcting developmental disorders in children. The presentation of various emotional images may be promising for the correction of autism spectrum disorders. Thus, the analysis of patterns of eye movements during the perception of faces is especially relevant. Until now, not enough is known about eye movements and changes in pupil size when perceiving smiling faces. A number of researchers have found that brightness-independent changes in pupil diameter are an indicator of noradrenergic activity in the brain. The aim of our study was to clarify the characteristics of eye movements when healthy adults were presented with static images of neutral and smiling faces. The study involved 29 students aged 18 to 25 years (10 boys and 19 girls). All subjects were right-handed and had normal or corrected to normal vision. During the recording of eye movements, study participants were in a darkened room and sat in a chair. Gaze tracking was performed using a RED-250 non-contact device. The stimuli were photographs of neutral and smiling faces from the Amsterdam set of dynamic expressions. Four photographs of neutral and smiling faces were presented (two male, two female). The presentation of each photo was preceded by a background image (red cross) on a gray background. Before presenting the stimuli, the subjects were instructed

to determine which of the facial expressions of the models was, in their opinion, the most natural. Eye movements were analyzed according to parameters of interest (saccade amplitude, gaze dwell time in different parts of the proposed images, pupil size diameter) using the SMI BeGaze software. We found that when perceiving images of smiling and neutral faces, the study participants formed a pattern of oculomotor reactions specific to each of the situations. Upon presentation of images of smiling faces, a tendency to a greater amplitude of saccadic eye movements was revealed. We also confirmed that in this case, the subjects fix their gaze on the lower part of the face for a longer time, compared with the presentation of faces with a neutral expression. The diameter of the pupils of the subjects was larger when perceiving emotional faces, which indicates additional activation of the noradrenergic system.

Keywords: facial expression, eye tracking, pupil diameter.

References

1. Omer Y., Sapir R., Hatuka Y. and Yovel G. What Is a Face? Critical Features for Face Detection, *Perception*, **48**, 437 (2019).
2. Ferencová N., Višňovcová Z., Bona Olexová L. and Tonhajzerová I. Eye pupil – a window into central autonomic regulation via emotional/cognitive processing, *Physiol Res.*, **70**, 669 (2021).
3. Pavlenko D. V., Chuyan E. N. and Pavlenko V. B. Neurophysiological mechanisms of facial expression perception and their features in autistic spectrum disorders, *Scientific Notes of V. I. Vernadsky Crimean Federal University. Biology. Chemistry*, **7**, 160 (2021).
4. Barabanshikov V. A. *Perception and event* (St. Petersburg, Aletheya Publishing House, 2002).
5. Barabanshikov V. A., Nosulenko V. N. *Consistency. Perception. Communication* (Moscow, Institute of Psychology RAS, 2004).
6. Bradley M. M., Miccoli L., Escrig M. A. and Lang P. J. The pupil as a measure of emotional arousal and autonomic activation, *Psychophysiology*, **45**, 602 (2008).
7. Gilzenrat M. S., Nieuwenhuis S., Jepma M., and Cohen J. D. Pupil diameter tracks changes in control state predicted by the adaptive gain theory of locus coeruleus function, *Cogn Affect Behav Neurosci.*, **10**, 252 (2010).
8. Dahl M. J., Mather M. and Werkle-Bergner M. Noradrenergic modulation of rhythmic neural activity shapes selective attention, *Trends Cogn Sci.*, **26**, 38 (2022).
9. Fernandes P., Regala J., Correia F. and Gonçalves-Ferreira A. J. The human locus coeruleus 3-D stereotactic anatomy, *Surg Radiol Anat.*, **34**, 879 (2012).
10. Joshi S. and Gold J. I. Pupil size as a window on neural substrates of cognition, *Trends Cogn. Sci.*, **24**, 466 (2020).
11. Breton-Provencher V. and Sur M. Active control of arousal by a locus coeruleus GABAergic circuit. *Nat. Neurosci.*, **22**, 218 (2019).
12. Larsen R. S., Waters J. Neuromodulatory Correlates of Pupil Dilation, *Front Neural Circuits.*, **12**, 21 (2018).
13. Pavlenko D. V., Chuyan E. N., Mikhailova A. A., Alexandrova S. E., Alexandrova S. V., Batievskaya A. V. and Pavlenko V. B. EEG oscillation patterns when observing neutral and smiling faces, *Scientific Notes of V. I. Vernadsky Crimean Federal University. Biology. Chemistry*, **7**, 134 (2021).
14. Barabanshikov V. A. Perception of Person's Individual Psychological Features Based on a Whole or Partially Occluded Face Image, *Experimental Psychology (Russia)*, **1**, 62 (2008).
15. Malcolm G. L., Lanyon L. J., Fugard A. J. B. and Barton J. J. S. Scan patterns during the processing of facial expression versus identity: An exploration of task driven and stimulus-driven effects, *J. of Vision*, **8**, 1 (2008).
16. Barabanshikov V. A., Zhegallo A. V. *Eyetracking: Methods for registering eye movements in psychological research and practice* (Moscow, Kogito-Center Publishing House, 2014).
17. Barabanshikov V. A. Dynamics of visual process and saccadic eye movements, *Psikhologicheskii zhurnal*, **39**, 46 (2018).
18. Wel P. and Steenbergen H. Pupil dilation as an index of effort in cognitive control tasks: A review, *Psychon Bull Rev.*, **25**, 2005 (2018).

УДК 615.1:582.738

АНТИСТРЕССОРНОЕ И АДАПТОГЕННОЕ ДЕЙСТВИЕ ЭКСТРАКТА ТРАВЫ *ASTRAGALUS VULPINUS*

Сергалиева М. У., Цибизова А. А., Баишкина О. А., Самогруева М. А.

*ФГБОУ ВО «Астраханский государственный медицинский университет» Минздрава
России, Астрахань, Россия
E-mail: charlina_astr@mail.ru*

В статье представлены результаты по изучению стресспротективных и адаптогенных свойств экстракта травы Астрагала лисьего (*Astragalus vulpinus Willd*) в условиях липополисахаридного иммунного стресса. Эксперименты выполнены на белых нелинейных крысах-самцах, которые были разделены на 3 группы: 1-ая – интактный контроль, получавший эквивалентное количество дистиллированной воды; 2-ая – животные с моделью иммунного стресса, сформированного путем однократного введения липополисахарида в дозе 100 мкг/кг; 3-я – особи, получавшие на фоне иммунного стресса внутривенно экстракт *Astragalus vulpinus* в дозе 50 мг/кг в течение двух недель. Выявлено, что экстракт *Astragalus vulpinus* на фоне липополисахаридного иммунного стресса оказывает стресспротективное действие, уменьшая выраженность окислительных процессов, что подтверждается снижением концентрации продуктов перекисидации, а также повышением уровня активности каталазы в ткани печени.

Ключевые слова: иммунный стресс, липополисахарид, экстракт Астрагала лисьего, перекисное окисление липидов, каталаза, поведение.

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время одной из актуальных проблем современной медицины является проблема адаптации человека к окружающей среде [1]. Любое стрессовое воздействие оказывает негативное влияние на организм и инициирует возникновение или обострение течения и нейропсихических и соматических заболеваний [2, 3]. Установлено, что стресс сопровождается активацией процессов свободнорадикального окисления, что в еще большей степени усугубляет течение патологических процессов [4–8].

С целью предотвращения развития неблагоприятных последствий требуется применение фармакологических средств, повышающих неспецифическую резистентность организма, так называемых, адаптогенов преимущественно природного происхождения [9–12]. В последние годы особое внимание исследователей привлекают многолетние травянистые растения крупного рода *Astragalus* семейства *Fabaceae*. Присущие им фармакологические свойства, уникальный состав биологически активных веществ различных классов химических соединений, достаточность сырьевой базы аргументируют целесообразность исследования представителей растений рода *Astragalus* и разработки на его основе

новых эффективных лекарственных средств, в том числе и со стресспротекторными и адаптогенными свойствами [13–17].

В связи с этим целью исследования – изучение стресспротективных и адаптогенных свойств экстракта травы Астрагала лисьего (*Astragalus vulpinus Willd*) в условиях липополисахаридного иммунного стресса.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Исследования выполнены на белых нелинейных крысах-самцах массой 250–260 г. в соответствии с ГОСТ 33215-2014 «Руководство по содержанию и уходу за лабораторными животными» и требованиями Директивы Европейского Парламента и Совета Европейского Союза по охране животных, используемых в научных целях (2010/63/EU) и одобрены локальным этическим комитетом Астраханского государственного медицинского университета (протокол заключения № 6 от 27 ноября 2018 года).

Подопытные животные были разделены на 3 группы: 1-ая – интактный контроль; 2-ая – животные с моделью иммунного стресса, сформированного путем однократного введения липополисахарида (ЛПС), выделенного из микробных клеток *Salmonella typhi*, в дозе 100 мкг/кг (производитель филиал «Медгамал» ФГБУ «ФНИЦЭМ им. Н. Ф. Гамалеи», Россия); 3-я – особи, получавшие на фоне ЛПС-индуцированного иммунного стресса внутрижелудочно экстракт Астрагала лисьего (АЛ) по 50 мг/кг/сут в течение двух недель.

После выведения животных из эксперимента определяли наличие стрессорных изменений во внутренних органах: снижение количества эозинофилов, увеличение массы надпочечников, наличие эрозивно-язвенных изменений в слизистой оболочке желудка. С целью изучения антиоксидантных свойств экстракта АЛ спектрофотометрическим методом определяли интенсивность процессов свободнорадикального окисления в ткани печени по показателям: уровень ТБК-реактивных продуктов, скорость спонтанного и индуцированного аскорбатом и ионами железа ПОЛ и уровень активности фермента – каталазы. Поведение лабораторных животных изучали, применяя поведенческий тест «Открытое поле» (ОП).

Статистическую обработку данных осуществляли при помощи программы BIOSTAT 2008 Professional 5.8.4.3., вычисляя среднее арифметическое значение (M), ошибку среднего арифметического значения (m) и представляли в виде $M \pm m$. Различия между группами оценивали с помощью критерия Стьюдента с поправкой Бонферрони для множественных сравнений, достоверными считались результаты при $p < 0,05$. Связь между различными признаками в исследуемой выборке определялась с помощью корреляционного анализа величиной коэффициента корреляции Спирмена (r).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

В ходе исследования было выявлено, что ЛПС-индуцированное воздействие сопровождается развитием классических стрессорных изменений внутренних органов, характерных для «триады Селье»: увеличение массы надпочечников на

53 % ($p < 0,05$), степени выраженности эрозивно-язвенного поражения слизистой оболочки желудка на 71 % ($p < 0,05$) и снижение количества эозинофилов на 53 % по сравнению с контрольными крысами ($p < 0,001$) (рис. 1).

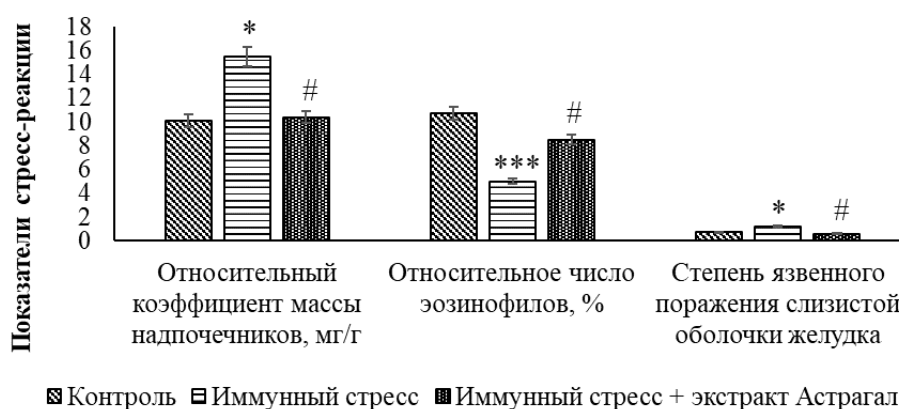


Рис. 1. Влияние экстракта травы Астрагала лисьего на показатели «стрессорной триады» при стресс-индуцированном повреждении.

Примечание: здесь и далее * – $p < 0,05$; ** – $p < 0,01$; *** – $p < 0,001$ – относительно контроля; # – $p < 0,05$; ## – $p < 0,01$; ### – $p < 0,001$ – относительно стресса.

Курсовое введение экстракта АЛ в условиях иммунного стресса привело к снижению относительного коэффициента массы надпочечников на 33 %, степени эрозивного поражения слизистой желудка на 50 %, а также к повышению уровня эозинофилов в крови на 70 % по отношению к стрессированным животным ($p < 0,05$) (рис. 1).

Как следует из данных, приведенных на рисунке 2, на фоне ЛПС-индуцированной патологии у стрессированных животных наблюдалось уменьшение массы селезенки на 31 % по сравнению с группой «контроль» ($p < 0,05$). Введение испытуемого экстракта в условиях иммунного стресса сопровождалось увеличением массы селезенки на 37 % относительно группы «стресс» ($p < 0,01$).

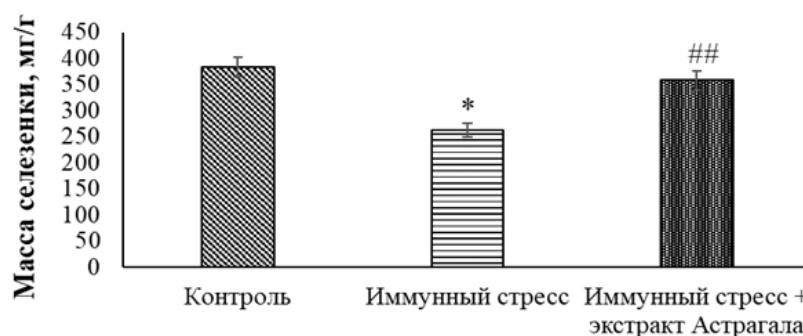


Рис. 2. Влияние экстракта травы Астрагала лисьего на массу селезенки при стресс-индуцированном повреждении.

ЛПС-иммунный стресс сопровождался инволюцией тимуса в группе стрессированных животных на 31 % относительно контрольных крыс ($p < 0,05$). Применение экстракта АЛ на фоне иммунного стресса привело к увеличению массы тимуса на 38 % ($p < 0,05$) по сравнению с показателями у крыс группы «стресс» (рис. 3).

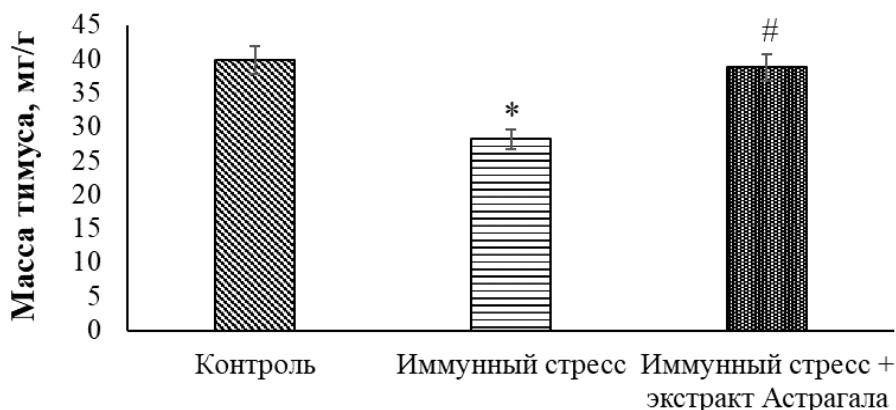


Рис. 3. Влияние экстракта травы Астрагала лисьего на массу тимуса при стресс-индуцированном повреждении

В гомогенате печени крыс, находившихся в условиях ЛПС-иммунного стресса, отмечалось активирование процессов перекисидации, проявляющееся в увеличении исходного уровня ТБК-реактивных продуктов на 48 % ($p < 0,05$), скорости спонтанного ПОЛ на 32 % ($p < 0,05$), аскорбатзависимого ПОЛ на 60 % ($p < 0,01$), а также снижение активности каталазы на 73 % в сравнении с интактной группой животных ($p < 0,01$) (рис. 4). Таким образом, показано, что ЛПС-индуцированный стресс сопровождается активацией процессов свободнорадикального окисления, о чем свидетельствует повышение концентрации биохимических показателей данного процесса и снижение активности каталазы.

В свою очередь, при внутрижелудочном введении экстракта АЛ в условиях ЛПС-индуцированного воздействия в ткани печени отмечалось снижение исходного уровня ТБК-реактивных продуктов на 24 %, скоростей спонтанного ПОЛ на 30 %, аскорбатзависимого ПОЛ на 34 % и активацией уровня фермента – каталазы на 49 % в сравнении с аналогичными показателями в группе «стресс» ($p < 0,05$) (рис. 4). Применение экстракта АЛ способствовало развитию выраженного антиоксидантного эффекта, что выражается в снижении концентрации продуктов ПОЛ в гомогенате печени, а также повышении уровня активности каталазы.

Анализ поведения стрессированных животных в тесте ОП показал развитие у особей тревожно-депрессивных нарушений, проявляющихся снижением горизонтальной и вертикальной двигательной активности в среднем на 50 % ($p < 0,01$) относительно группы «контроль». Кроме того, отмечено статистически значимое снижение исследований «норок» на 35 % и увеличение числа фекальных

болюсов на 40 % ($p < 0,05$), тогда как переходы через центр практически не показали видимых изменений. Количество кратковременных актов груминга у стрессированных животных увеличилось в 1,5 раза ($p < 0,01$) (табл. 1).



Рис. 4. Влияние экстракта травы Астрагала лисьего на ПОЛ и уровень каталазы в ткани печени белых крыс при стресс-индуцированном повреждении.

Таблица 1

Влияние экстракта травы Астрагала лисьего на поведение животных в тесте «Открытое поле» при стресс-индуцированном повреждении

Экспериментальные группы	Контроль	Иммунный стресс	Иммунный стресс + экстракт Астрагала
Поведенческие показатели			
Горизонтальная двигательная активность	27,5 ± 3,6	13,5 ± 2,5**	26,6 ± 3,5##
Вертикальная двигательная активность	4,8 ± 0,6	2,3 ± 0,3**	4,1 ± 0,5##
Исследование «норок»	1,7 ± 0,2	1,1 ± 0,2*	4,3 ± 0,7###
Переходы через центр	0,3 ± 0,1	0,1 ± 0,1	0,6 ± 0,2#
Груминг	0,3 ± 0,1	0,8 ± 0,1**	0,5 ± 0,1#
Фекальные болюсы	1,5 ± 0,2	2,1 ± 0,2*	0,3 ± 0,1###

Примечание: * – $p < 0,05$; ** – $p < 0,01$; *** – $p < 0,001$ – относительно контроля; # – $p < 0,05$; ## – $p < 0,01$; ### – $p < 0,001$ – относительно стресса.

Под влиянием экстракта АЛ у стрессированных животных отмечалось увеличение показателей: горизонтальной на 97 % ($p < 0,01$) и вертикальной двигательной активности – на 80 % ($p < 0,01$). Кроме того, наблюдалось увеличение исследований «норок» как по отношению к стрессированным животным практически в 4 раза ($p < 0,001$) и переходов через центр в 5 раз ($p < 0,05$), а также отмечалось снижение числа актов груминга на 38 % ($p < 0,05$) и уменьшение числа фекальных болюсов по отношению к стрессированным особям в среднем на 80 % ($p < 0,001$) (табл. 1). Оценка активности экстракта АЛ в тесте ОП показала, что данный экстракт обладает выраженными психомодулирующими и адаптогенными свойствами.

Результаты проведенных исследований свидетельствуют, что 2-х недельное применение экстракта АЛ в дозе 50 мг/кг/сут на фоне ЛПС-иммунного стресса вызывает стресспротективный эффект, что сопровождается уменьшением выраженности катаболических изменений во внутренних органах белых крыс. Экстракт АЛ обладает выраженным антиоксидантным действием, что подтверждается его ингибирующим воздействием на процессы ПОЛ, активацией системы антиоксидантной защиты организма и согласуется с литературными данными о наличии указанных свойств у других представителей рода *Astragalus* [18]. Можно полагать, что содержащиеся в значительных количествах в траве АЛ флавоноиды и сапонины, обладающие мембраностабилизирующими, антирадикальными и антиокислительными эффектами, вносят основной вклад в реализацию антиоксидантной активности данного растения.

Следует отметить, что растения рода Астрагал обладают ГАМКергической активностью, который, как известно, является главным тормозным медиатором нервной системы. Установлено, что снижение активности каталазы в тканях внутренних органов и головного мозга находится в зависимости от концентрации ГАМК в и ее превращением в ГОМК (гамма-оксимасляная кислота), оказывающей ингибирующее влияние на процессы липопероксидации. Кроме того доказано, что флавоноиды взаимодействуют с ГАМК(A)-рецепторами, определяя тем самым, анксиолитическую активность [19].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, экстракт травы АЛ существенно повышает устойчивость организма к ЛПС-индуцированному иммунному стрессу, что связано, очевидно, с оптимизацией баланса стресс-реализующих и стресс-лимитирующих систем организма, а также ограничением гиперактивации процессов свободнорадикального окисления и повышением мощности эндогенной антиокислительной системы.

Список литературы

1. Oyola M. G. Hypothalamic-pituitary-adrenal and hypothalamic-pituitary-gonadal axes: sex differences in regulation of stress responsivity / M. G. Oyola, R. J. Handa // *Stress*. – 2017. – Vol. 20, No. 5. – P. 476–494. doi: 10.1080/10253890.2017.1369523.

2. Smallwood M. J. Oxidative stress in autoimmune rheumatic diseases / M. J. Smallwood, A. Nissim, A. R. Knight [et al.] // *Free Radic Biol Med.* – 2018. – Vol. 125. – P. 3–14. doi: 10.1016/j.freeradbiomed.2018.05.086.
3. Yaribeygi H. The impact of stress on body function: A review / H. Yaribeygi, Y. Panahi, H. Sahraei [et al.] // *EXCLI J.* – 2017. – Vol. 16. – P. 1057–1072. doi: 10.17179/excli2017-480.
4. Franco R. Redox biology in neurological function, dysfunction, and aging / R. Franco, M. R. Vargas // *Antioxid Redox Signal.* – 2018. – Vol. 28, No. 18. – P. 1583–1586. doi: 10.1089/ars.2018.7509.
5. Galluzzi L. Linking cellular stress responses to systemic homeostasis / L. Galluzzi, T. Yamazaki, G. Kroemer // *Nat Rev Mol Cell Biol.* – 2018. – Vol. 19, No. 11. – P. 731–745. doi: 10.1038/s41580-018-0068-0.
6. Gaschler M. M. Lipid peroxidation in cell death / M. M. Gaschler, B. R. Stockwell // *Biochem Biophys Res Commun.* – 2017. – Vol. 482, No. 3. – P. 419–425. doi: 10.1016/j.bbrc.2016.10.086.
7. Ray A. Stress, anxiety, and immunomodulation: a pharmacological analysis / A. Ray, K. Gulati, N. Rai // *Vitam Horm.* – 2017. – Vol. 103. – P. 1–25. doi: 10.1016/bs.vh.2016.09.007.
8. Singh A. Oxidative stress: a key modulator in neurodegenerative diseases / A. Singh, R. Kukreti, L. Saso [et al.] // *Molecules.* – 2019. – Vol. 24, No. 8. – P. 1583. doi: 10.3390/molecules24081583.
9. Kaur P. Immunopotentiating significance of conventionally used plant adaptogens as modulators in biochemical and molecular signalling pathways in cell mediated processes / P. Kaur, Robin, V. O. Makanjuola [et al.] // *Biomed Pharmacother.* – 2017. – P. 1815–1829. doi: 10.1016/j.biopha.2017.09.081.
10. Panossian A. Understanding adaptogenic activity: specificity of the pharmacological action of adaptogens and other phytochemicals / A. Panossian // *Ann N Y Acad Sci.* – 2017. – Vol. 1401, No. 1. – P. 49–64. doi: 10.1111/nyas.13399.
11. Panossian A. The role of adaptogens in prophylaxis and treatment of viral respiratory infections / A. Panossian, T. Brendler // *Pharmaceuticals (Basel).* – 2020. – Vol. 13, No. 9. – P. 236. doi: 10.3390/ph13090236.
12. Ross S. M. Resistance for strength: the role of phytochemistry adaptogens in stress management / S. M. Ross // *Holist Nurs Pract.* – 2020. – Vol. 34, No. 5. – P. 314–317. doi: 10.1097/HNP.0000000000000408.
13. Adesso S. Astragalus membranaceus extract attenuates inflammation and oxidative stress in intestinal epithelial cells via NF- κ B activation and Nrf2 response / S. Adesso, R. Russo, A. Quaroni [et al.] // *Int J Mol Sci.* – 2018. – Vol. 19, No. 3. – P. 800. doi: 10.3390/ijms19030800.
14. Hao M. Astragaloside IV protects RGC-5 cells against oxidative stress / M. Hao, Y. Liu, P. Chen [et al.] // *Neural Regen Res.* – 2018. – Vol. 13, No. 6. – P. 1081–1086. doi: 10.4103/1673-5374.233452.
15. Li L. Research review on the pharmacological effects of astragaloside IV / L. Li, X. Hou, R. Xu [et al.] // *Fundam Clin Pharmacol.* – 2017. – Vol. 31, No. 1. – P. 17–36. doi: 10.1111/fcp.12232.
16. Liu H. Effects of total flavonoids of astragalus on arrhythmia, endoplasmic reticulum stress in mice with viral myocarditis / H. Liu, B. Hurile, Y. Xiong [et al.] // *Zhongguo Ying Yong Sheng Li Xue Za Zhi.* – 2018. – Vol. 34, No. 1. – P. 16–18. doi: 10.12047/j.cjap.5572.2018.005.
17. Yin Y. Combination of Astragalus membranaceus and Angelica sinensis ameliorates vascular endothelial cell dysfunction by inhibiting oxidative stress / Y. Yin, H. Li, Y. Chen [et al.] // *Evid Based Complement Alternat Med.* – 2020. – P. 2020. doi: 10.1155/2020/6031782.
18. Kondeva-Burdina M. In vitro/in vivo antioxidant and hepatoprotective potential of defatted extract and flavonoids isolated from Astragalus spruneri Boiss. (Fabaceae) / M. Kondeva-Burdina, A. Shkondrov, R. Simeonova [et al.] // *Food Chem Toxicol.* – 2018. – Vol. 111. – P. 631–640. doi: 10.1016/j.fct.2017.12.020.
19. Hanrahan J. R. Flavonoid modulation of GABA(A) receptors / J. R. Hanrahan, M. Chebib, G. A. Johnston // *Br. J. Pharmacol.* – 2011. – Vol. 163. – P. 234–245.

**ANTISTRESS AND ADAPTOGENIC EFFECT EXTRACT OF THE HERB
*ASTRAGALUS VULPINUS***

Sergalievа M. U., Tsibizova A. A., Bashkina O. A., Samotrueva M. A.

*Astrakhan State Medical University, Astrakhan, Russian Federation
E-mail: charlina_astr@mail.ru*

Currently, one of the urgent problems of modern medicine is the problem of human adaptation to the environment. Any stressful effect has a negative effect on the body and initiates the occurrence or exacerbation of the course of neuropsychic and somatic diseases. It has been established that stress is accompanied by activation of free radical oxidation processes, which further aggravates the course of pathological processes. In order to prevent the development of adverse consequences, the use of pharmacological agents that increase the nonspecific resistance of the body, the so-called adaptogens, mainly of natural origin, is required.

In recent years, special attention of researchers has been attracted by perennial herbaceous plants of the large genus *Astragalus* of the *Fabaceae* family. The pharmacological properties inherent in them, the unique composition of biologically active substances of various classes of chemical compounds, the sufficiency of the raw material base justify the expediency of studying representatives of plants of the genus *Astragalus* and developing new effective medicines based on it, including those with stress-protective and adaptogenic properties.

In this regard, the aim of the study is to study the stress-protective and adaptogenic properties of the extract of the herb *Astragalus vulpinus* under conditions of lipopolysaccharide immune stress.

The studies were performed on white non-linear male rats weighing 250–260 g, which were divided into 3 groups: 1st – intact control; 2nd – animals with a model of immune stress formed by a single injection of lipopolysaccharide isolated from microbial cells of *Salmonella typhi*, at a dose of 100 mcg/kg; 3rd – individuals who received intragastric extract of *Astragalus vulpinus* 50 mg/kg/day for two weeks against the background of lipopolysaccharide-induced immune stress. After the animals were removed from the experiment, the presence of stress changes in the internal organs was determined: a decrease in the number of eosinophils, an increase in the mass of the adrenal glands, the presence of erosive and ulcerative changes in the gastric mucosa.

In order to study the antioxidant properties of *Astragalus vulpinus* extract, the intensity of free radical oxidation processes in liver tissue was determined by spectrophotometric method according to the following indicators: the level of TBK-reactive products, the rate of spontaneous and ascorbate- and iron-ion-induced lipid peroxidation and the activity level of the enzyme catalase. The behavior of laboratory animals was studied using the behavioral test «Open Field».

The results of the conducted studies indicate that the 2-week use of *Astragalus vulpinus* extract at a dose of 50 mg/kg/day against the background of immune stress causes a stress-protective effect, which is accompanied by a decrease in the severity of catabolic changes in the internal organs of white rats. *Astragalus vulpinus* extract has a

pronounced antioxidant effect, which is confirmed by its inhibitory effect on the processes of lipid peroxidation, activation of the antioxidant defense system of the body and is consistent with the literature data on the presence of these properties in other representatives of the genus *Astragalus*. It can be assumed that flavonoids and saponins contained in significant amounts in the herb *Astragalus vulpinus*, which have membrane-stabilizing, anti-radical and antioxidant effects, make a major contribution to the realization of the antioxidant activity of this plant.

It should be noted that plants of the genus *Astragalus* have GABAergic activity, which is known to be the main inhibitory mediator of the nervous system. It was found that the decrease in catalase activity in the tissues of internal organs and the brain depends on the concentration of GABA and its conversion into gamma-hydroxybutyric acid, which has an inhibitory effect on the processes of lipoperoxidation. In addition, it has been proven that flavonoids interact with GABA(A)-receptors, thereby determining the anxiolytic activity.

Thus, the extract of the herb *Astragalus vulpinus* significantly increases the body's resistance to lipopolysaccharide-induced immune stress, which is obviously associated with optimizing the balance of stress-implementing and stress-limiting systems of the body, as well as limiting the hyperactivation of free radical oxidation processes and increasing the power of the endogenous antioxidant system.

Keywords: immune stress, lipopolysaccharide, extract *Astragalus vulpinus*, lipid peroxidation, catalase, behaviour.

References

- Oyola M. G., Handa R. J. Hypothalamic-pituitary-adrenal and hypothalamic-pituitary-gonadal axes: sex differences in regulation of stress responsivity. *Stress*, **20(5)**, 476 (2017). doi: 10.1080/10253890.2017.1369523.
- Smallwood M. J., Nissim A., Knight A. R. [et al.] Oxidative stress in autoimmune rheumatic diseases. *Free Radic Biol Med*, **125**, 3, (2018). doi: 10.1016/j.freeradbiomed.2018.05.086.
- Yaribeygi H., Panahi Y., Sahraei H. [et al.] The impact of stress on body function: A review. *EXCLI J*, **16**, 1057, (2017). doi: 10.17179/excli2017-480.
- Franco R., Vargas M. R. Redox biology in neurological function, dysfunction, and aging. *Antioxid Redox Signal*, **28(18)**, 1583, (2018). doi: 10.1089/ars.2018.7509.
- Galluzzi L., Yamazaki T., Kroemer G. Linking cellular stress responses to systemic homeostasis. *Nat Rev Mol Cell Biol*, **19(11)**, 731, (2018). doi: 10.1038/s41580-018-0068-0.
- Gaschler M. M., Stockwell B. R. Lipid peroxidation in cell death. *Biochem Biophys Res Commun*, **482(3)**, 419 (2017). doi: 10.1016/j.bbrc.2016.10.086.
- Ray A., Gulati K., Rai N. Stress, anxiety, and immunomodulation: a pharmacological analysis. *Vitam Horm*, **103**, 1, (2017). doi: 10.1016/bs.vh.2016.09.007.
- Singh A., Kukreti R., Saso L. [et al.], Oxidative stress: a key modulator in neurodegenerative diseases. *Molecules*, **24(8)**, 1583, (2019). doi: 10.3390/molecules24081583.
- Kaur P., Robin, Makanjuola V. O. [et al.], Immunopotentiating significance of conventionally used plant adaptogens as modulators in biochemical and molecular signalling pathways in cell mediated processes. *Biomed Pharmacother*, 1815, (2017). doi: 10.1016/j.biopha.2017.09.081.
- Panossian A. Understanding adaptogenic activity: specificity of the pharmacological action of adaptogens and other phytochemicals. *Ann N Y Acad Sci*, **1401(1)**, 49, (2017). doi: 10.1111/nyas.13399.
- Panossian A., Brendler T. The role of adaptogens in prophylaxis and treatment of viral respiratory infections. *Pharmaceuticals (Basel)*, **13(9)**, 236, (2020). doi: 10.3390/ph13090236.

12. Ross S. M. Resistance for strength: the role of phytochemistry adaptogens in stress management. *Holist Nurs Pract*, **34(5)**, 314, (2020). doi: 10.1097/HNP.0000000000000408.
13. Adesso S., Russo R., Quaroni A. [et al.], Astragalus membranaceus extract attenuates inflammation and oxidative stress in intestinal epithelial cells via NF- κ B activation and Nrf2 response. *Int J Mol Sci*, **19(3)**, 800, (2018). doi: 10.3390/ijms19030800.
14. Hao M., Liu Y., Chen P. [et al.], Astragaloside IV protects RGC-5 cells against oxidative stress. *Neural Regen Res*, **13(6)**, 1081, (2018). doi: 10.4103/1673-5374.233452.
15. Li L., Hou X., Xu R. [et al.], Research review on the pharmacological effects of astragaloside IV. *Fundam Clin Pharmacol*, **31(1)**, 17, (2017). doi: 10.1111/fcp.12232.
16. Liu H., Hurile B., Xiong Y. [et al.], Effects of total flavonoids of astragalus on arrhythmia, endoplasmic reticulum stress in mice with viral myocarditis. *Zhongguo Ying Yong Sheng Li Xue Za Zhi*, **34(1)**, 16, (2018). doi: 10.12047/j.cjap.5572.2018.005.
17. Yin Y., Li H., Chen Y. [et al.], Combination of Astragalus membranaceus and Angelica sinensis ameliorates vascular endothelial cell dysfunction by inhibiting oxidative stress. *Evid Based Complement Alternat Med*, 2020, (2020). doi: 10.1155/2020/6031782.
18. Kondeva-Burdina M., Shkondrov A., Simeonova R. [et al.], In vitro/in vivo antioxidant and hepatoprotective potential of defatted extract and flavonoids isolated from Astragalus spruneri Boiss. (Fabaceae). *Food Chem Toxicol*, **111**, 631, (2018). doi: 10.1016/j.fct.2017.12.020.
19. Hanrahan J. R., Chebib M., Johnston G. A. Flavonoid modulation of GABA(A) receptors. *Br. J. Pharmacol*, **163**, 234, (2011).

УДК 57.04

ОЦЕНКА ПРОТИВОВОСПАЛИТЕЛЬНОЙ АКТИВНОСТИ РЕСВЕРАТРОЛА В МОДЕЛИ ФЕТРОВОЙ ГРАНУЛЕМЫ

*Трибрат Н. С., Румянцева З. С., Горбунов А. А., Ибрагимова М. А.,
Джелдубаева Э. Р., Хусаинов Д. Р., Велишаева О. В.*

*ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет имени В.И. Вернадского», Симферополь,
Республика Крым, Россия
E-mail: miu-miu07@mail.ru*

В статье показана противовоспалительная эффективность ресвератрола в модели фетровой гранулемы. Продемонстрирована антиэкссудативная и антипролиферативная противовоспалительная активность ресвератрола при пероральном его приеме в сравнении с противовоспалительной активностью классических нестероидных противовоспалительных препаратов - напроксеном и ибупрофеном. Кроме того, показана зависимость антиэкссудативной и антипролиферативной противовоспалительной эффективности ресвератрола от его дозы. Приведены предполагаемые механизмы противовоспалительной активности ресвератрола.

Ключевые слова: ресвератрол, ибупрофен, напроксен, противовоспалительная активность.

ВВЕДЕНИЕ

Нарушение микроциркуляции и формирование отека относятся к основным «классическим» признакам начала воспалительной реакции, возникшей в ходе эволюции живой ткани на местное повреждение. В формировании острой воспалительной реакции принимают участие многочисленные медиаторы и модуляторы воспаления (гистамин, серотонин, лизосомальные ферменты, простагландины (ПГ), кинины, цитокины и др.), образование и стадийное выделение которых отражает не только характер и интенсивность повреждающего (провоспалительного) фактора, но и длительность его воздействия. Любое изменение соотношения образования указанных биогенных веществ способствует переходу острого воспаления в хроническую фазу с преобладанием пролиферативного компонента тканевой реакции [1]. Нестероидные противовоспалительные препараты (НПВП) оказывают тормозящее влияние на развитие любого вида воспалительных реакций вне зависимости от характера повреждающего фактора, фазы и стадии процесса. В этой связи при оценке потенциального НПВП целесообразным является исследование его действия как на моделях острого экссудативного, так и хронического пролиферативного воспаления.

Вместе с тем, в настоящее время препараты из группы НПВС широко применяются как в неврологии, так и в ортопедии, стоматологии, а также среди назначений терапевтов в широком спектре патологических процессов, сопровождающихся болевым синдромом. Вместе с тем, широкое применение

препаратов из группы НПВС нередко сопровождается появлением побочных явлений, в числе которых на первом месте стоят кровотечения из области желудочно-кишечного тракта (ЖКТ), а также нарушения кровообращения в почках, бронхоспазм, задержка воды. Кровотечения, сопровождаемые длительным приемом препаратов из группы НПВС, требуют более тщательного контроля их приема, поэтому прием таких средств ограничен, согласно инструкции, 3–5 днями применения. Причиной кровотечений является неселективная блокада циклооксигеназы (ЦОГ1), регулирующей функциональное состояние слизистой органов ЖКТ. Кроме того, блокада ЦОГ1 сопровождается вакантным преобладанием лейкотриенов, в числе которых медленно реагирующие субстанции анафилаксии, что в дальнейшем может привести к бронхоспазму [2].

Вместе с тем, в настоящее время является актуальным поиск препаратов, имеющих высокий профиль безопасности наряду с высокой противовоспалительной эффективностью и доступной ценой. Одним из таких кандидатов в препараты могут выступать природные компоненты, обладающие противовоспалительными свойствами и подавляющими как экссудативную фазу воспалительного процесса, так и пролиферативную. В ряде случаев, при приеме природных веществ, побочные явления сводятся к минимуму проявлений. Одним из таких возможных веществ, обладающих противовоспалительной активностью является ресвератрол – природный фитоалексин, содержащийся в наибольшем количестве в кожуре винограда. Ресвератрол обладает широкой биологической эффективностью – тормозит апоптоз, обладает антиканцерогенным эффектом, проявляет тропность к гормональной системе, поддерживая уровень эстрогенов на функционально значимом уровне, обладает кардиопротекторным действием, нейро- гепато-нефропротекторными свойствами, снижает уровень сахара в крови, изменяет чувствительность тканей к инсулину, что делает его полезным при наличии сахарного диабета второго типа (СД2), значительно улучшает липидный профиль, и, естественно, являясь антиоксидантом, тормозит процессы перекисного окисления липидов (ПОЛ), снижает концентрацию малонового диальдегида (МДА), регулирует уровень ферментов-антиоксидантов и, в том числе, обладает противовоспалительной активностью [3].

Несмотря на значительную изученность этого природного вещества, в доступной литературе не встречались исследования, посвященные оценке противовоспалительных свойств ресвератрола, а именно оценке его влияния на экссудативную и пролиферативную фазы воспаления, также не было найдено в доступной литературе сравнительного анализа противовоспалительного эффекта ресвератрола и других препаратов из ряда НПВС. Поэтому целью настоящей работы явилась оценка противовоспалительной эффективности ресвератрола в модели фетровой гранулемы, позволяющей выявить как антиэкссудативный потенциал, так и противопролиферативный.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Исследование выполнено на базе Центра коллективного пользования научным оборудованием «Экспериментальная физиология и биофизика» КФУ имени В. И. Вернадского в 2022 году

Исследование, посвященное оценке противовоспалительной активности ресвератрола, было выполнено в два этапа. На первом этапе оценивали антиэкссудативную и противопролиферативную активность ресвератрола и других классических препаратов из группы НПВС, имеющих различную тропность к ЦОГ1 и ЦОГ2. Первая часть исследования выполнена на 28 беспородных крысах-самках, в возрасте 8 месяцев, массой 250–300 г, линии *Wistar*.

Животные были разделены на 4 равноценные группы:

Первая группа (n=7) – биологический контроль, интактная группа (К);

Вторая группа (n=7) получала перорально напроксен в дозе 20 мг/кг (Н);

Третья группа (n=7) получала перорально ибупрофен в дозе 20 мг/кг (И);

Четвертая группа (n=7) получала перорально ресвератрол в дозе 20 мг/кг (Р).

Выбор препаратов обусловлен их различной тропностью к ЦОГ1 и ЦОГ2.

Так, если ибупрофен имеет одинаковую тропность к ЦОГ1 и ЦОГ2 и обладает умеренными противовоспалительными свойствами, то напроксен имеет иной профиль тропности к изоформам ЦОГ, а также обладает более сильным противовоспалительным действием, подавляя как экссудативную фазу воспаления, так и пролиферативную (табл. 1).

Таблица 1
Характеристика циклооксигеназы 1 и циклооксигеназы 2 [2]

Препарат	Соотношение ингибирования ЦОГ2/ЦОГ1
Ацетилсалициловая кислота	166
Диклофенак натрия	0,7
Ибупрофен	15
Флурбипрофен	1,3
Индометацин	60
Напроксен	0,6
Ацетоминофен	7,4
Пироксикам	150
Мелоксикам	0,8

Исходя из таблицы 1 видно, что соотношение ЦОГ2/ЦОГ1 у ибупрофена и напроксена значительно отличаются.

Напроксен оказывает выраженное противовоспалительное, анальгезирующее и жаропонижающее действие, обусловленное ингибированием ЦОГ и блокадой синтеза простагландинов, тормозит агрегацию тромбоцитов.

Напроксен и напроксен натрия быстро всасываются из ЖКТ, его биодоступность *in vivo* практически полная – 95 %. $T_{1/2}$ напроксена для различных лекарственных форм находится в диапазоне от 12 до 17 ч.

Ибупрофен оказывает анальгезирующее, жаропонижающее и противовоспалительное действие. Незбирательное блокирует ЦОГ1 и ЦОГ2, нарушая метаболизм арахидоновой кислоты, уменьшает количество

простагландинов как в здоровых тканях, так и в очаге воспаления, подавляет экссудативную и пролиферативную фазы воспаления.

Для оценки противовоспалительной активности ресвератрола всем животным внедряли фетровый диск под кожу. Для этого выбривали участок кожи, под который в дальнейшем имплантировали фетровый диск. В период вшивания фетрового диска животные находились в условиях газового наркоза. Кожу разрезали скальпелем, после чего под кожу внедряли стерильную фетровую пластинку, массой 23 мг, после чего кожу зашивали. Все манипуляции с животными проводились в асептических условиях. Длительность имплантации фетрового диска составила 7 суток, в течение которых все животные осуществляли пероральный прием НПВС и ресвератрола ежедневно.

На 8-е сутки извлекали фетровый диск с нарощими грануляциями и экссудатом, после чего производили взвешивание влажной гранулемы и повторное взвешивание сухой гранулемы для определения антиэкссудативной и антипролиферативной активности препаратов.

Так, активности экссудативной фазы определяли по формуле

$$m_{\text{экссудат}} = m_{\text{сырая гранулема}} - m_{\text{высушенная гранулема}}, \quad (1)$$

где $m_{\text{экссудат}}$ – масса влажной гранулемы (фетрового диска) за вычетом массы сухой гранулемы (высушенного фетрового диска);

После полного высушивания фетровой пластины, осуществляли повторное взвешивание для определения активности пролиферативной фазы воспаления, которую определяли по следующей формуле

$$m_{\text{пролиф.}} = m_{\text{высуш. гранулема}} - m_{\text{исходного фетрового диска}}, \quad (2)$$

где $m_{\text{пролиф.}}$ – масса сухой гранулемы за вычетом массы самого фетрового диска.

Вторая часть исследования посвящена оценке зависимости антиэкссудативной и антипролиферативной от дозы ресвератрола.

Вторая часть исследования была выполнена на 21 крысе, где оценивали антиэкссудативную и антипролиферативную эффективность:

- ресвератрола в дозе 10 мг/кг;
- ресвератрола в дозе 20 мг/кг;
- ресвератрола в дозе 40 мг/кг.

По аналогии с предыдущим циклом, зашивали фетровый диск под кожу животных, с последующим 7-мисуточным пероральным употреблением ресвератрола в соответствующих дозах, после чего производили взвешивание сухой и влажной гранулем.

Все животные содержались в стандартных условиях вивария при температуре 18–22°C на подстиле «Рехофикс МК 2000» (на основе початков кукурузы) с естественным 12-тичасовым свето-темновым циклом, свободным доступом к воде и полноценному гранулированному корму (ГОСТ 33215-2014 «Руководство по содержанию и уходу за лабораторными животными. Правила оборудования помещений и организации процедур»).

Исследование проведено в соответствии с ГОСТ Р-53434-2009 «Принципы надлежащей лабораторной практики» и правилами Европейской конвенции по

защите позвоночных животных, используемых для экспериментальных и иных научных целей.

Статистическая обработка материала проводилась путем вычисления среднего значения исследуемых величин (M) и его ошибки (m).

Оценка достоверности межгрупповых различий полученных данных проводилась с использованием критерия Манна-Уитни.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Как было показано в настоящем исследовании, масса влажной гранулемы в контрольной группе животных спустя 7 суток подкожной имплантации составила 280 мг (табл. 2).

Таблица 2
Значения масс сухой и влажной гранулемы, полученные в модели фетровой гранулемы у животных различных групп, при приеме нестероидных противовоспалительных препаратов, а также ресвератрола в эквивалентной дозе 20 мг/кг, а также в контрольной группе животных

Исследуемые препараты	Масса влажной гранулемы, мг	% экссудативной фазы от контроля	Масса сухой гранулемы, мг	% пролиферативной фазы от контроля
Контроль	280±23	-	80±4,1	-
Ресвератрол	187±11 p<0,05	66,78 %	55±4,2 p<0,05	68,75 %
Ибупрофен	185±12	66,07 %	53±3,2 p<0,05	66,25 %
Напроксен	137±14 p<0,05 p ₁ <0,05	48,92 %	35±3,6 p<0,05	37,50 %

Примечание: достоверность межгрупповых различий при p<0,05 по непараметрическому критерию Манна-Уитни в сравнении с контрольной группой животных; p₁<0,05 – достоверность межгрупповых различий по критерию Манна-Уитни между группой животных, употреблявший напроксен и группами животных, употреблявших ресвератрол и ибупрофен.

Масса влажной гранулемы при приеме исследуемых препаратов была существенно ниже, чем в контроле.

Масса влажной гранулемы в группе животных, употреблявших в течение 7 суток ресвератрол в дозе 20 мг/кг, составила 187 мг, что на 33,21 % (p<0,05) ниже в сравнении с данными этого показателя, зарегистрированными в контрольной группе животных (рис. 1).

Масса влажной гранулемы, после 7-мисуточного употребления ресвератрола в дозе 20 мг/кг была аналогична массе влажной гранулемы, полученной после недельного употребления животными ибупрофена в дозе 20 мг/кг, которая составила 185 мг, что на 33,93 % ($p < 0,05$) ниже в сравнении с данными этого показателя, зарегистрированными в контрольной группе крыс (рис. 1).

Масса влажной гранулемы, после 7-мисуточного употребления напроксена в дозе 20 мг/кг составила 137 мг, что на 51,07 % ($p < 0,05$) ниже, чем данные этого показателя, зарегистрированные в контрольной группе животных. Межгрупповые различия с данными массы влажной гранулемы, зарегистрированной после приема напроксена и ибупрофена, составили 26,73 % ($p < 0,05$), межгрупповые различия между массой влажной гранулемы при приеме напроксена и ресвератрола составили и 25,94 % ($p < 0,05$) соответственно (см. табл. 2 рис. 1).

Таким образом, все тестируемые препараты подавляли экссудативную фазу воспаления в модели фетровой гранулемы. Однако антиэкссудативная активность ресвератрола в дозе 20 мг/кг проявила аналогичную антиэкссудативную активность ибупрофена. Наибольшую антиэкссудативную активность проявляет напроксен, о чем свидетельствуют самые низкие значения массы фетровой гранулемы и наличие межгрупповой разницы с массами гранулемы, полученными после употребления как ибупрофена, так и ресвератрола.

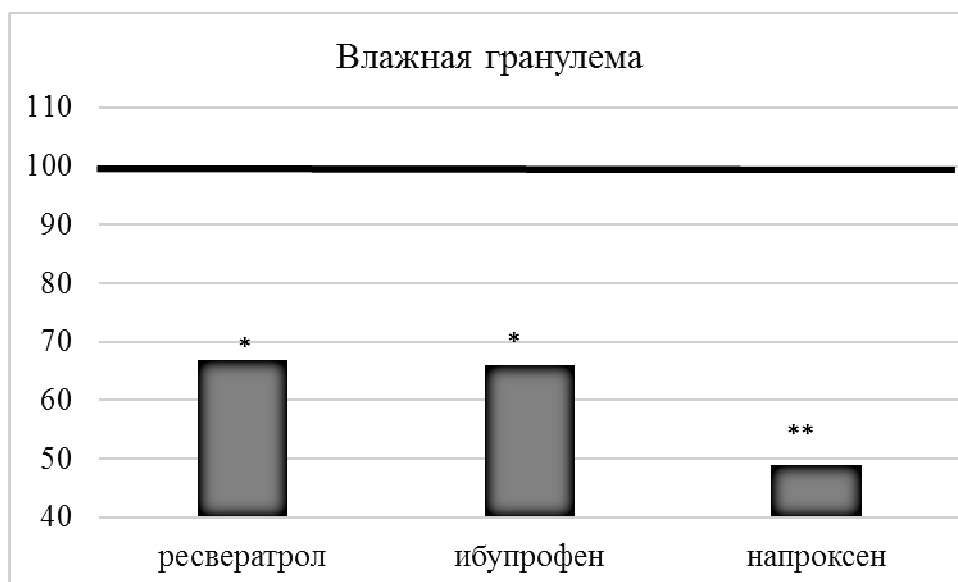


Рис. 1. Значения показателя массы влажной гранулемы, зарегистрированные при приеме исследуемых препаратов в процентах, относительно данных этого показателя, зарегистрированных в контрольной группе, значения которой приняты за 100 %.

Примечание: достоверность межгрупповых различий по критерию Манна-Уитни * при $p < 0,05$ относительно значений, зарегистрированных в контрольной группе, межгрупповые различия Δ – при $p < 0,05$, при приеме ресвератрола и напроксена, а также межгрупповые различия при приеме ибупрофена и напроксена.

Масса сухой гранулемы в контрольной группе животных составила 80 мг (см. табл. 2). Практически все тестируемые препараты угнетали пролиферативную фазу воспаления в тесте фетровой гранулемы, однако, в разной степени.

Так, недельный прием ресвератрола в дозе 20 мг/кг, способствовал снижению активности пролиферативной фазы воспаления в сравнении с контрольной группой. Так, масса сухой гранулемы в группе животных, принимавших ресвератрол, составила 55 мг, что на 31,25 % ($p < 0,05$) ниже в сравнении с данными массы сухой гранулемы, полученными у животных контрольной группы (рис. 2).

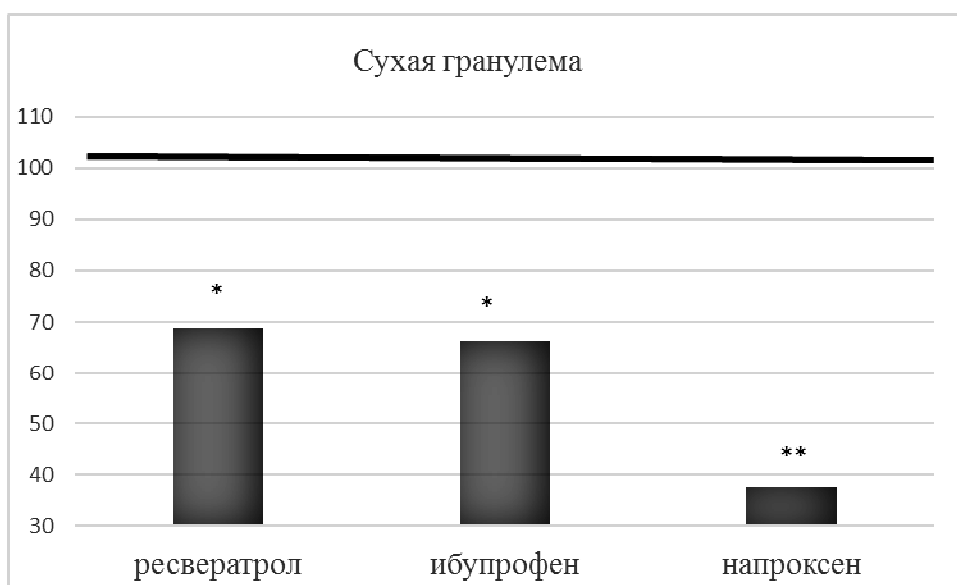


Рис. 2. Значения показателя массы сухой гранулемы, зарегистрированные при приеме исследуемых препаратов в процентах, относительно данных этого показателя, зарегистрированных в контрольной группе, значения которых приняты за 100 %.

Примечание: достоверность межгрупповых различий по критерию Манна-Уитни * при $p < 0,05$, ** при $p < 0,01$ относительно значений, зарегистрированных в контрольной группе, межгрупповые различия Δ – при $p < 0,05$, при приеме ресвератрола и напроксена, а также Δ – межгрупповые различия при приеме ибупрофена и напроксена.

Ибупрофен угнетал пролиферативную фазу воспаления аналогично ресвератролу. Так, масса сухой гранулемы в группе животных, употреблявших в течение недели ибупрофен составила, 53 мг, что на 33,75 % ($p < 0,05$) ниже, в сравнении с данными массы сухой гранулемы, полученной в группе контроля (рис. 2, см. табл. 2).

Недельный прием напроксена привел к снижению активности пролиферативной фазы воспаления на 62,5 % ($p < 0,05$). Кроме того, отмечались межгрупповые

различия по показателю массы сухой гранулемы при приеме напроксена и ресвератрола, а также при приеме напроксен и ибупрофена.

Так, межгрупповые различия по показателю массы сухой гранулемы при приеме напроксена и ибупрофена составили 43,39 % ($p < 0,05$), различия по массе сухой гранулемы при приеме напроксена и ресвератрола составили 45,45 % ($p < 0,05$).

Таким образом, аналогично экссудативной фазе, в отношении фазы пролиферации, отмечается практически идентичная антипролиферативная активность ибупрофена и ресвератрола в эквивалентных дозировках. Однако наибольшим подавляющим действием на развитие грануляций обладает, как это было показано в настоящем исследовании, напроксен.

Второй цикл исследования был посвящен оценке дозовой зависимости противовоспалительного эффекта ресвератрола.

Прием ресвератрола животными в дозе 10 мг/кг способствует снижению выраженности экссудативной фазы воспаления в наименьшей степени. Так, масса влажной гранулемы при недельном приеме ресвератрола в дозе 10 мг/кг составила 210 мг, что на 25 % ($p < 0,05$) ниже, в сравнении с данными массы влажной гранулемы, зарегистрированными в контрольной группе животных (табл. 3).

Таблица 3
Значения масс сухой и влажной гранулем, полученные в модели фетровой гранулемы у животных разных групп, при пероральном приеме ресвератрола в различных дозах

Дозы ресвератрола	Масса влажной гранулемы, мг	% экссудативной фазы от контроля	Масса сухой гранулемы, мг	% пролиферативной фазы от контроля
Контроль	280±23	-	80±4,1	-
Ресвератрол, 10 мг/кг	210±26 $p < 0,05$	75,00 %	64±3,7	80 %
Ресвератрол 20 мг/кг	187±11 $p < 0,05$	66,78 %	55±4,2 $p < 0,05$	68,75 %
Ресвератрол 40 мг/кг	176±32 $p < 0,05$	62,85 %	42±3,8 $p < 0,05$	52,50 %

Примечание: достоверность межгрупповых различий при $p < 0,05$ по непараметрическому критерию Манна-Уитни в сравнении с контрольной группой животных.

Наибольшую антиэкссудативную активность демонстрировал ресвератрол в дозе 40 мг/кг. В то время как именно прием ресвератрола в дозе 20 мг/кг является оптимальным для функционирования организма человека и животных вне побочных эффектов. Стоит отметить, что в отношении экссудативной фазы прием ресвератрола в дозе 20 мг/кг и 40 мг/кг оказывал антиэкссудативный эффект практически одинаковой степени выраженности. Так, недельный прием животными ресвератрола в дозе 40 мг/кг способствовал снижению экссудативной фазы

воспаления на 37,14 % ($p < 0,05$), в то время как недельный прием ресвератрола в дозе 20 мг/кг снижал экссудативную фазу воспаления на 33,21 % ($p < 0,05$).

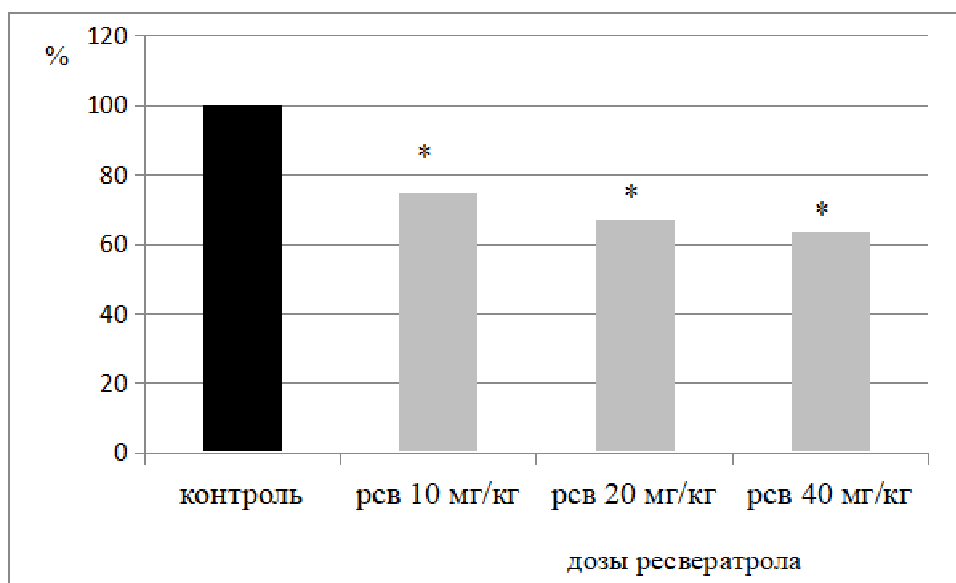


Рис. 3. Значения показателя массы влажной гранулемы, зарегистрированные при приеме ресвератрола в различных дозах, относительно данных этого показателя, зарегистрированных в контрольной группе, значения которых приняты за 100 %.

Примечание: достоверность межгрупповых различий по критерию Манна-Уитни * при $p < 0,05$.

Таким образом, недельный прием ресвератрола обладает антиэкссудативным эффектом, зависящим от его дозы. Дозовая зависимость носит линейный характер – антиэкссудативная эффективность увеличивается пропорционально росту дозы.

В отношении пролиферативного воспаления ресвератрол также демонстрировал дозозависимый эффект.

Так, недельный прием ресвератрола в дозе 10 мг/кг способствовал снижению пролиферативного воспаления, однако, не достигая достоверных различий в сравнении с данными группы контроля.

Прием ресвератрола в дозе 20 мг/кг способствовал снижению массы сухой гранулемы на 31,25 % ($p < 0,05$) в сравнении с массой сухой гранулемы, полученной в контроле (рис. 4, см.табл. 3).

Прием ресвератрола в дозе 40 мг/кг оказывал максимальную противоопролиферативную активность, способствуя снижению массы сухой гранулемы на 47,50 % ($p < 0,05$) (рис. 4, см. табл. 3).

Таким образом, ресвератрол в отношении противоопролиферативной активности также демонстрирует дозозависимый характер, где статистически значимый эффект отмечался при дозе 20 мг/кг, увеличиваясь по мере возрастания дозы.

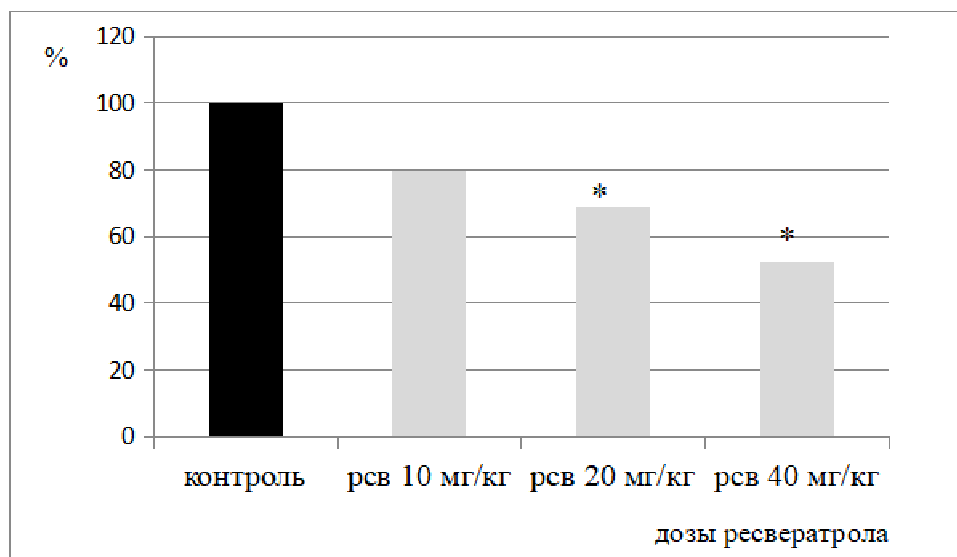


Рис. 4. Значения показателя массы сухой гранулемы, зарегистрированные при приеме ресвератрола в различных дозах, относительно данных этого показателя, зарегистрированных в контрольной группе, значения которых приняты за 100 %.
Примечание: достоверность межгрупповых различий по критерию Манна-Уитни * при $p < 0,05$.

Максимальная антипролиферативная активность ресвератрола достигалась в дозе 40 мг/кг, однако она не достигала антипролиферативной активности напроксена в дозе 20 мг/кг.

Таким образом, как было показано в настоящем исследовании, 7-мисуточный пероральный прием ресвератрола снижает активность, как экссудативной фазы воспаления, так и пролиферативной в модели фетровой гранулемы. Как было показано, противовоспалительная активность ресвератрола носит дозо-зависимый характер. Так, минимальная антиэкссудативная активность ресвератрола проявляется уже в дозе 10 мг/кг. Стоит отметить, что эффективность исследуемого вещества в наиболее оптимальной дозировке – 20 мг/кг проявляет существенно большие противовоспалительные свойства и по силе своей противовоспалительной активности, может быть сопоставлен с приемом ибупрофена в эквивалентной дозе 20 мг/кг. Наибольшая противовоспалительная активность ресвератрола была продемонстрирована при его пероральном недельном приеме в дозе 40 мг/кг, как в отношении экссудативной фазы, и в особенности, в отношении пролиферативной фазы. Однако даже недельный прием высокой дозировки ресвератрола (40 мг/кг) уступает противовоспалительной активности напроксена, принимаемому в течение 7 дней в дозировке 20 мг/кг.

Ибупрофен, являясь классическим препаратом их группы НПВС, подавляет цикл арахидоновой кислоты, отличается избирательностью в отношении ЦОГ1 и ЦОГ2, что подавляет активность ПГ. Этим и обусловлено снижение экссудативной фазы воспаления при недельном приеме ибупрофена.

Механизм действия напроксена, как и других НПВС, до конца не изучен, но включает ингибирование ЦОГ. Напроксен является сильным ингибитором синтеза ПГ *in vitro*, вероятно этим обусловлена самая высокая антиэкссудативная активность напроксена. Напроксен в концентрациях, достигаемых во время терапии, оказывает эффект *in vivo*.

Ресвератрол, являясь природным полифенольным антиоксидантом, представляет собой фитоалексин, содержащийся во многих растениях, включая виноград, орехи и ягоды. Будучи фенольным соединением, ресвератрол, обладает низкой биодоступностью и быстрым клиренсом из плазмы. Недавний растущий интерес к различным защитным свойствам ресвератрола может также с клинической точки зрения занять достойное место в качестве лучшей альтернативы противовоспалительным препаратам [3].

Механизм противовоспалительного действия ресвератрола связывают с его воздействием на белки семейства сиртуинов (*Sirt*). *Sirt* представляют собой белки, регулирующие как экспрессию генов, так и устраняющие повреждения ДНК. *Sirt1* активируются за счет функционирования циклического аденозинмонофосфата (цАМФ), запускающего протеинкиназу А (ПКА), которая, в свою очередь, фосфорилирует и активирует их [4].

Посредством воздействия на сиртуины, ресвератрол стимулирует первую их функцию – активирует белки семейства *FOXO* (*forkhead box O*), ответственные за экспрессию генов, контролирующие такие процессы как пролиферация, дифференцировка, а также апоптоз и реакцию на внешние стрессы. Стоит отметить, что главной функцией белков семейства *FOXO* является их защита от неблагоприятных факторов внешней среды, посредством активации защитных механизмов [3]. Таким образом, ресвератрол, активируя *Sirt1*, подавляет воспаление.

Ряд исследований, посвященных изучению структуры, свидетельствуют о том, что связывание ресвератрола с *Sirt1*, модулируя его структуру, усиливает активность связывания с его субстратом [5], что может быть полезным при воспалительных процессах аутоиммунного характера, в частности, в лечении СДІ типа, энцефаломиелита и ревматоидного артрита [6, 7].

Один из основных субстратов *Sirt1* является *p65/RelA* [8, 9], а также член *NF-κB*, который является основным регулятором активация лейкоцитов и передачи сигналов воспалительных цитокинов [10].

Фактор *NF-κB* - нуклеарный фактор каппа-би, занимающий центральную роль в реализации воспалительной реакции, стимулируя провоспалительные цитокины, посредством стимуляции синтеза арахидоновой кислоты с последующим разрастанием образования индукторов воспалительного процесса.

Активация *Sirt1* ресвератролом вызывает ингибирование ацетилирования *RelA*, что, в свою очередь, снижает индуцированную *NF-κB* экспрессию провоспалительных факторов, а именно *TNF-α*, *ИЛ-1β*, *ИЛ-6*, металлопротеазы (*MMP*)-1 и *MMP3* и *COX-2* [10]. Таким образом, способность *NF-κB* таргетировать гены хемокинов, цитокинов, иммунных рецепторов, молекул клеточной адгезии, провоцирующих развитие провоспалительного эффекта [10], вероятнее всего,

является ключом противовоспалительной функции ресвератрола и других полифенольных соединений [12, 13]. Кроме непосредственного действия на центральную мишень воспаления – *NF-κB*, прием ресвератрола способствует снижению транскрипционного фактора – *Nrf2*, контролирующего детоксикационные ферменты, активирующиеся в ответ на окислительный стресс, что обеспечивает защиту от апоптоза – [12], что доказывает противовоспалительную роль ресвератрола в хроническом воспалении. Параллельно с этим, прием ресвератрола сопровождается наращиванием синтеза основных ферментов-антиоксидантов: супероксиддисмутазы, глутатионпероксидазы и каталаза [14].

Вероятно, ингибируя на *NF-κB*, а также *Nrf2* ресвератрол снижает интенсивность экссудативной фазы воспаления, особенно в перспективе длительного приема, поскольку нарушается синтез факторов воспаления. По всей видимости, эффекты однократного приема ресвератрола не были бы столь значительными, что связано с активацией вторичных посредников и активацией или подавлением соответствующих протеинкиназ, требующих некоторого времени для изменения их функции.

Кроме самого ресвератрола, огромный ряд других полифенольных соединений демонстрирует свойства ингибировать указанные ферменты, что сопровождается ослаблением выраженности воспалительной реакции [15–18].

Однако недельный прием ресвератрола в дозе 20 мг/кг и 40 мг/кг демонстрирует не только антиэкссудативную активность, но и противоопролиферативную, сопоставимую с противоопролиферативной активностью, зарегистрированную при недельном приеме ибупрофена в дозе 20 мг/кг в модели фетровой гранулемы.

По всей видимости, противоопролиферативная активность ресвератрола, продемонстрированная в настоящем исследовании, обусловлена противовоспалительным профилем действия исследуемого фитоалексина в макрофагах и других клетках, способных к фагоцитозу [19]. Поскольку, пролиферативная фаза воспаления или же продуктивная фаза, является реакцией организма, при которой формируется защитный барьер с преобладанием клеточных и тканевых элементов, которые могут быть представлены полиморфно-клеточными, лимфоцитарно-моноцитарными, макрофагальными, плазмноклеточными, эпителиоидно-клеточными, элементами.

Макрофаги, дифференцируясь от моноцитов крови, способны участвовать как во врожденном, так и в приобретенном иммунитете. Макрофаги, являясь гетерогенным пулом клеток с широким спектром биологической активности, функционируют в зависимости от их расположения, а также в зависимости от их ответа на внешние сигналы, поступающие из тканевого микроокружения [20].

Sirt1, активированные ресвератролом, играет прямую регулируемую роль в функциях макрофагов во время воспаления. Фактор транскрипции *NF-κB RelA/p65* был обнаружен в макрофагах из миелоид-специфического *Sirt1* нокаутных мышей, что указывает на то, что противовоспалительная активность *Sirt1* в макрофагах проявляется, по крайней мере, частично за счет подавления *NF-κB* [21].

Примечательно, что ресвератрол также сильно снижает продукцию гранулоцитарно-макрофагальных клеток, колониестимулирующего фактора (*GM-CSF*) [22] – провоспалительного цитокина, действующего на врожденный и приобретенный иммунитет, необходимый для выживания/дифференциации/активации провоспалительных макрофагов [23].

В исследованиях было показано, что дозозависимое увеличение внеклеточного малонового диальдегида (МДА) и *NO* без влияния их внутриклеточный уровень, эффективно устраняется ресвератролом. При этом, активация моноцитов и макрофагов индуцирует *NF-κB*-зависимую транскрипцию хемокинов, таких как *CXCL8/IL-8*, *CXCL10/IP-10*, *CCL2/MCP1* и *CCL5/RANTES* [23, 24], увеличивает экспрессию CD14, киназы, ассоциированной с рецептором интерлейкина-1 (*IRAK1*), и фосфорилированной формы белка *p38 MAPK*. Последние контролируют транскрипцию генов, метаболизм, пролиферацию и подвижность клеток, апоптоз и другие процессы.

Ресвератрол предотвращает действие активированных моноцитов и макрофагов, снижая экспрессию CD14 и *IRAK1* [25]. Дальнейшее исследование показало, что прием ресвератрола приводил к снижению индуцированного активированными макрофагами и моноцитами прооксидантного эффекта в клеточной линии *AR42J* посредством *Myd88*-зависимой передачи сигналов, связанных с передачей сигналов от *TLR*.

С другой стороны, в группе, получавшей ресвератрол, наблюдалась повышенная инфильтрация альвеолярных макрофагов, повышенная активность *NK*-клеток, снижение бактериальной нагрузки в легких и снижение смертности. Эти данные свидетельствуют о двухфазном эффекте ресвератрола, зависящем от концентрации – стимулирование клеточного апоптоза через сигнальные пути каспазы в диапазоне высоких концентраций и наоборот.

Из-за избытка липопротеидов макрофаги, как главные фагоциты могут претерпевать трансформацию в пенистые клетки. В работе [26] было показано, что ресвератрол подавляет образование пенистых клеток, регулируя экспрессию воспалительного цитокина *MCP-1* и активируя сигнальный путь *AMPK-SIRT1-PPAR*. Кроме того, ресвератрол изменяет морфологию клеток, экспрессию генов, взаимодействия лиганд-рецептор, сигнальные пути и образование пенистых клеток [25–28].

Стоит отметить, что *in vitro*, клетки, обработанные ресвератролом, менее чувствительны к *TNF-α*-индуцированной передаче сигналов и инициации апоптоза, действуя как двойной блок на сигнальном пути *NF-κB* [29].

Другим механизмом действия по уничтожению клеток-мишеней является секреция ряда эффекторных цитокинов, таких как *IFN-γ*, *IL-5*, *IL-10*, *IL-13* и *GM-CSF* после достижения определенных стадий дифференцировки *NK*-клеток (натуральных киллеров).

NK-клетки также секретируют различные хемокины, включая лиганд хемокинового мотива С-С (*CCL*), такие как *CCL2*, *CCL3*, *CCL4*, *CCL5*, моноцитарно-хемоаттрактантный белок (*MCP-1*), макрофагальный воспалительный белок (*MIP-1α*) и (*MIP-1β*), *RANTES*, лиганд 1 мотива хемокина X-C (*XCL1*, лимфотактин)

и ИЛ-8. *NK*, взаимодействующие с другими иммунными клетками, такими как дендритные клетки в областях воспаления, модулируют врожденный и приобретенный иммунный ответ [30].

Рецепторы поверхности *NK*-клеток, таких как рецепторы семейства лектиноподобных *S*-типа и клетки-киллеры иммуноглобулиноподобные рецепторы (*KIR*), которые ингибируют и/или активируют сигнальные каскады. Определенные рецепторы активации человека, такие как различные *KIR*, или рецепторы естественной цитотоксичности (*NCR*), такие как *NKp30*, *NKp44*, *NKp46* и *NKp80* активируют сигнал через пути, зависимые от протеинтирозинкиназы.

Цитотоксическая активность *NK*-клеток повышается при низкой концентрации ресвератрола, тогда как при высокой концентрации она подавляется [31].

Ресвератрол регулирует экспрессию тол-подобный рецепторов (*TLR4*) [32]. *TLR* при этом является классом клеточных рецепторов, ответственных за распознавание консервативных структур микроорганизмов и активацию клеточного иммунитета. Следовательно, ресвератрол можно использовать для лечения воспалительных реакций, опосредованных *TLR*. Кроме того, хронические заболевания, связанные с активацией *TLR*, включая ожирение, СД2, заболевания печени, болезнь Крона, ревматоидный артрит, сердечно-сосудистые и нейродегенеративные заболевания также можно успешно корректировать с помощью ресвератрола.

Известно, что молекулярная регуляция воспалительной реакции в значительной степени модулируется факторами транскрипции. Дополнительные исследования показали, что ресвератрол оказывает противовоспалительное действие, ослабляя *TLR4-TRAF6*, митоген-активированную протеинкиназу (*MAPK*), и пути *AKT* в *LPS*-индуцированных макрофагах [33]. При этом, сигнальный путь *MAPK* контролирует транскрипцию генов, метаболизм, пролиферацию и подвижность клеток и апоптоз. *AKT* путь отвечает за уход от апоптоза, а также за рост, пролиферацию клеток, метаболизм.

Не так давно было показано что ресвератрол предотвращает увеличение ацетилированного α -тубулина, вызванного повреждением митохондрий в макрофагах, стимулированные индукторами семейства *NOD*-подобных рецепторов, пиринового домена, содержащего (*NLRP3*) инфламмосомы. Инфламмосома – белковый комплекс, отвечающий за воспалительный процесса посредством секреции провоспалительных цитокинов. Последние, в свою очередь, отвечают за программированную некротическую гибель – пироптоз. Нарушение регуляции инфламмосомы приводит к ряду заболеваний. *NLRP3* является цитозольным белком, *NOD*-подобного рецептора семейства *NALP*, вовлеченных в активацию каспаз – известных ферментов апоптоза и образованию зрелых форм ИЛ 1- β и ИЛ-18. Поскольку ресвератрол влияет на формирование оптимального место сборки *NLRP3* и *ASC* и, в свою очередь, ингибирует активацию *NLRP3*-инфламмосомы, это свидетельствует в пользу того, что ресвератрол может являться эффективным препаратом для лечения воспалительных заболеваний, связанных с *NLRP3* [34].

Таким образом, ресвератрол и ибупрофен в эквивалентных дозах проявляют умеренно антиэкссудативную активность, снижая процессы экссудации в среднем на треть и умеренную антипролиферативную активность. Наибольшую

антиэкссудативную и антипролиферативную активность проявляет синтетический препарат напроксен, эффективно подавляя как фазу экссудации, так и пролиферации более, чем на 50 %. Противовоспалительные эффекты напроксена и ибупрофена обусловлены подавлением активности различных форм ЦОГ в различной степени. Антиэкссудативная активность ресвератрола, по-видимому, обусловлена активацией сиртуинов и ингибированием *NF- κ B* и *NFr2*, антипролиферативная активность ресвератрола обусловлена способностью снижать активность активированных макрофагов в определенном дозовом диапазоне.

Антиэкссудативная активность ресвератрола показана в диапазоне доз 10–40 мг/кг, антипролиферативная активность ресвератрола показана для доз 20 мг/кг и 40 мг/кг.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, ресвератрол проявляет антиэкссудативную активность аналогично ибупрофену, снижая на треть выраженность воспалительной реакции при пероральном приеме в эквивалентной дозе 20 мг/кг. Наибольшую антиэкссудативную активность демонстрирует напроксен. Антипролиферативная активность ресвератрола также сопоставима с антипролиферативной активностью ибупрофена при приеме в эквивалентной дозе 20 мг/кг. Напроксен в аналогичной дозе оказывает наибольшую антипролиферативную активность. Эффективность противовоспалительной активности ресвератрола пропорциональна его дозе. Антиэкссудативная эффективность ресвератрола нарастает по мере возрастания дозы от 10 мг/кг до 40 мг/кг. Противопролиферативная активность ресвератрола отмечается при дозе 20 мг/кг и нарастает при дозе 40 мг/кг.

Список литературы

1. Зайчик А. Ш. Патологическая физиология / А. Ш. Зайчик, Л. П. Чурилов. – С-Пб.: ЭЛБИ». – 2007. – 768 с.
2. Филипович-Сосновска А. Новости фармации и медицины / Филипович-Сосновска А. – 1997. – № 5–6. – С. 89–94.
3. Das S. Anti-inflammatory responses of resveratrol. / S. Das, D. K. Das // *Inflamm Allergy Drug Targets*. – 2007. – Vol. 6(3). – P. 168–73.
4. Nakayama H. Resveratrol induces apoptosis M7A human rheumatoid arthritis synovial cells in a sirtuin 1-dependent manner / H. Nakayama, T. Yaguchi, S. Yoshiya et al. // *Rheumatol. Int.* – 2012. – Vol. 32. – P. 151–157.
5. Borra M. T. Mechanism of human SIRT1 activation by Resveratrol / M. T. Borra, B. C. Smith, J. M. Denu // *J. Biol. Chem.* – 2005. – 280. – P. 17187–17195.
6. Lee S. K. Evaluation of the antioxidant potential of natural products / S. K. Lee [et al.] // *Comb. Chem. High Throughput Screen.* – 1998. – № 1. – P. 35–46.
7. Xuzhu G. Resveratrol modulates murine collagen-induced arthritis by inhibiting Th17 and B-cell function / G. Xuzhu, M. Komai-Koma, B. P. Leung et al. // *Ann Rheum Dis.* – 2012. – Jan, 71(1). – P. 129–35.
8. Yeung F. Modulation of NF- κ B-dependent transcription and cell survival by the SIRT1 deacetylase / F. Yeung, J. E. Hoberg, C. S. Ramsey et al. // *MW EMBO J.* – 2004. – Jun 16. – Vol. 23(12). – P. 2369–80.
9. Bonizzi G. The two NF- κ B activation pathways and their role in innate and adaptive immunity / G. Bonizzi, M. Karin // *Trends Immunol.* – 2004. – Jun, 25(6). – P. 280–8.
10. Yamamoto Y. Therapeutic potential of inhibition of the NF- κ B pathway in the treatment of inflammation and cancer / Y. Yamamoto, R. B. Gaynor // *J. Clin. Investig.* – 2001. – Vol. 107. – P. 135–142.

11. Szelag A. Assessment of efficacy of quercetin-5'- sulfonic acid sodium salt in the treatment of acute chromium poisoning: Experimental studies / A. Szelag, J. Magdalan, M. Kopacz et al. // *Pol J Pharmacol.* – 2003. – Vol. 55(6). – P.1097.
12. Ghanim H. A resveratrol and polyphenol preparation suppresses oxidative and inflammatory stress response to a high-fat, high-carbohydrate meal / H. Ghanim, C. L. Sia, K. Korzeniewski et al. // *J Clin Endocrinol Metab.* – 2011. –Vol. 96 (5). – P. 1409.
13. Wong R. H. Acute resveratrol supplementation improves flow-mediated dilatation in overweight/obese individuals with mildly elevated blood pressure / R. H. Wong, P. R. Howe, J. D. Buckley et al. // *Nutr. Metab. Cardiovasc. Dis.* – 2011. – Vol. 21 (11). – P 851.
14. Spanier G. Resveratrol reduces endothelial oxidative stress by modulating the gene expression of superoxide dismutase 1 (SOD1), glutathione peroxidase 1 (GPx1) and NADPH oxidase subunit (Nox4) / G. Spanier, H. Xu, N. Xia et al. // *J. Physiol. Pharmacol.* – 2009. – Vol. 60. – P. 111.
15. Азарова О. В. Флавоноиды: механизм противовоспалительного действия / Азарова О. В., Галактинова Л. П. // *Химия растит. сырья.* – 2012. – № 4. – С. 61–78.
16. Ткачев В. О. Механизм работы сигнальной системы Nrf2/Keap1/ARE. Обзор / Ткачев В. О., Меньщикова Е. Б., Зенков Н. К. // *Биохимия.* – 2011. – Т. 76, № 4. – С. 502–519.
17. Chen S. Natural products triggering biological targets — a review of the anti-inflammatory phytochemicals targeting the arachidonic acid pathway in allergy asthma and rheumatoid arthritis / S. Chen // *Curr Drug Targets.* – 2011. –Vol. 12(3). – P. 88–301.
18. A. Garcia-Lafuente. Flavonoids as anti-inflammatory agents: Implications in cancer and cardiovascular disease / A. Garcia-Lafuente, E. Guillaumon, A. Villares, et al. // *Inflamm Res.* – 2009. – Vol. 58(9). – P. 537.
19. Bonizzi G. The two NF-kappaB activation pathways and their role in innate and adaptive immunity / G. Bonizzi, M. Karin // *Trends Immunol.* – 2004. – Jun, 25(6). – P. 280–8.
20. Saiko P. Resveratrol and its analogs: defense against cancer, coronary disease and neurodegenerative maladies or just a fad? / P. Saiko, A. Szakmary, W. Jaeger // *Mutat Res.* – 2008, Jan-Feb. – Vol. 658(1-2). – P. 68–94.
21. Schug T. T. Myeloid deletion of SIRT1 induces inflammatory signaling in response to environmental stress / T. T. Schug, Q. Xu, H. Gao et al. // *Mol. Cell. Biol.* – 2010. – Vol. 30. – P. 4712–4721.
22. Schwager J. Resveratrol distinctively modulates the inflammatory profiles of immune and endothelial cells / J. Schwager, N. Richard, F. Widmer et al. // *Raederstorff D.BMC Complement Altern Med.* – 2017. – Jun 13. – Vol. 17(1). – P. 309.
23. Murray P. J. Macrophage activation and polarization: Nomenclature and experimental guidelines / P. J. Murray, J. E. Allen, S. K. Biswas et al. // *Immunity.* – 2014. – Vol. 41. – P. 14–20.
24. Arango Duque G. Macrophage cytokines: Involvement in immunity and infectious diseases / G. Arango Duque, A. Descoteaux // *Front. Immunol.* – 2014. – Vol. 5. – P. 491.
25. H. Sebai Protective effect of Resveratrol against LPS-induced extracellular lipoperoxidation in AR42J cells partly via a Myd88-dependent signaling pathway / H. Sebai, E. Ristorcelli, V. Sbarra et al. // *Arch. Biochem. Biophys.* – 2010. –Vol. 495. – P. 56–61.
26. Dong W. Inhibitory effects of resveratrol on foam cell formation are mediated through monocyte chemotactic protein-1 and lipid metabolism-related proteins / W. Dong, X. Wang, S. Bi // *Mol Med.* – 2014. – May, 33(5). – P. 1161–1168.
27. Park D. W. Resveratrol inhibits foam cell formation via NADPH oxidase 1- mediated reactive oxygen species and monocyte chemotactic protein-1 / D. W. Park, K. Baek, J. R. Kim et al. // *Mol. Med.* – 2009. – Mar 31. – 41(3). –P. 171–179.
28. Voloshyna I. Resveratrol mediates anti-atherogenic effects on cholesterol flux in human macrophages and endothelium via PPARγ and adenosine / I. Voloshyna, O. Hai, M. J. Littlefield et al. // *J Pharmacol.* – 2013. – Jan 5. – Vol. 698(1–3) – P. 299–309.
29. Manna S. K. Suppresses TNF-induced activation of nuclear transcription factors NF-kappa B, activator protein-1, and apoptosis: potential role of reactive oxygen intermediates and lipid peroxidation / S. K. Manna, A. Mukhopadhyay, B. B. Aggarwal // *J. Immunol.* – 2000. – Jun 15. – Vol. 164(12). – P. 6509–6519.
30. Walzer T. Natural-killer cells and dendritic cells: 'l'union fait la force' / T. Walzer, M. Dalod, S. H. Robbins et al. // *Blood.* – 2005. – Vol. 106. – P. 2252–2258.

31. Falchetti R. Effects of resveratrol on human immune cell function / R. Falchetti, M. P. Fuggetta, G. Lanzilli et al. // *Life Sci.* – 2001. – Nov. 21. – Vol. 70(1). – P. 81–96.
32. Yang Y. Resveratrol induces the suppression of tumor-derived CD4+CD25+ regulatory T cells / Y. Yang, J. H. Paik, D. Cho et al. // *Int Immunopharmacol.* – 2008. – Apr, 8(4). – P 542–547.
33. Jakus P. B. TRAF6 is functional in inhibition of TLR4-mediated NF- κ B activation by Resveratrol / P. B. Jakus, N. Kalman, C. Antus, et al. // *J. Nutr. Biochem.* – 2013. – Vol. 24. – P. 819–823.
34. Misawa T. Resveratrol inhibits the acetylated α -tubulin-mediated assembly of the NLRP3-inflammasome / T. Misawa, T. Saitoh, T. Kozaki et al. // *Int. Immunol.* – 2015. – Vol. 27. – P. 425–434.

THE EVALUATION OF THE RESVERATROL ANTI-INFLAMMATORY ACTIVITY OF IN A FELT GRANULOMA MODEL

*Tribrat N. S., Rumyantseva Z. S., Gorbunov A. A., Ibragimova M. A.,
Dzheldubaeva E. R., Khusainov D. R., Velishaeva O. V.*

*V. I. Vernadsky Crimean Federal University, Simferopol, Republic of Crimea, Russia
E-mail: miu-miu07@mail.ru*

Currently, there is a growing need for the use of effective anti-inflammatory drugs with a minimum of the adverse side effects. The modern anti-inflammatory drugs have such adverse side effects as bronchospasm, ulcerative lesions of the gastric mucosa and others.

The article shows the anti-inflammatory efficacy of resveratrol in a felt granuloma model.

The granuloma model involves sewing a felt disk under the skin. The duration of the felt disk implantation under the skin was 7 days. During the study period, the animals were divided into 4 groups, where each group, except for the control group (group 1), used various non-steroidal anti-inflammatory drugs during the one week, group 2 used naproxen, the third group took ibuprofen, the fourth group used resevatro. All drugs were taken at a daily dosage of 20 mg/kg for a week. On the 8th day, the felt disk was removed with overgrown granulations and exudate. The activity of the inflammation exudative phase was assessed by the mass of the wet granuloma, and the activity of the proliferative inflammation was assessed by the mass of the dry granuloma.

Statistical processing of the material was carried out by calculating the average value of the studied quantities (M) and its error (m).

The significance of intergroup differences in the obtained data was assessed using the Mann-Whitney test.

The anti-exudative and anti-proliferative anti-inflammatory activity of resveratrol when taken orally was demonstrated in comparison with the anti-inflammatory activity of classical non-steroidal anti-inflammatory drugs - naproxen and ibuprofen. In addition, the dependence of the antiexudative and antiproliferative anti-inflammatory efficacy of resveratrol on its dose was shown.

It has been shown that a weekly intake of resveratrol reduces the exudative reaction, similarly to ibuprofen when taken orally at equivalent dosages of 20 mg/kg, on average by

a third. Naproxen at a weekly oral dose of 20 mg/kg reduces the exudative reaction to the greatest extent.

The antiproliferative activity of resveratrol and ibuprofen at a dose of 20 mg/kg is equally pronounced. Naproxen at the same dose reduces the reaction of proliferative inflammation to the greatest extent.

Thus, the anti-inflammatory activity of resveratrol, according to the felt granuloma model, is comparable to the anti-inflammatory activity of ibuprofen when taken at an equivalent dose of 20 mg/kg.

The dependence of the anti-inflammatory efficacy of resveratrol on the dose is shown. Thus, a daily dose of resveratrol of 10 mg/kg has an anti-exudative effect and does not have an anti-proliferative effect. A daily dose of 20 mg/kg has both antiexudative and antiproliferative effects. The highest anti-inflammatory activity is characteristic of resveratrol at a dose of 40 mg/kg.

The article presents the proposed molecular mechanisms of the anti-inflammatory activity of resveratrol.

Keywords: resveratrol, ibuprofen, naproxen, anti-inflammatory activity.

References

1. Zaichik A. Sh., Churilov L. P. *Pathological physiology*, 768 (S-Pb.: ELBI, 2007).
2. Filipovich-Sosnovska A. *News of Pharmacy and Medicine*, **5-6**, 89 (1997).
3. Das S., Das D. K. Anti-inflammatory responses of resveratrol, *Inflamm Allergy Drug Targets*, **6(3)**, 168 (2007).
4. Nakayama H., Yaguch T., Yoshiya S. Resveratrol induces apoptosis MH7A human rheumatoid arthritis synovial cells in a sirtuin 1-dependent manner, *Rheumatol. Int.* **32**, 151 (2012).
5. Borra M. T., Smith B. C., Denu J. M. Mechanism of human SIRT1 activation by Resveratrol, *J. Biol. Chem.* **280**, 17187 (2005).
6. Lee S. K. Evaluation of the antioxidant potential of natural products, *Comb. Chem. High Throughput Screen*, **1**, 35 (1998).
7. Xuzhu G., Komai-Koma M., Leung B. P. Resveratrol modulates murine collagen-induced arthritis by inhibiting Th17 and B-cell function, *Ann Rheum Dis*, **71(1)**, 129 (2012).
8. Yeung F., Hoberg J. E., Ramsey C. S. Modulation of NF-kappaB-dependent transcription and cell survival by the SIRT1 deacetylase, *MW EMBO J*, **23(12)**, 2369 (2004).
9. Bonizzi G., Karin M. The two NF-kappaB activation pathways and their role in innate and adaptive immunity, *Trends Immunol.*, **25(6)**, 280 (2004).
10. Yamamoto Y., Gaynor R. B. Therapeutic potential of inhibition of the NF-kB pathway in the treatment of inflammation and cancer, *J. Clin. Investig.*, **107**, 135 (2001).
11. Szelag A., Magdalan J., Kopacz M. Assessment of efficacy of quercetin-5'- sulfonic acid sodium salt in the treatment of acute chromium poisoning: Experimental studies, *Pol J Pharmacol.*, **55(6)**, 1097 (2003).
12. Ghanim H., Sia C. L., Korzeniewski K. A resveratrol and polyphenol preparation suppresses oxidative and inflammatory stress response to a high-fat, high-carbohydrate meal, *J Clin Endocrinol Metab.*, **96(5)**, 1409 (2011).
13. Wong R. H., Howe P. R., Buckley J. D. Acute resveratrol supplementation improves flow-mediated dilatation in overweight/obese individuals with mildly elevated blood pressure, *Nutr. Metab. Cardiovasc. Dis.* **21(11)**, 851 (2011).
14. Spanier G., Xu H., Xia N. Resveratrol reduces endothelial oxidative stress by modulating the gene expression of superoxide dismutase 1 (SOD1), glutathione peroxidase 1 (GPx1) and NADPH oxidase subunit (Nox4), *J. Physiol. Pharmacol.*, **60** 111 (2009).
15. Azarova O. V., Galaktionova L. P. Flavonoids: the mechanism of anti-inflammatory action, *Chemistry grows. raw materials*, **4**, 61 (2012).

16. Tkachev V. O., Menshchikova E. B., Zenkov N. K. The mechanism of the signal system Nrf2/Keap1/ARE. *Biochemistry*, **(76)4**, 502 (2011).
17. Chen S. Natural products triggering biological targets – a review of the anti-inflammatory phytochemicals targeting the arachidonic acid pathway in allergy asthma and rheumatoid arthritis, *Curr Drug Targets*, **12(3)**, 88 (2011).
18. Garcia-Lafuente A., Guillamón E., Villares A. Flavonoids as anti-inflammatory agents: Implications in cancer and cardiovascular disease, *Inflamm Res.*, **58(9)**, 537 (2009).
19. Bonizzi G., Karin M. The two NF-kappaB activation pathways and their role in innate and adaptive immunity, *Trends Immunol.*, **25(6)**, 280 (2004).
20. Saiko P., Szakmary A., Jaeger W. Resveratrol and its analogs: defense against cancer, coronary disease and neurodegenerative maladies or just a fad? *Mutat Res.*, **658(1-2)**, 68 (2008).
21. Schug T. T., Xu Q., Gao H. Myeloid deletion of SIRT1 induces inflammatory signaling in response to environmental stress, *Mol. Cell. Biol.*, **30**, 4712 (2010).
22. Schwager J., Richard N., Widmer F. et al. Resveratrol distinctively modulates the inflammatory profiles of immune and endothelial cells, *Raederstorff D.BMC Complement Altern Med.*, **17(1)**, 309 (2017).
23. Murray P. J., Allen J. E., Biswas S. K. Macrophage activation and polarization: Nomenclature and experimental guidelines, *Immunity*, **41**, 14 (2014).
24. Arango Duque G., Descoteaux A. Macrophage cytokines: Involvement in immunity and infectious diseases, *Front. Immunol.*, **5**, 491 (2014).
25. Sebai H., Ristorcelli E., Sbarra V. Protective effect of Resveratrol against LPS-induced extracellular lipoperoxidation in AR42J cells partly via a Myd88-dependent signaling pathway, *Arch. Biochem. Biophys.*, **495**, 56 (2010).
26. Dong W., Wang X. Inhibitory effects of resveratrol on foam cell formation are mediated through monocyte chemotactic protein-1 and lipid metabolism-related proteins, *Mol Med.*, **33(5)**, 1161 (2014).
27. Park D. W., Baek K., Kim J. R. Resveratrol inhibits foam cell formation via NADPH oxidase 1- mediated reactive oxygen species and monocyte chemotactic protein-1, *Mol. Med.*, **41(3)**, 171 (2009).
28. Voloshyna I., Hai O., Littlefield M. J. Resveratrol mediates anti-atherogenic effects on cholesterol flux in human macrophages and endothelium via PPAR γ and adenosine, *J Pharmacol.*, **698(1-3)**, 299 (2013).
29. Manna S. K., Mukhopadhyaya A., Aggarwal B. B. Suppresses TNF-induced activation of nuclear transcription factors NF-kappa B, activator protein-1, and apoptosis: potential role of reactive oxygen intermediates and lipid peroxidation, *J. Immunol.*, **164(12)**, 6509 (2000).
30. Walzer T., Dalod M. Robbins S.H. Natural-killer cells and dendritic cells: 'l'union fait la force', *Blood*, **106**, 2252 (2005).
31. Falchetti R., Fuggetta M. P., Lanzilli G. Effects of resveratrol on human immune cell function, *Life Sci.*, **70(1)**, 81 (2001).
32. Yang Y., Paik J. H., Cho D. Resveratrol induces the suppression of tumor-derived CD4+CD25+ regulatory T cells, *Int Immunopharmacol.*, **8(4)**, 542 (2008).
33. Jakus P. B., Kalman N., Antus C. TRAF6 is functional in inhibition of TLR4-mediated NF- κ B activation by Resveratrol, *J. Nutr. Biochem.*, **24**, 819 (2013).
34. Misawa T., Saitoh T., Kozaki T. Resveratrol inhibits the acetylated α -tubulin-mediated assembly of the NLRP3-inflammasome, *Int. Immunol.*, **27**, 425 (2015).

УДК 57.084.1

ВАЗОТРОПНЫЕ ЭФФЕКТЫ КООРДИНАЦИОННЫХ СОЕДИНЕНИЙ АЦЕТИЛСАЛИЦИЛОВОЙ КИСЛОТЫ С МЕТАЛЛАМИ ЛИТИЯ, КАЛИЯ, МАГНИЯ И КАЛЬЦИЯ

**Чуян Е. Н., Миронюк И. С., Раваева М. Ю., Фахридинова З. И., Мартынюк В.И.,
Гордиенко А. С., Черетаев И. В.**

*Институт биохимических технологий, экологии и фармации ФГАОУ ВО «Крымский
федеральный университет имени В. И. Вернадского», Симферополь, Республика Крым,
Россия
E-mail: elena-chuyan@rambler.ru*

В работе исследовались вазотропные эффекты (показатели кожной микрогемодинамики и артериального давления) ацетилсалициловой кислоты и ее новых координационных соединений с металлами лития, калия, магния и кальция в дозе 10 мг/кг у крыс. Показано, что соединения ацетилсалициловой кислоты оказывают существенное влияние на кожную микрогемодинамику и артериальное давление лабораторных животных и обладают не только более или менее выраженными, но и качественно новыми по сравнению с молекулой-предшественницей (ацетилсалициловой кислотой) вазотропными эффектами, которые обусловлены свойствами не только лиганда, но и металла, входящего в состав комплексного соединения.

Ключевые слова: ацетилсалициловая кислота, вазотропные эффекты, координационные соединения, кожная микрогемодинамика, артериальное давление.

ВВЕДЕНИЕ

В современном мире одним из самых изученных и широко используемых лекарственных средств является ацетилсалициловая кислота (АСК), которая применяется в фармацевтической промышленности для производства дезинфицирующих и антисептических средств, противовирусных и антиревматических препаратов. Выявлена эффективность применения АСК для лечения различных заболеваний, в том числе ишемической болезни сердца, хронической сердечной недостаточности, гипертонии и других, что позволяет оценить широту благоприятных эффектов, оказываемых АСК на функционирование сердечно-сосудистой системы. Несмотря на широкое применение, механизм действия АСК продолжает оставаться объектом исследований с целью повышения терапевтического потенциала и снижения побочных эффектов и резистентности к терапии аспирином [1–6].

Актуальным направлением научных исследований является создание на основе АСК комплексных соединений, например, с одно и двухвалентными металлами для получения эффективных лекарственных препаратов нового поколения [7–11], что требует дополнительных исследований их свойств. Уменьшить побочные эффекты

салицилатов и снизить их токсичность возможно применением координационных соединений, в которых кроме лиганда (химического соединения, образующего комплекс с той или иной биомолекулой), обладающего биоактивными свойствами, присутствует переходный металл-микроэлемент, способный снизить раздражающее действие кислоты. Более того, салицилатные комплексы менее токсичны в сравнении с простыми солями переходных металлов-микроэлементов. Именно такой синтетический подход к созданию соединений АСК с металлами выбран на кафедре общей и неорганической химии Крымского федерального университета имени В. И. Вернадского [12].

На кафедре физиологии человека и животных и биофизики Крымского федерального университета имени В.И. Вернадского проведены комплексные исследования биологической активности новосинтезированных салицилатов кобальта, цинка, никеля и марганца и выявлены вазо- и кардиотропные эффекты, зависящие от входящего в комплексное соединение с АСК биметалла, дозы и продолжительности введения тестируемых соединений [8–10, 12].

Исследование вазотропных реакций салицилатов калия ($СК^+$), кальция ($ССа^{2+}$), магния ($СMg^{2+}$) и лития ($СLi^+$) дополнит уже имеющиеся сведения о биоактивности координационных соединений АСК с металлами и позволит определить решающий набор признаков, необходимый для целенаправленного синтеза соединений, а, в перспективе – создания на их основе высокоэффективных лекарственных препаратов для комплексной терапии сердечно-сосудистых заболеваний.

Цель исследования – выявление вазотропных эффектов (показателей кожной микрогемодинамики и артериального давления) у крыс под влиянием координационных соединений АСК с металлами лития, калия, магния и кальция в дозе 10 мг/кг.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Синтез, исследование состава, структуры и свойств координационных соединений АСК с металлами лития, калия, магния и кальция проводились на кафедре общей и неорганической химии ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет имени В. И. Вернадского» под руководством проф. Гусева А. Н.

Биоскрининг новосинтезированных соединений АСК с металлами выполнен на 60 половозрелых крысах-самцах линии *Wistar* массой 180–250 грамм («ФГУП «Питомник лабораторных животных «Рапполово»), прошедших карантин не менее 14 дней, в лабораториях Центра коллективного пользования научным оборудованием «Экспериментальная физиология и биофизика» кафедры физиологии человека и животных и биофизики Института биохимических технологий, экологии и фармации ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет им. В. И. Вернадского».

Лабораторные животные содержались в стандартных условиях вивария при температуре от 18 до 22 °С на подстилочном материале, состоящим из початков кукурузы «Рехофикс МК 2000» с естественным 12-часовым свето-темновым освещением. Доступ к воде осуществлялся согласно ГОСТ 33215-2014 «Руководство по содержанию и уходу за лабораторными животными».

Для проведения исследования лабораторных животных разделили на 6 групп по 10 крыс в каждой:

1 группа – контрольная (К) – животные, которым производились внутривентрикулярные инъекции физиологического раствора (NaCl, 0,9 %), объем 0,2 мл;

2 группа – животные, которым производились внутривентрикулярные инъекции АСК в дозе 10 мг/кг, объем 0,2 мл;

3 группа – животные, которым производились внутривентрикулярные инъекции CLi^+ в дозе 10 мг/кг, объем 0,2 мл;

4 группа – животные, которым производились внутривентрикулярные инъекции $СК^+$ в дозе 10 мг/кг, объем 0,2 мл;

5 группа – животные, которым производились внутривентрикулярные инъекции $ССа^{2+}$ в дозе 10 мг/кг, объем 0,2 мл;

6 группа – животные, которым производились внутривентрикулярные инъекции $СМg^{2+}$ в дозе 10 мг/кг, объем 0,2 мл.

Выбор дозы тестируемых соединений связан с тем, что в настоящее время достаточной для длительного применения у людей (терапевтическая доза) признана доза АСК 75 – 100 мг/сутки [13], что для крыс массой 180–200 грамм соответствует доза 10 мг/кг [14].

Для введения исследуемых веществ использовали внутривентрикулярный способ: с помощью инсулиновых шприцов проводили инъекции в область апоневроза предварительно отступив 1 см вниз от области пупка под углом 30–40 °С к брюшной стенке.

В ходе исследования регистрировали вазотропные реакции (изменение показателей кожной микрогемодинамики, МГД и артериального давления, АД) у крыс под действием АСК и салицилатов CLi^+ , $СК^+$, $СМg^{2+}$, $ССа^{2+}$. Регистрация исследуемых показателей проводилась через 20 минут после внутривентрикулярного введения тестируемых соединений в течение последующих 120 минут, поскольку в этот период наблюдается максимальная концентрация салицилатов в крови [15].

Регистрация и анализ систолического (САД, мм рт. ст.) и диастолического (ДАД, мм рт. ст.) артериального давления у крыс проводились осциллометрическим методом с помощью системы Biopac Systems, Inc. NIBP200A и программы Acq Knowledge [9, 10].

Регистрация и анализ показателей кожной МГД осуществлялись методом лазерной доплеровской флоуметрии (ЛДФ), который является одним из наиболее широко распространенных методов оптической неинвазивной диагностики функционального состояния микроциркуляторной части сосудистого русла при помощи лазерного анализатора кровотока «Лазма-МЦ» (производство НПП «Лазма», Россия) с использованием программы LDF 2.20.0.507WL [8–10]. Метод основан на облучении кожного покрова когерентным лазерным излучением с последующей регистрацией интенсивности обратно отраженного излучения от статичных и подвижных структур ткани. После фотометрирования интенсивности отраженного излучения, аналоговой и цифровой обработки вычисляли неосцилляционные показатели базального кровотока: показатель перфузии (ПМ, перф. ед.), среднее квадратичное отклонение (флак, СКО, перф. ед.), коэффициент

вариации (Кв, %) и проводили анализ структуры ритмов колебаний кровотока, рассчитывая амплитуды эндотелиального (Аэ), нейрогенного (Ан), миогенного (Ам), дыхательного (Ад) и пульсового (Ас) генеза [16, 17].

Статистическую и графическую обработку экспериментальных данных осуществляли с помощью программ «Statistica 8.0» (StatSoft, США), «Microsoft Excel 2007». Проверку распределения данных на нормальность проводили с помощью критерия Колмогорова – Смирнова. Поскольку распределение данных у большинства исследуемых групп не соответствовало закону нормального распределения, значимость различий между группами оценивали с помощью непараметрического U-критерия Манна-Уитни. Различия считались статистически значимыми при $p \leq 0,05$.

Для анализа эффективности биологического действия салицилатов кобальта, цинка, никеля и марганца по сравнению с молекулой предшественницей АСК проводился расчет коэффициента эффективности (КЭ) по формуле:

$$КЭ = (АС_{мет.} - АСК) / АСК,$$

где $АС_{мет.}$ – значения показателей, зарегистрированные у животных при введении салицилатов CLi^+ , $СК^+$, $СMg^{2+}$, $ССa^{2+}$ (средние значения измерений в каждой экспериментальной группе); АСК – значения исследуемых показателей, зарегистрированные у животных при введении АСК.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Как показали проведенные исследования, при введении животным АСК наблюдалось достоверное изменение активности практически всех компонентов регуляции микрососудистого тонуса (за исключением амплитуды ритмов миогенного генеза). Это выражалось, прежде всего, в увеличении амплитуд эндотелиальных ритмов (Аэ на 41,47 %; $p \leq 0,05$) каждой МГД (рис. 1), которые связаны с периодическим релизингом оксида азота (NO) эндотелием сосудов. Известно, что NO является вазорелаксантом, который способствует поддержанию сосудистого тонуса в нормальных условиях [16, 17].

Увеличение амплитуд нейрогенных ритмов (Ан на 46,72 %; $p \leq 0,05$) каждой МГД (см. рис. 1), которые обусловлены симпатическим адренергическим влиянием на гладкие мышцы артериол и артериолярных участков артерио-венулярных анастомозов [16, 18], свидетельствует о снижении нейрогенного тонуса микрососудов.

На фоне увеличения амплитуд активных, тонусформирующих факторов регуляции МГД под влиянием АСК наблюдалась активация и компонентов регуляции микрососудистого тонуса, вызывающих колебания кровотока вне системы микроциркуляторного русла, а именно статистически значимый рост амплитуд сердечных (Ас на 11,56 %; $p \leq 0,05$) и дыхательных осцилляций (Ад на 43,36 %; $p \leq 0,05$) относительно значений данных показателей в контроле (рис. 2).

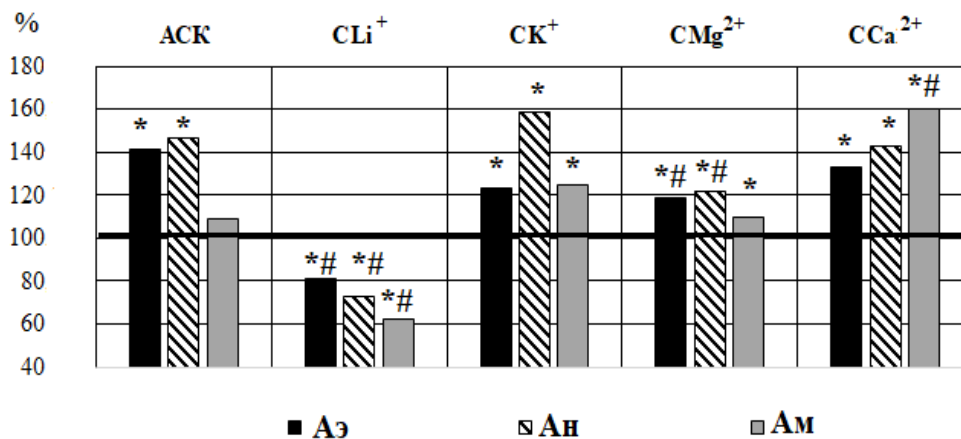


Рис. 1. Изменение амплитуд эндотелиальных (Аэ), нейрогенных (Ан), миогенных (Ам) ритмов у животных после введения АСК и салицилатов лития ($СLi^+$), калия ($СК^+$), магния ($СMg^{2+}$) и кальция ($ССа^{2+}$) в дозе 10 мг/кг (в % относительно значений в контрольной группе животных, принятых за 100 %).
Примечания: * – уровень достоверности различий относительно значений показателей в контрольной группе; # – уровень достоверности различий относительно значений показателей в группе животных, которым вводили АСК по критерию Манна–Уитни.

Известно, что рост амплитуд сердечных колебаний (пульсовая волна со стороны артерий) прямо пропорционален изменению притока крови в системе микроциркуляции, а увеличение амплитуды дыхательной волны (присасывающее действие «дыхательного насоса» со стороны вен) свидетельствует об увеличении веноулярного кровенаполнения [16–18].

Выявленные изменения со стороны регуляторных механизмов МГД у животных при введении АСК привели к изменению неосцилляторных показателей микроциркуляции (рис. 3), в частности, ПМ (на 39,05 %; $p \leq 0,05$), отражающего усредненную величину перфузии в капиллярах, артериолах и венах [16–18].

Таким образом, в результате введения животным АСК наблюдалось увеличение эндотелий-зависимой вазодилатации, снижение периферического сопротивления, увеличение притока крови в нутритивное микрососудистое русло, улучшение веноулярного оттока.

В результате проведенных исследований установлено, что однократное введение крысам АСК в дозе 10 мг/кг не оказывало статистически значимого влияния на АД (табл. 1), что подтверждается данными наших и других исследований [9, 10, 19, 20].

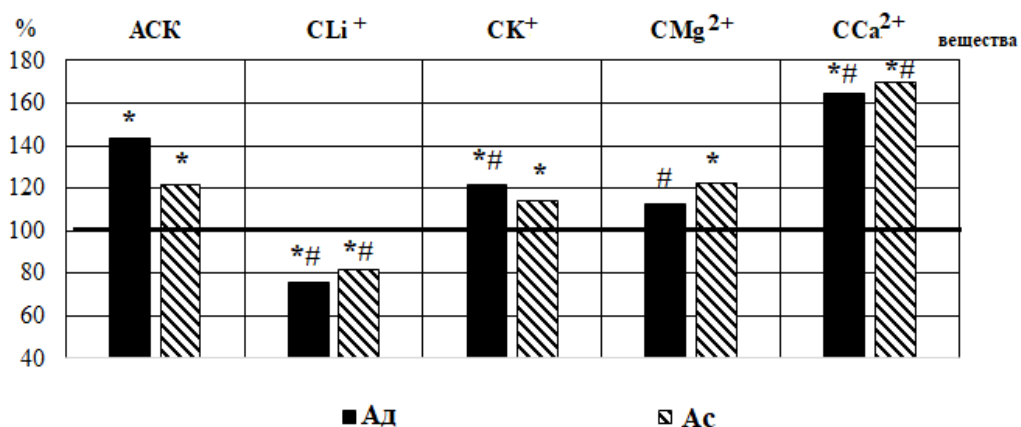


Рис. 2. Изменение амплитуд дыхательных (Ад) и пульсовых (Ас) ритмов у животных после введения АСК и салицилатов лития (CLi⁺), калия (CK⁺), магния (CMg²⁺) и кальция (CCa²⁺) в дозе 10 мг/кг относительно значений в контрольной группе животных, принятых за 100 %.

Примечания: те же, что на рисунке 1.

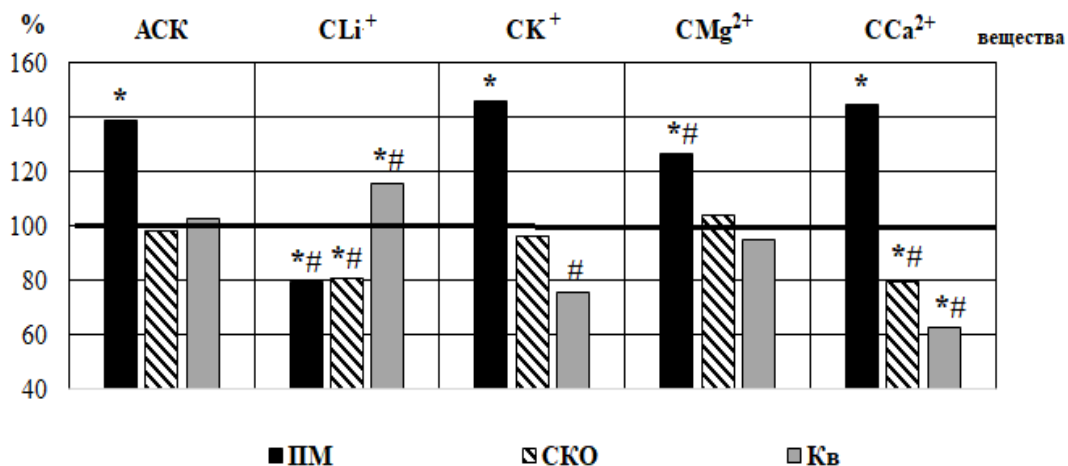


Рис. 3. Изменение неосцилляторных показателей кожной микрогемодинамики животных при действии АСК и салицилатов лития (CLi⁺), калия (CK⁺), магния (CMg²⁺) и кальция (CCa²⁺) в дозе 10 мг/кг относительно значений в контрольной группе животных, принятых за 100 %.

Примечания: ПМ – показатель перфузии, СКО – среднее квадратичное отклонение, Кв – коэффициент вариации (Кв, %); остальные – те же, что на рисунке 1.

Введение в молекулу АСК металлов лития, калия, кальция и магния модифицировало биологическую активность новосинтезированных соединений, что выразалось в значительном изменении параметров кожной МГД и АД животных. При этом тестируемые салицилаты вызвали разнонаправленные вазотропные

изменения, которые зависели от типа металла, входящего в их состав. Выявленные изменения можно условно разделить на два типа вазотропных реакций.

Таблица 1
Показатели систолического (САД), диастолического (ДАД) и пульсового (ПАД) артериального давления животных при действии ацетилсалициловой кислоты (АСК) и салицилатов лития (CLi^+), калия ($СК^+$), магния ($СMg^{2+}$) и кальция ($ССa^{2+}$)

Группа	САД мм рт. ст. ($M\pm m$)	ДАД мм рт. ст. ($M\pm m$)	ПАД мм рт. ст. ($M\pm m$)
1	2	3	4
Контроль (1)	113,18±1,76	72,79±1,52	39,82±1,80
АСК (2)	117,08±1,05	72,18±1,42	42,58±2,09
CLi^+ (3)	121,36±0,54 $p_1 \leq 0,05$	74,18±1,55	44,09±1,57
$СК^+$ (4)	97,62±1,60 $p_1 \leq 0,001$ $p_2 \leq 0,05$	69,99±1,42	28,51±1,08 $p_1 \leq 0,001$ $p_2 \leq 0,05$
$СMg^{2+}$ (5)	81,83±1,13 $p_1 \leq 0,001$ $p_2 \leq 0,05$	63,89±0,81 $p_1 \leq 0,001$ $p_2 \leq 0,05$	17,94±0,87 $p_1 \leq 0,001$ $p_2 \leq 0,05$
$ССa^{2+}$ (6)	87,44±1,75 $p_1 \leq 0,001$ $p_2 \leq 0,05$	63,69±1,69 $p_1 \leq 0,001$ $p_2 \leq 0,05$	24,11±0,73 $p_1 \leq 0,001$ $p_2 \leq 0,05$

Первый тип вазотропных реакций развивался у животных после введения им $СК^+$, $СMg^{2+}$ и $ССa^{2+}$ и обладал сходством с молекулой-предшественницей АСК.

В частности, при введении животным $СК^+$ на фоне увеличения амплитуд всех осцилляторных показателей и ПМ относительно значений в контроле (см. рис. 1–3), большинство параметров тканевой МГД достоверно не отличались от таковых у животных, которым вводили АСК. Отмечены лишь статистически значимые снижения Ад на 15,09 % ($p \leq 0,05$) и Кв на 26,77 % ($p \leq 0,05$) в сравнении с группой АСК, что подтверждает отрицательный КЭ (рис. 4).

При введении экспериментальным животным салицилата магния наблюдались аналогичные АСК увеличения амплитуд осцилляторных показателей и ПМ (см. рис. 1–3), однако выявлено статистически значимое снижение Аэ на 16,08 % ($p \leq 0,05$), Ан на 16,91 % ($p \leq 0,05$), Ад на 21,41 % ($p \leq 0,05$) и ПМ на 9,04 % ($p \leq 0,05$) по отношению к группе животных, которым вводили АСК, о чём свидетельствует отрицательный КЭ (см. рис. 4).

При введении животным CCa^{2+} наблюдалось не только статистически значимое увеличение показателей МГД относительно значений в контроле (см. рис. 1–3), но и рост Ам на 46,22 % ($p \leq 0,05$), Ад на 14,59 % ($p \leq 0,05$), Ас на 52,37 % ($p \leq 0,05$) по отношению к группе животных, которым вводили АСК, о чём свидетельствует положительный КЭ, на фоне снижения неосцилляторных показателей базального кровотока: СКО на 26,77 % ($p \leq 0,05$) и Кв на 38,97 % ($p \leq 0,05$), о чём свидетельствует отрицательный КЭ (см. рис. 4).

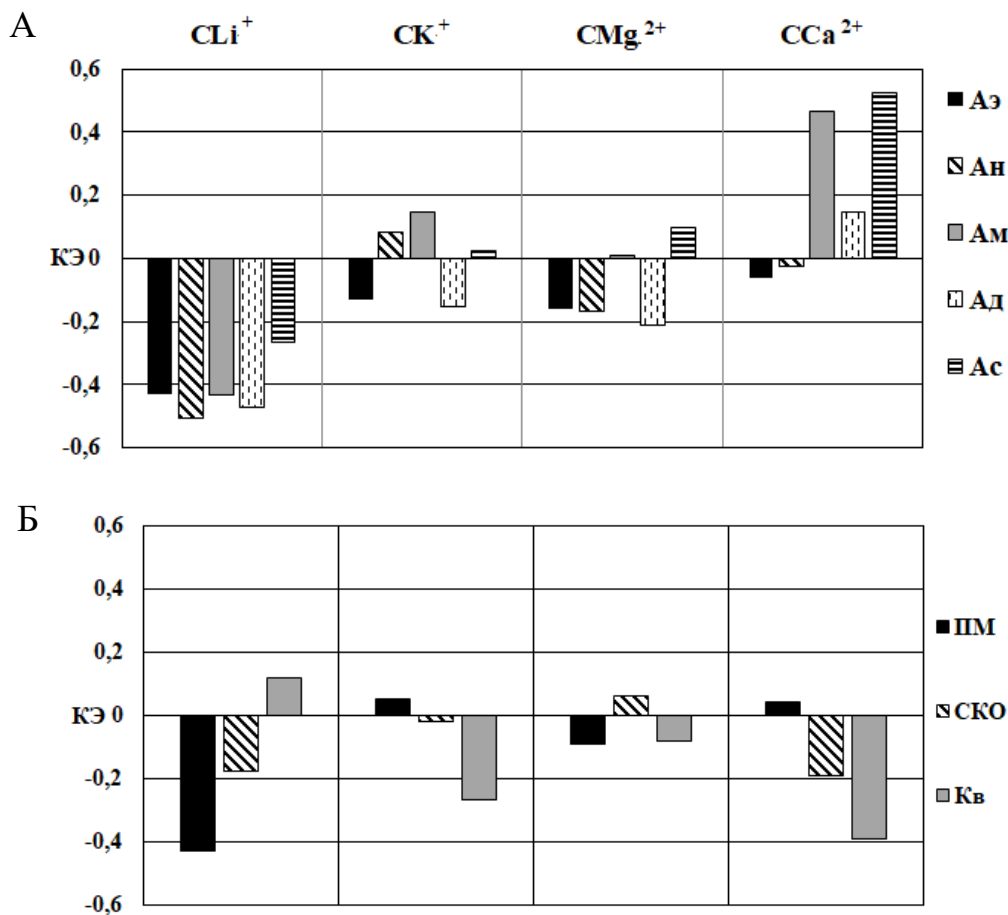


Рис. 4. Коэффициенты эффективности (КЭ) осцилляторных (А) и неосцилляторных (Б) показателей микроциркуляции, зарегистрированных у животных при введении соли лития (CLi^+), калия ($СК^+$), магния ($СMg^{2+}$) и кальция ($ССа^{2+}$) в дозе 10 мг/кг.

Наряду с выраженной вазодилатацией микрососудов, развивающейся у крыс после введения им $СК^+$, $СMg^{2+}$ и $ССа^{2+}$, зарегистрировано статистически значимое снижение всех компонентов АД относительно значений контрольной группы и

группы животных, которым вводили АСК, за исключением СК⁺, инъекция которого привела к снижению ДАД на уровне тенденции (см. табл. 1).

Таким образом, координационные соединения ССа²⁺, СК⁺, СМg²⁺ при введении экспериментальным животным вызвали вазотропные эффекты, характерные для АСК, а именно увеличение перфузии, количества функционирующих капилляров, снижение периферического сопротивления, а, следовательно, вазодилатацию микрососудов, увеличение притока крови в нутритивное микрососудистое русло на фоне увеличения венозного оттока, что сопровождалось снижением АД (рис. 5). При этом необходимо отметить, что вазодилатация микрососудов у животных под влиянием СМg²⁺ и СК⁺ была выражена в меньшей степени, чем при введении АСК, а под влиянием ССа²⁺ - в большей степени, чем при АСК.

Вещества	10 мг/кг				
	АСК	ССа ²⁺	СК ⁺	СМg ²⁺	СLi ⁺
Показатели	10 мг/кг				
Аэ	↑	↑	↑	↑↓	↓
Ан	↑	↑	↑	↑↓	↓
Ам	-	↑	↑	↑	↓
Ад	↑	↑	↑	↓	↓
Ас	↑	↑	↑	↑	↓
ПМ	↑	↑	↑	↑↓	↓
СКО	-	↓	-	-	↓
Кв	-	↓	↓	-	↑
САД	-	↓	↓	↓	↑
ДАД	-	↓	-	↓	-

Рис. 5. Схема вазотропных эффектов АСК и салицилатов лития (СLi⁺), калия (СК⁺), магния (СМg²⁺) и кальция (ССа²⁺) в дозе 10 мг/кг.

Примечания – сплошная стрелка ↑↓ – статистически значимые изменения значений исследуемых показателей относительно значений у лабораторных животных контрольной группы; стрелка в прямоугольнике ↑↓ – статистически значимые изменения значений исследуемых показателей относительно значений у животных, получавших инъекции АСК.

По всей видимости, усиление или ослабление эффектов АСК со стороны периферического кровотока, вызванные инъекцией животным координационных

соединений Ca^{2+} , Mg^{2+} и K^+ , связаны с введением в молекулу АСК катионов металлов, обладающих определенными вазотропными свойствами.

Действительно, экспериментальные данные, полученные в наших исследованиях, подтверждают литературные, в которых показано, что ионы Ca^{2+} оптимизируют натрий-калиевый баланс в организме, что может быть потенциальным механизмом снижения артериального давления и, как следствие – расширения сосудов. Кроме того, кальций-зависимые рецепторы играют важную роль в регуляции тонуса сосудов через модуляцию гомеостаза кальция. Стимуляция данных рецепторов приводит к увеличению продукции оксида азота, который является мощным вазодилататором [21–23].

Установлено, что вызываемая ионами K^+ вазодилатация возникает в результате гиперполяризации эндотелиальных и гладкомышечных клеток вследствие активации натрий-калиевого насоса [24, 25]. Следует отметить, что ионы Mg^{2+} образуют кооперативную связь с ионами K^+ , блокируя при этом кальциевые каналы и приводя к эндотелиально-зависимой вазодилатации и, следовательно, снижению АД. В экспериментальных исследованиях Shechter M. с соавторами была показана линейная координационная связь между внутриклеточной концентрацией магния и степенью вазодилатации [26].

Второй тип изменений МГД развивался у крыс при введении им салицилата $ClLi^+$ и характеризовался снижением амплитуд ритмов, уменьшением перфузии, как относительно значений в контроле, так и относительно животных, которым вводили АСК (см. рис. 1–4).

Сравнительный анализ эффективности $ClLi^+$ с исходным веществом АСК показал, что при действии на животных $ClLi^+$ происходило существенное снижение амплитуд активных тонусформирующих факторов регуляции микроциркуляции: Аэ на 42,90 % ($p \leq 0,05$), Ан на 50,50 % ($p \leq 0,05$), Ам на 43,10 % ($p \leq 0,05$) ритмов на фоне снижения и пассивных компонентов регуляции микрососудистого тонуса, т.е. факторов, вызывающих колебания кровотока вне системы микроциркуляторного русла Ад на 47,44 % ($p \leq 0,05$) и Ас на 26,52 % ($p \leq 0,05$) по отношению к группе животных, которым вводили АСК, о чём свидетельствует отрицательный КЭ (см. рис. 4).

Таким образом, под влиянием $ClLi^+$ у животных развивались вазотропные реакции, отличные от АСК (см. рис. 5), связанные с увеличением вазомоторного тонуса, констрикцией метартериол и прекапилляров, что привело к увеличению периферического сопротивления, уменьшению количества функционирующих капилляров, существенно ограничивающее возможность кровенаполнения микрососудов. По-видимому, результатом этого явилось достоверное увеличение САД (на 3,66 %; $p_1 \leq 0,05$) на фоне тенденции к увеличению других параметров АД у лабораторных животных, которым вводился $ClLi^+$.

Экспериментальные данные, полученные в наших исследованиях, согласуются с данными литературы, в которых показано, что литий оказывает сосудосуживающее действие. Известно, что за счет сосудосуживающего эффекта, вызываемого литием, в ряде случаев наблюдается повышение АД. Это может быть обусловлено

способностью одновалентных катионов, в особенности катионов лития, связывать молекулы воды [27].

Таким образом, новые координационные соединения АСК оказывают существенное влияние на кожную МГД и АД лабораторных животных и обладают не только более или менее выраженными, но качественно новыми по сравнению с АСК вазотропными эффектами, которые обусловлены свойствами не только лиганда, но и металла, входящего в состав комплексного соединения.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Введение животным ацетилсалициловой кислоты вызвало изменение кожной микроциркуляции, что выражалось в достоверном изменении параметров ЛДФ-граммы, а именно повышении амплитуд колебаний эндотелиальных (Аэ на 41,47 %; $p \leq 0,05$), нейрогенных (Ан на 46,72 %; $p \leq 0,05$), дыхательных (Ад на 43,36 %; $p \leq 0,05$) и пульсовых (Ас на 11,56 %; $p \leq 0,05$) ритмов и интегрального показателя микроциркуляции (ПМ на 39,05 %; $p \leq 0,05$) относительно значений этих показателей в контрольной группе, что свидетельствует о вазодилатации кожных микрососудов.
2. Соединения АСК с катионами лития, калия, магния и кальция вызывают разные типы вазотропных реакций: 1) соединения АСК с катионами калия, магния и кальция вызывают вазодилатацию (усиление характерной для АСК вазодилатации после введения салицилата кальция; ослабление характерной для АСК вазодилатации после введения салицилатов калия и магния), обусловленную снижением периферического сопротивления вследствие уменьшения тонуса микрососудов на фоне снижения компонентов артериального давления как относительно значений показателей в контрольной группе животных, так и в группе животных, которым вводили АСК; 2) развитие вазоконстрикции, снижение перфузии тканей, повышение САД, не характерные для АСК, после введения салицилата лития.

Список литературы

1. Верейна Н. К. Ацетилсалициловая кислота – «палитра возможностей» в профилактике и лечении сердечно-сосудистых заболеваний / Н. К. Верейна, В. С. Чулков // Русский медицинский журнал. – 2015. – № 5. – С. 288.
2. Шилов А. М. Ацетилсалициловая кислота – нестероидный противовоспалительный препарат как антиагрегант в практике лечения сердечно-сосудистых заболеваний / А. М. Шилов, С. А. Князева // Русский медицинский журнал. – 2007. – № 6. – С. 550.
3. Zhang H. Effect of S-aspirin, a novel hydrogen-sulfide-releasing aspirin (ACS14), on atherosclerosis in apoE-deficient mice / H. Zhang, C. Guo, A. Zhang, Y. Fan, T. Gu, D. Wu, A. Sparatore, C. Wang // European Journal of Pharmacology. – 2012. – V. 697 (1-3). – P. 106–116.
4. Hybiaka J. Aspirin and its pleiotropic application / J. Hybiaka, I. Broniarekb, G. Kiryczyńska, D. Laura, J. Rosika, F. Machaja, H. Sławiński, K. Jankowska, E. Urasińska // European Journal of Pharmacology. – 2020. – V. 866. – P 134–143.
5. Shi X. Antioxidant properties of aspirin: characterization of the ability of aspirin to inhibit silica-induced lipid peroxidation, DNA damage, NF- κ B activation, and TNF- α production / X. Shi, M. Ding, Z. Dong, F. Chen, J. Ye, S. Wang, S. Leonard, V. Castranova, V. Vallyathan // Molecular and cellular biochemistry. – 1999. – V. 199(1-2). – 93 p.

6. Чуян Е. Н. Физиологические механизмы действия салицилатов на сердечно-сосудистую систему (обзорная статья) / Е. Н. Чуян, И. С. Миронюк, И. В. Черетаев, М. Ю. Раваева, Т. В. Гришина // Российский физиологический журнал им. И. М. Сеченова. – 2021. – Т. 107, № 3. – С. 288–311.
7. Григорьева А. С. Оптимизация фармакотерапевтической активности биометаллов при комплексообразовании с НПВП / А. С. Григорьева // Микроэлементы в медицине. – 2000 – Т.2, №. 1. – С. 17–22.
8. Раваева М. Ю. Показатели тканевой микрогемодинамики крыс при действии ацетилсалициловой кислоты и ее комплексных соединений с металлами / М. Ю. Раваева, Е. Н. Чуян, И. С. Миронюк, И. В. Черетаев, Т. В. Гришина // Журн. эвол. биох. физиол. – 2021. – Т. 57, №1. – Р.71–82.
9. Чуян Е. Н. Показатели кардиореспираторной системы крыс при действии ацетилсалициловой кислоты и ее комплексных соединений с металлами / Е. Н. Чуян, И. С. Миронюк, М. Ю. Раваева, И. В. Черетаев, Т. В. Гришина // Ученые записки Крымского федерального университета имени В.И. Вернадского. Биология. Химия. – 2020. – Т. 6 (72), № 4. – С. 267–280.
10. Чуян Е. Н. Изменение показателей микро- и центральной гемодинамики у крыс при действии ацетилсалициловой кислоты и ее координационных соединений с металлами / Е. Н. Чуян, И. С. Миронюк, М. Ю. Раваева, Т. В. Гришина, И. В. Черетаев, С. Е. Чернобай // Региональное кровообращение и микроциркуляция. – 2021. – № 20 (4). – С. 75–86.
11. Яковчук Т. В. Противовоспалительная активность солей салициловой и ацетилсалициловой кислот / Т. В. Яковчук, О. В. Катюшина, Д. Р. Хусаинов, И. И. Коренюк, Т. В. Гамма, И. В. Черетаев, О. И. Колотилова // Ученые записки Крымского федерального университета имени В.И. Вернадского. Биология. Химия. – 2011. – Т. 24 (63), № 2. – С. 332–338.
12. Gusev A. Mn (II), Co (II), Ni (II) and Zn salicylates: Synthesis, structure and biological properties studies / A. Gusev, Y. Baluda, E. Braga, M. Kryukova, M. Kiskin, E. Chuyan, M. Ravaeva, I. Cheretaev W. Linert // Inorganica Chimica Acta. – 2021. – 528.
13. Expert Consensus Document on the use of antiplatelet agents. The Task Force on the use of antiplatelet agents in patients with atherosclerotic cardiovascular disease of the European Society of Cardiology // Eur. Heart J. – 2004. – Vol. 25. – P.166–181.
14. Хабриев Р. У. Руководство по экспериментальному (доклиническому) изучению новых фармакологических веществ / Р. У. Хабриев. – М.: Медицина, 2005. – 832 с.
15. Reis R. The Importance of the Structural Similarity of Drugs Used for Depression and Inflammation. Two Comorbid Disease / R. Reis, B. Tunçer, H. Sipahi // Current topics in medicinal chemistry. – 2018. – Т. 18, №16. – С. 1416–1421.
16. Крупаткин А. И., Сидоров В. В. Лазерная доплеровская флоуметрия микроциркуляции крови. – М.: Медицина. – 2005. – 254 с.
17. Humeau A. Time-frequency analysis of laser Doppler flowmetry signals recorded in response to a progressive pressure applied locally on anaesthetized healthy rats / A. Humeau, A. Kontka, P. Abraham // Phys Med Biol. – 2004. – V. 49(5). – P. 843–857.
18. Козлов В. И. Система микроциркуляции крови: клинико-морфологические аспекты изучения / В. И. Козлов // Региональное кровообращение и микроциркуляция. – 2005. – Т. 5, № 2. – С. 84–101.
19. Böger R. H. Effect of captopril on prostacyclin and nitric oxide formation in healthy human subjects: interaction with low dose acetylsalicylic acid / R. H. Böger, S. M. Bode-Böger, P. Kramme // British journal of clinical pharmacology. – 1996. – V. 42(6). – P. 721–727.
20. Hermida R. C. Influence of aspirin usage on blood pressure: dose and administration-time dependencies / R. C. Hermida, J. R. Fernández, D. E. Ayala // Chronobiology international. – 1997. – V. 14(6). – P 619–637.
21. Громова О. А. Значение дефицита кальция в педиатрии и пути его коррекции / О. А. Громова // Вопросы современной педиатрии. – 2007. – Т. 6, № 2. – С. 23–31.
22. Артериальная гипертензия и метаболизм кальция: монография / Б. Г. Искендеров. – Пенза: «Профессионал», 2010. – 225 с.
23. Майлян Д. Э. Роль дисметаболизма кальция в патогенезе сердечно-сосудистых заболеваний / Д. Э. Майлян // Российский кардиологический журнал. – 2004. – № 24. – С. 78–85.
24. Contribution of Na⁺-K⁺ pump and Kir current to extracellular pH-dependent changes of contractility in rat superior mesenteric artery / M. Y. Kim // Am. J. Physiol. Heart Circ. Physiol. – 2005. – V. 289. – P. 792–800.

25. Quelly J. K⁺-induced vasodilation in the rat dependent on the endothelium and activation of K⁺ channels / J. Quelly, Y. Qiu // *Eur. J. Pharmacol.* –2005. – V.508. – P. 193–199.
26. Shechter M. Oral magnesium therapy improves endothelial function in patients with coronary artery diseases / M. Shechter // *Circulation* – 2000. – V. 102(19). – P. 2553–2358.
27. Лещинский Л. А. О некоторых свойствах лития как биоэлемента и применении его солей в биологии и медицине / Л. А. Лещинский // *Казанский медицинский журнал.* – 1972. – Т. 53, № 5. – С. 72–76.

VASOTROPIC EFFECTS OF ACETYLSALICYLIC ACID COORDINATION COMPOUNDS WITH METALS OF LITHIUM, POTASSIUM, MAGNESIUM AND CALCIUM

*Chuyan E. N., Mironyuk I. S., Ravaeva M. Yu., Fahridinova Z. I., Martynjuk V. I.,
Gordienko A. S., Cheretaev I. V.*

*V. I. Vernadsky Crimean Federal University, Simferopol, Crimea, Russia
E-mail: elena-chuyan@rambler.ru*

The effect of acetylsalicylic acid and its complex compounds with the metals lithium, potassium, magnesium and calcium at dose of 10 mg/kg on the rat's parameters on skin microhemodynamics and blood pressure was studied.

It is shown that in the process of complexation of acetylsalicylic acid with metals, there is not only an increase or decrease in certain effects inherent in the precursor molecule – acetylsalicylic acid, but also the appearance of new properties, the manifestation of which is dose-dependent.

The study was carried out on the basis of the Center for collective use of scientific equipment "Experimental Physiology and Biophysics" of the Department of Human and Animal Physiology and Biophysics of the V. I. Vernadsky Crimean Federal University.

The research of the acetylsalicylic acid and its salts with lithium, potassium, magnesium and calcium biological effects was carried out during their intraperitoneal injection into rats in dose of 10 mg/kg. Simultaneously the following characteristics of all the groups of animals were registered: heart rate (HR), systolic blood pressure (SBP) and diastolic blood pressure (DBP), microhemodynamics parameters. The pulse pressure (PP) was calculated on the basis of the SBP and DBP indices difference. BP, HR of the rats were registered using the system NIBP200A («Biopac Systems, Inc.», USA). Changes in the parameters of skin microcirculation were studied using the laser Doppler flowmetry method on the Lazma-MC device (manufactured by RPE Lazma, Russia).

It is shown that new coordination compounds of acetylsalicylic acid have a significant effect on the skin microhemodynamics and blood pressure of laboratory animals. It was found out that those substances have not only more or less pronounced, but qualitatively new vasotropic effects compared to acetylsalicylic acid, which are due to the properties not only the ligand, but also the metal that is part of the complex compound.

Keywords: acetylsalicylic acid, vasotropic effects, coordination compounds, skin microhemodynamics, blood pressure.

References

1. Vereina N. K., Chulkov V. S. Acetylsalicylic acid – "palette of possibilities" in the prevention and treatment of cardiovascular diseases, *Russian medical journal*, **5**, 288 (2015).
2. Shilov A. M., Knyazeva S. A. Acetylsalicylic acid – nonsteroidal anti-inflammatory drug as an antiplatelet in the practice of treatment of cardiovascular diseases, *Russian medical journal*, **6**, 550 (2007).
3. Zhang H., Guo C., Zhang A., Fan Y., Gu T., Wu D., Sparatore A., Wang C. Effect of S-aspirin, a novel hydrogen-sulfide-releasing aspirin (ACS14), on atherosclerosis in apoE-deficient mice *European Journal of Pharmacology*, **697 (1-3)**, 106 (2012).
4. Hybiaka J., Broniarek I., Kiryczyńska G., Laura D. Losc, Rosika J., Machaja F., Sławiński H., Jankowska K., Uraśńska E. Aspirin and its pleiotropic application, *European Journal of Pharmacology*, **866**, 134 (2020).
5. Shi X., Ding M., Dong Z., Chen F., Ye J., Wang S., Leonard S., Castranova V., Vallyathan V. Antioxidant properties of aspirin: characterization of the ability of aspirin to inhibit silica-induced lipid peroxidation, DNA damage, NF-κB activation, and TNF-α production, *Molecular and cellular biochemistry*, **199 (1-2)**, p 93 (1999).
6. Chuyan E. N., Mironyuk I. S., Cheretaev I. V., Ravaeva M. Ju., Grishina T. V. Physiological mechanisms of salicylates action on the cardiovascular system, *Russian Journal of Physiology*, **107(3)**, 288 (2021).
7. Grigoriev A. S. Optimization of the pharmacological activity of biometals in the complexation of NSAIDs, *Trace elements in medicine*, **2 (1)**, 17 (2000).
8. Ravaeva M. Yu., Chuyan E. N., Mironyuk I. S., Cheretaev I. V., Grishina T. V. Indicators of tissue microhemodynamics in rats exposed to acetylsalicylic acid and metal salicylates, *J. Evol. Biohim. Phys.*, **57(1)**, 71, (2021).
9. Chuyan E. N., Mironyuk I. S., Ravaeva M. Yu., Cheretaev I. V., Grishina T. V. Indicators of the rat cardiorespiratory system under the action of acetylsalicylic acid and its complex compounds with metals, *Scient. notes of the Crimean Feder. Univer. after V. I. Vernadsky. Biology. Chemistry*, **6(2)**, 267, (2020).
10. Chuyan E. N., Mironyuk I. S., Ravaeva M. Yu., Grishina T. V., Cheretaev I. V., Chernobai S. E. Changes in micro- and central hemodynamic parameters in rats under the action of acetylsalicylic acid and its coordination compounds with metals, *Regional blood circulation and microcirculation*, **20 (4)**, 75 (2021).
11. Yakovchuk T. V., Katyushina O. V., Khusainov D. R., Korenyuk I. I., Gamma T. V., Cheretaev I. V., Kolotilova O. I. Anti-inflammatory activity of salicylic and acetylsalicylic acid salts, *Scient. notes of the Crimean Feder. Univer. after V.I. Vernadsky. Biology. Chemistry*, **24, 2 (63)**, 332 (2011).
12. Gusev A. Baluda Y., Braga E., Kryukova M., Kiskin M., Chuyan E., Ravaeva M., Cheretaev I. Linert W. Mn (II), Co (II), Ni (II) and Zn salicylates: Synthesis, structure and biological properties studies, *Inorganica Chimica Acta*, **528** (2021).
13. Expert Consensus Document on the use of antiplatelet agents. The Task Force on the use of antiplatelet agents in patients with atherosclerotic cardiovascular disease of the European Society of Cardiology, *Eur. Heart J.* (2004).
14. Khabriev R. U. Guidelines for experimental (preclinical) study of new pharmacological substances, *M.: Medicine*, 832 p. (2005).
15. Reis R., Tunçer B., Sipahi H. The Importance of the Structural Similarity of Drugs Used for Depression and Inflammation. Two Comorbid Disease, *Current topics in medicinal chemistry*, **18 (16)**, 1416 (2018).
16. Krupatkin A. I., Sidorov V. V. Laser Doppler flowmetry of blood microcirculation, *M.: Medicine*, p. 254, (2005).
17. Humeau A., Kontka A., Abraham P. Time-frequency analysis of laser Doppler flowmetry signals recorded in response to a progressive pressure applied locally on anaesthetized healthy rats, *Phys Med Biol*, **49(5)**, 843 (2004).
18. Kozlov V. I. Sistema mikrocirkuljacii krovi: kliniko-morfologičeskie aspekty izučeniija, Regionarnoe krovoobrašhenie i mikrocirkuljacija, **5 (2)**, 84 (2005).
19. Böger R. H., Bode-Böger S. M., Kramme P. Effect of captopril on prostacyclin and nitric oxide formation in healthy human subjects: interaction with low dose acetylsalicylic acid, *British journal of clinical pharmacology*, **42 (6)**, 721 (1996).

20. Hermida R. C., Fernández J. R., Ayala D. E. Influence of aspirin usage on blood pressure: dose and administration-time dependencies, *Chronobiology international*, **14(6)**, 619 (1997).
21. Gromova O. A. The significance of calcium deficiency in pediatrics and ways of its correction, *Issues of modern pediatrics*, **6 (2)** (2007).
22. Iskenderov B. G. Arterial hypertension and calcium metabolism: monograph, Penza: *Professional*, p. 225 (2010).
23. Mailyan D. E. The role of calcium dysmetabolism in the pathogenesis of cardiovascular diseases, *Russian Journal of Cardiology*, **24**, 78 (2004).
24. Kim M. Y. Contribution of Na⁺-K⁺ pump and Kir current to extracellular pH-dependent changes of contractility in rat superior mesenteric artery, *Am. J. Physiol. Heart Circ. Physiol*, **289**, 792 (2005).
25. Quelly J., Qiu Y. K⁺-induced vasodilation in the rat dependent on the endothelium and activation of K⁺ channels, *Eur. J. Pharmacol.* **508**, 193, (2005).
26. Shechter M. Oral magnesium therapy improves endothelial function in patients with coronary artery diseases, *Circulation*, **102 (19)**, 2553 (2000).
27. Leshchinsky L. A. On some properties of lithium as a bioelement and the use of its salts in biology and medicine, *Kazan Medical Journal*, **53 (5)**, 72 (1972).

УДК 572.511.4

ВЛИЯНИЕ УРОВНЯ ДВИГАТЕЛЬНОЙ АКТИВНОСТИ НА ПСИХОФИЗИОЛОГИЧЕСКИЙ СТАТУС СТУДЕНТОВ ЗА ПЕРИОД ОБУЧЕНИЯ В ВУЗЕ

Щелина Т. Т.¹, Михайлова С. В.¹, Калюжный Е. А.², Хрычева Т. В.³

¹*ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет имени Н. И. Лобачевского», Арзамасский филиал, Арзамас, Россия*

²*ГБОУ ВО «Приволжский исследовательский медицинский университет», Нижний Новгород, Россия*

³*ГБУЗ НО «Арзамасская городская больница №1», Центр здоровья, Арзамас, Россия*
E-mail: fatinia_m@mail.ru

В работе представлены результаты исследования влияния на организм уровня двигательной активности (УДА), различающейся по объему, направленности и интенсивности. У 230 студентов 17–22 лет исследована динамика показателей variability сердечного ритма (ВСР) и психологических тестов за период обучения в вузе. Сравнительный анализ выявил достоверные различия всех показателей ВСР между студентами, имеющими различный УДА, как при клино-, так и ортоположении. Высокий УДА способствует улучшению самочувствия на фоне снижения личностной и ситуативной тревожности. Показано положительное влияние на психофизиологический статус студентов высокой физической активностью, которая представлена различными направлениями, а не только занятиями избранным видом спорта, что позволяет успешно функционировать организму в условиях повышенных учебных и физических нагрузок.

Ключевые слова: двигательная активность, студенты, variability сердечного ритма, психофизиологический статус.

ВВЕДЕНИЕ

Время обучения в вузе является самым ответственным периодом в психосоциальном и физическом становлении личности, т. к. от направленности его реализации возможно, как улучшение, так и снижение физических и психофизических возможностей организма [1, 2].

Многочисленные исследования свидетельствуют, что за период обучения в вузе у студентов при нерациональном питании, малоподвижном образе жизни, значительной суммарной учебной нагрузке, большом объеме, новизне и сложности изучаемого материала, предъявляющих организму повышенные требования, происходит рост психофункциональных расстройств, ухудшение физического состояния [3–5].

У большинства студентов основным средством поддержания здоровья признается двигательная активность, включающая различные ее направления: физкультуру, фитнес, активный отдых, танцы, закаливание и т. п. [4, 5]. От уровня двигательной активности (УДА) в значительной степени зависит физическое

состояние организма, т. к. она активизирует компенсаторно-приспособительные механизмы, расширяет функциональные возможности организма, улучшает самочувствие, является важным фактором первичной и вторичной профилактики заболеваний [1, 4, 5]. Ограничение двигательной активности при напряженной умственной деятельности ухудшает состояние психофизиологического статуса, под которым понимаются психофизиологические особенности человека, включающие не только психологические качества, но и уровни регуляции [6].

Прежде других физиологических характеристик на адаптацию организма к изменениям и нагрузкам реагируют показатели кардиореспираторной системы, являясь более чувствительными. Сердечный ритм является индикатором отклонений, возникающих в регулирующих системах и предшествующих гемодинамическим, метаболическим, энергетическим нарушениям, что позволяет его широко использовать при проведении медико-биологического контроля [7–10].

Исследование в режиме мониторинга динамики показателей здоровья и психофизиологического статуса является базовой основой структуры профилактических оздоровительных мероприятий, направленных на восстановление и укрепление функциональных резервов студентов [6, 11].

Ряд исследователей сходятся во мнении, что работу по преодолению негативных тенденций в динамике состояния здоровья и образа жизни студенческой молодежи, следует осуществлять преимущественно на стадии первичной профилактики, которая ориентирована на раннее выявление признаков нарушения здоровья [1, 2, 8, 12]. В АФ ННГУ ведется многолетнее наблюдение за состоянием здоровья студенческой молодежи с использованием различных технологий и мероприятий оздоровительной направленности, например, ежегодное заполнение «Дневника здоровья студента», комплексное обследование в Центре здоровья с получением «Карты ЗОЖ» и т.п.

Целью проведенного нами исследования является изучение влияния на психофизиологический статус студентов за период обучения в вузе уровня двигательной активности, включающей различные ее направления (занятие спортом, активный отдых, закаливание и т.д.).

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Исследование проведено по результатам проспективных наблюдений (с 1-го по 5 курс) состояния здоровья 230 студентов (91 юноша и 139 девушек) 17–22 лет. УДА определяли на основании теста, включающего вопросы о различной физической деятельности (занятия спортом, фитнесом; физкультурная группа; активные виды отдыха; выполнение физической работы по дому; танцы; закаливание; ходьба пешком; утренняя зарядка; посещение бани). Это дало возможность получения объективной оценки УДА, который определяли по количеству набранных баллов: низкий, средний и высокий [13].

Определение показателей ВСП (мода (Mo), амплитуда моды (Амо), вариационный размах (ВР), индекс напряжения (ИН), индекс вегетативного равновесия (ИВР), вегетативный показатель ритма (ВПР)) в клиноположении (1) и ортоположении (2) проводилось с помощью компьютерной программы оценки

уровня здоровья «Ритм-экспресс», включенной в перечень стандартного и сертифицированного оснащения Центра Здоровья [14], а также на электрокардиографе «Кардиоэксперт-1» (Нейрософт, Иваново) в ходе учебного процесса в вузе, с учетом методических рекомендаций группы российских экспертов [15].

Для характеристики самочувствия, активности и настроения (САН) применялась методика В. А. Доскина с соавтр. (1975), для оценки ситуативной и личностной тревожности (СТ и ЛТ) применялась методика Спилберга-Ханина (1977) [13].

Динамику показателей ВСП анализировали за период обучения в вузе с 1-го по 5 курс в четырех группах студентов:

- 1 группа – студенты с низким УДА (15 юношей и 23 девушки);
- 2 группа – студенты со средним УДА (59 юношей и 85 девушек);
- 3 группа – студенты с высоким УДА (17 юношей и 31 девушек);
- 4 группа – все обследованные студенты (91 юноша и 139 девушек).

По результатам исследования создана персонифицированная база данных, статистическая обработка проводилась с использованием программ офисного пакета «EXCEL v8.00» и «Version 4.03 Primer of Biostatistics». Для выполнения задач исследования применяли методы вариационной статистики (вычисление средней арифметической (M) и ошибки средней арифметической (m), методы оценки достоверности результатов (критерий F-Фишера, критерий t-Стьюдента, χ^2). Различия считались статистически значимыми при $p < 0,05$.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

В исследовании принимали участие студенты, у которых за весь период обучения в ВУЗе УДА не меняется: 91 юноша (из которых у 16,5 % – низкий, 64,8 % – средний, 18,7 % – высокий) и 139 девушек (16,5 % – низкий, 61,1 % – средний, 22,4 % – высокий, соответственно), что позволило проанализировать его влияние на психофизиологический статус одних и тех же студентов с 1-го по 5-й курс.

Mo1, указывающая на доминирующий уровень нейрогуморальных влияний, у студентов с низким УДА к 5 курсу снижается ($p < 0,05$), а с высоким УДА – возрастает (табл. 1), что свидетельствует о снижении симпатической активности у студентов за период обучения в вузе под влиянием физической деятельности при поддержании ее на высоком уровне.

Статистически значимые изменения AMo1, отражающей мобилизующее влияние симпатической активности, выявлены только у юношей с высоким УДА ($p < 0,05$), которые указывают на снижение симпатических влияний за период обучения в вузе на фоне высокого УДА.

Значимость влияния УДА на показатели BP1, характеризующего уровень парасимпатических влияний, не определена, но в общей группе обследованных, как у юношей, так и у девушек, за период обучения отмечается снижение его значений, что говорит об усилении симпатических влияний и повышении активности центрального контура регуляции ($p < 0,05$).

Таблица 1
Динамика показателей variability сердечного ритма у студентов
(клиноположение), (M±m)

Пол	УДА	1 курс	2 курс	3 курс	4 курс	5 курс
Mo1, сек						
Юноши	1 *	0,65±0,038	0,75±0,041	0,70±0,020	0,68±0,027	0,63±0,012
	2	0,75±0,015	0,77±0,017	0,76±0,021	0,73±0,015	0,76±0,014
	3	0,81±0,049	0,86±0,056	0,91±0,057	0,88±0,042	0,90±0,041
	4	0,76±0,014	0,79±0,015	0,78±0,018	0,77±0,016	0,78±0,017
Девушки	1 *	0,68±0,016	0,73±0,020	0,72±0,021	0,71±0,013	0,65±0,015
	2	0,76±0,017	0,77±0,012	0,77±0,014	0,78±0,020	0,77±0,018
	3 *	0,84±0,021	0,83±0,023	0,85±0,020	0,92±0,024	0,96±0,040
	4	0,76±0,010	0,79±0,010	0,78±0,010	0,80±0,013	0,79±0,015
AMo1, %						
Юноши	1	32,1±2,72	30,0±3,05	31,8±1,89	30,2±2,07	34,6±2,52
	2	30,2±1,73	27,5±0,82	27,8±0,97	27,3±0,83	30,2±1,02
	3 *	27,6±1,26	25,4±0,93	27,2±1,57	31,3±1,53	25,9±1,22
	4	29,2±1,01	28,0±0,66	28,7±0,71	28,9±0,63	30,4±0,77
Девушки	1	32,2±1,52	30,4±1,47	34,1±1,90	31,3±1,81	33,6±1,68
	2	28,6±0,89	29,0±0,85	29,0±0,72	29,4±0,88	29,7±0,81
	3	26,0±1,15	25,6±0,85	26,5±1,05	26,2±0,91	27,8±1,35
	4	28,5±0,56	28,3±0,53	28,8±0,52	29,5±0,58	29,9±0,57
BP1, сек						
Юноши	1	0,31±0,031	0,36±0,060	0,32±0,014	0,30±0,014	0,25±0,017
	2	0,37±0,018	0,37±0,036	0,36±0,022	0,35±0,018	0,32±0,011
	3	0,35±0,021	0,40±0,057	0,42±0,024	0,38±0,025	0,37±0,018
	4 *	0,35±0,012	0,36±0,020	0,36±0,012	0,33±0,010	0,31±0,008
Девушки	1	0,36±0,032	0,49±0,068	0,37±0,046	0,30±0,015	0,29±0,029
	2 *	0,44±0,048	0,41±0,040	0,38±0,022	0,34±0,012	0,32±0,011
	3	0,39±0,026	0,39±0,035	0,47±0,047	0,41±0,049	0,40±0,014
	4 *	0,41±0,029	0,40±0,027	0,39±0,015	0,34±0,012	0,32±0,008
ИИ1, y.e.						
Юноши	1 *	98,6±19,09	76,4±15,35	76,9±7,58	81,5±10,95	118,7±17,80
	2	60,8±3,64	60,5±4,03	59,4±3,86	61,4±3,65	67,4±3,61
	3	55,0±4,33	47,6±4,21	48,7±8,98	57,0±6,97	51,1±7,58
	4 *	64,5±3,07	61,4±3,1	61,2±2,92	64,5±2,85	74,5±3,87
Девушки	1 *	74,8±6,49	64,2±6,03	82,2±8,65	78,9±6,63	98,2±8,94
	2	60,7±3,58	60,5±3,98	59,4±3,01	62,4±3,70	69,4±4,30
	3	45,3±4,71	45,3±2,82	40,3±2,88	42,3±2,45	43,8±2,62
	4 *	59,8±2,32	57,1±2,30	57,5±2,16	61,7±2,37	66,6±2,84

ИВР1, у.е.						
Юноши	1	30,0±25,98	05,4±17,23	103,3±8,09	08,5±13,12	154,4±21,19
	2	87,8±4,75	91,5±6,65	86,4±5,41	88,4±5,33	100,9±5,40
	3	81,7±4,82	74,7±6,78	70,0±6,48	86,7±5,82	75,5±6,13
	4 *	92,0±4,44	93,1±4,53	88,1±3,55	95,5±3,94	110,2±5,15
Девушки	1	100,6±8,38	88,4±9,17	14,4±11,43	110,4 ±8,73	129,1±11,94
	2	88,1±5,14	90,1±5,45	88,7±4,25	94,7 ±4,64	103,7±6,79
	3	75,0±6,85	74,4±4,73	66,1±4,88	76,8 ±4,58	82,7±6,71
	4 *	88,0±3,22	87,2±3,28	85,7±2,93	95,3 ±3,10	101,4±4,32
ВПР1, у.е.						
Юноши	1 *	5,9±0,78	4,6±0,49	4,7±0,26	5,2±0,35	6,6±0,56
	2	4,1±0,18	4,3±0,18	5,0±0,34	4,4±0,19	4,4±0,15
	3	3,8±0,215	3,6±0,290	3,0±0,283	3,3±0,293	3,4±0,28
	4 *	4,2±0,155	4,2±0,129	4,5±0,377	4,4±0,134	4,7±0,156
Девушки	1 *	4,6±0,292	4,1±0,267	4,7±0,361	4,9 ±0,211	5,8±0,398
	2	4,1±0,185	4,1±0,175	4,1±0,153	4,2 ±0,164	4,5±0,169
	3	3,36±0,200	3,54±0,206	3,03±0,181	3,20 ±0,193	3,14±0,126
	4 *	4,1±0,114	3,9 ±0,104	3,9 ±0,105	4,1 ±0,107	4,3±0,120

Примечание: УДА – уровень двигательной активности; 1 – студенты с низким УДА, 2 – студенты со средним УДА, 3 – студенты с высоким УДА, 4 – все студенты; Мо – мода, АМо – амплитуда моды, ВР – вариационный размах, ИН – индекс напряжения, ИВР – индекс вегетативного равновесия, ВПР – вегетативный показатель ритма.
* – различия между показателями 1-5 курсов достоверны при $p < 0,05$ по критерию F-Фишера.

Значения ИН1, отражающего степень преобладания активности центральных механизмов регуляции над автономными, к 5 курсу достоверно значимо возрастают в общих группах юношей и девушек, а также среди студентов с низким УДА ($p < 0,05$). Снижение значений ИН1 у молодежи с высоким УДА незначительно и на уровне тенденции, при этом они значительно ниже, чем у студентов со средним УДА и особенно в сравнении юношами и девушками, имеющими низкий УДА.

Динамика показателей ИВР1 и ВПР1 свидетельствует о снижении парасимпатических влияний и смещении вегетативного баланса в сторону усиления симпатической активности у студентов, имеющих низкий УДА, а у студентов, имеющих высокий УДА, наоборот, показывает снижение симпатических влияний.

Почти у половины обследованных студентов (46,7 % юношей и 50,7 % девушек) исходный вегетативный тонус соответствует эйтонии (ИН1=30-90), среди которых 82,5 % юношей и 81,7 % девушек, имеющих высокий УДА. У 16,9 % юношей и 13,3 % девушек выявлена ваготония (ИН1<30), у 24,1 % и 26,0 % (соответственно) значения ИН1 соответствуют симпатикотонии (ИН1=90-120), а у 12,4 % юношей и 10,0 % девушек – гиперсимпатикотонии (ИН1>120).

Для получения наиболее объективных результатов срочной адаптации сердечно-сосудистой системы (ССС) к внешним воздействиям рекомендуется проводить активную ортостатическую пробу (АОП) [16, 17]. Показатели ВСР при переходе из горизонтального в вертикальное положение изучались у студентов для проведения сравнительного анализа и определения типа вегетативной реактивности. После проведения АОП среди студентов отмечалось снижение значений Мо и ВР на фоне увеличения АМо, ИН, ИВР и ВПР, что является физиологической реакцией ССС в ответ на функциональную пробу [8, 16].

Показатели ВСР, полученные при АОП, также показывают усиление симпатических влияний у студентов к концу обучения в вузе, что подтверждается у юношей снижением значений Мо2 и возрастанием АМо2 ($p < 0,05$), а у девушек – ростом значений ИН2, ИВР2, ВПР2 и снижением ВР2 к концу обучения в вузе ($p < 0,05$) (табл. 2).

Таблица 2

**Динамика показателей variability сердечного ритма у студентов
(ортоположение), ($M \pm m$)**

Пол	УДА	1 курс	2 курс	3 курс	4 курс	5 курс
Мо2, сек						
Юноши	1	0,59±0,016	0,64±0,031	0,64±0,029	0,62±0,021	0,58±0,023
	2	0,64±0,011	0,65±0,012	0,67±0,020	0,69±0,033	0,65±0,013
	3 *	0,63±0,019	0,68±0,023	0,72±0,020	0,73±0,024	0,72±0,031
	4 *	0,64±0,024	0,65±0,034	0,67±0,034	0,69±0,034	0,60±0,034
Девушки	1	0,61±0,015	0,63±0,020	0,62±0,018	0,65±0,015	0,59±0,012
	2	0,67±0,012	0,67±0,010	0,67±0,010	0,65±0,011	0,64±0,010
	3	0,70±0,015	0,68±0,015	0,69±0,017	0,71±0,015	0,71±0,024
	4	0,67±0,007	0,67±0,006	0,66±0,007	0,67±0,009	0,65±0,008
АМо2, %						
Юноши	1	44,8±4,35	38,1±2,04	37,6±1,77	39,1±2,14	43,2±2,93
	2	37,2±1,41	36,2±1,30	36,3±1,34	35,6±0,96	38,8±1,36
	3	32,1±1,29	33,6±1,70	29,4±2,03	33,4±1,67	32,7±1,82
	4 *	37,7±1,04	36,9±0,86	35,6±0,89	35,8±0,75	39,1±0,98
Девушки	1	40,7±1,76	38,7±1,86	41,5±1,62	39,0±1,44	40,4±1,87
	2	36,7±0,91	36,9±0,97	36,6±1,15	37,4±1,09	39,5±1,27
	3	32,1±1,17	34,7±2,58	30,1±1,44	32,0±1,18	31,3±1,37
	4	36,5±0,66	36,9±0,77	35,8±0,72	36,9±0,73	37,6±0,80
ВР2, сек						
Юноши	1	0,23±0,016	0,23±0,018	0,23±0,014	0,22±0,012	0,21±0,023
	2	0,29±0,01	0,28±0,015	0,26±0,012	0,27±0,019	0,27±0,015
	3	0,31±0,028	0,29±0,021	0,36±0,027	0,29±0,016	0,28±0,009
	4	0,28±0,011	0,27±0,010	0,27±0,009	0,26±0,011	0,26±0,009
Д	1 *	0,30±0,033	0,35±0,027	0,28±0,025	0,23±0,015	0,22±0,018

Продолжение таблицы 2

	2 *	0,30±0,014	0,30±0,015	0,29±0,016	0,27±0,014	0,24±0,008
	3	0,33±0,024	0,36±0,026	0,38±0,030	0,31±0,016	0,29±0,012
	4 *	0,30±0,010	0,31±0,010	0,31±0,012	0,27±0,008	0,25±0,006
ИН2, у.е.						
Юноши	1 *	213,1±54,17	142,5±15,3	148,8±19,46	155,1±20,19	203,4±26,17
	2	120,6 ±8,96	123,1±9,24	122,4±8,16	118,4±8,17	128,7±7,88
	3 *	91,6±6,94	94,6±6,87	63,6±7,49	88,5±9,09	82,4±7,19
	4	129,3±8,99	122,8±5,94	117,3±5,88	119,8±6,33	136,8±6,57
Девушки	1 *	152,1±23,62	108,5±12,5	150,4±16,63	145,1±11,42	167,4±12,46
	2 *	115,6 ±7,89	113,1±6,84	116,4±8,28	120,4±6,50	146,7±8,75
	3	80,6±5,51	80,9±6,68	73,5±6,42	79,0±5,31	80,2±4,83
	4 *	116,2±5,79	108,6±4,71	110,4±5,07	119,9±5,03	130,3±5,34
ИВР2, у.е.						
Юноши	1	235,4±52,28	251,8±16,93	193,5 ±34,49	188,9 ±23,13	240,0±36,08
	2	148,7±10,33	157,2±11,38	152,9±8,92	147,2±8,21	167,0±10,37
	3	116,4±9,22	124,2±9,06	89,3±9,22	123,5±13,47	116,7±9,39
	4	157,9±9,19	156,9±7,23	149,2±7,27	155,9±7,75	172,1±8,18
Девушки	1 *	174,9±22,45	129,2±12,14	176,8±16,05	181,8 ±12,08	192,2±12,42
	2 *	146,0±8,06	147,0±7,88	153,0±9,95	156,8 ±8,71	185,6±11,52
	3	107,3±6,60	109,3±8,82	96,3±7,84	111,0 ±6,37	112,7±6,40
	4 *	145,8±6,02	140,3±5,45	141,9±5,89	154,5 ±6,09	165,7±6,69
ВПР2, у.е.						
Юноши	1	8,35±1,002	7,45±0,527	7,97±1,096	7,64±0,562	9,39±1,135
	2	6,20±0,316	6,36±0,323	6,51±0,278	6,27±0,270	6,68±0,340
	3	5,65±0,341	5,60±0,330	4,23±0,330	5,09±0,323	5,06±0,278
	4	6,45±0,238	6,48±0,216	6,33±0,235	6,25±0,186	6,85±0,262
Девушки	1 *	7,02±0,822	5,54±0,623	6,96±0,607	7,36±0,468	8,22±0,408
	2 *	5,95±0,279	6,01±0,286	6,12±0,263	6,28±0,211	7,15±0,316
	3	4,89±0,257	4,71±0,288	4,72±0,319	5,01±0,251	5,20±0,231
	4 *	5,97±0,199	5,71±0,181	5,92±0,172	6,24 ±0,156	6,74±0,188

Примечание: УДА – уровень двигательной активности; 1 – студенты с низким УДА, 2 – студенты со средним УДА, 3 – студенты с высоким УДА, 4 – все студенты; Мо – мода, АМо – амплитуда моды, ВР – вариационный размах, ИН – индекс напряжения, ИВР – индекс вегетативного равновесия, ВПР – вегетативный показатель ритма.

* – различия между показателями 1-5 курсов достоверны при $p < 0,05$ по критерию F-Фишера.

В связи с тем, что после 30-го сердечного удара при проведении АОП вагусный тонус восстанавливается и становится максимальным, а спустя 1–2 мин после перехода в вертикальное положение тонус парасимпатического отдела ослабевает под влиянием усиления симпатического отдела в связи с выбросом катехоламинов [8], у студентов показатель ВР, характеризующий парасимпатическую активность, в проведенном исследовании снижается относительно покоя на 17,1–25,8 %

(соответственно полу и УДА). Показатели Mo , указывающей на доминирование симпатических влияний и снижение парасимпатических, после АОП снижаются на 11,4–20,5 %. Наибольший сдвиг среди показателей ВСР при проведении АОП отмечен между ИН1 и ИН2 (табл. 3).

Таблица 3

Сравнительный анализ показателей variability сердечного ритма у студентов при клино- и ортоположении, ($M \pm m$)

Пол	УДА	Среднее значение за 5 лет обучения (клиноположение)	Среднее значение за 5 лет обучения (ортоположение)	$\pm \Delta$, %
		$Mo1$, с	$Mo2$, с	
Юноши	1	0,69±0,01	0,61±0,01**	-11,6
	2	0,75±0,01	0,66±0,01**	-12,0
	3	0,88±0,02	0,70±0,01**	-20,5
	4	0,76±0,01	0,66±0,01**	-13,2
Девушки	1	0,70±0,01	0,62±0,01**	-11,4
	2	0,77±0,01	0,66±0,01**	-14,3
	3	0,88±0,01	0,70±0,01**	-20,5
	4	0,78±0,01	0,66±0,01**	-15,4
		$AMo1$, %	$AMo2$, %	
Юноши	1	31,7±1,1	40,6±1,3**	+28,1
	2	28,6±0,5	36,9±0,5**	+29,0
	3	27,5±0,6	32,2±0,7**	+17,1
	4	28,9 ±0,4	36,6 ±0,4**	+26,6
Девушки	1	32,3±0,7	40,1±0,7**	+24,1
	2	29,1±0,4	37,4±0,4**	+28,5
	3	26,4±0,5	32,0±0,7**	+21,2
	4	29,0±0,3	36,6±0,3**	+26,2
		$BP1$, с	$BP2$, с	
Юноши	1	0,31±0,01	0,23±0,01**	-25,8
	2	0,35±0,01	0,27±0,01**	-22,8
	3	0,38±0,01	0,30±0,01**	-21,1
	4	0,35±0,01	0,27±0,01**	-22,8
Девушки	1	0,34±0,03	0,28±0,01**	-17,6
	2	0,38±0,01	0,29±0,01**	-23,6
	3	0,41±0,02	0,34±0,01**	-17,1
	4	0,38±0,01	0,30±0,01**	-21,0
		ИН1, у.е.	ИН2, у.е.	
Юноши	1	92,4±7,5	172,4±13,6**	+86,6
	2	61,9±1,6	122,6±3,7**	+98,1
	3	51,9±2,9	84,2±3,5**	+62,2

Продолжение таблицы 3

Девушки	4	64,9 ±1,8	123,6 ±3,5**	+90,4
	1	79,7±3,4	144,8±7,2**	+81,7
	2	62,5±1,7	122,3±3,4**	+95,7
	3	44,4±1,4	74,5±2,5**	+67,7
	4	60,9±1,3	116,1±2,6**	+90,6
		ИВР1, у.е.	ИВР2, у.е.	
Юноши	1	120,3±8,2	207,7±15,4**	+72,6
	2	90,9±2,4	154,8±4,4**	+70,3
	3	77,8±2,7	115,5±4,6**	+48,5
	4	93,3 ±2,2	156,2 ±4,1**	+67,0
Девушки	1	108,5±4,5	171,1±7,1**	+57,7
	2	93,0±2,3	157,4±4,1**	+69,2
	3	74,9±2,5	106,7±3,5**	+42,4
	4	91,5±1,7	148,2±3,0**	+61,9
		ВПР1, у.е.	ВПР2, у.е.	
Юноши	1	5,4±0,2	8,1±0,4**	+50,8
	2	4,3±0,1	6,4±0,1**	+48,7
	3	3,4±0,1	5,2±0,1**	+51,0
	4	4,4±0,1	6,4 ±0,1**	+46,2
Девушки	1	4,8±0,1	7,0±0,3**	+45,2
	2	4,2±0,1	6,3±0,1**	+50,1
	3	3,3±0,1	4,9±0,1**	+50,9
	4	4,1±0,1	6,1±0,1**	+49,5

Примечание: УДА – уровень двигательной активности; 1 – студенты с низким УДА, 2 – студенты со средним УДА, 3 – студенты с высоким УДА, 4 – все студенты; Мо – мода, АМо – амплитуда моды, ВР – вариационный размах, ИН – индекс напряжения, ИВР – индекс вегетативного равновесия, ВПР – вегетативный показатель ритма.

Вегетативная реактивность отражает способность ВНС быстро реагировать на внешние и внутренние раздражители. В связи с этим она в основном характеризует функциональное состояние центрального контура регуляции [13]. Больше половины обследованных студентов имеют нормальный тип вегетативной реактивности (ТВР), среди которых преобладает численность молодежи, имеющая высокий УДА (табл. 4).

Почти треть студентов имеют гипертонический ТВР, что в большинстве случаев свидетельствует о напряженной адаптации и снижении резервных возможностей. Данный тип наиболее распространен среди студентов, имеющих низкий УДА (40,0 % юношей и 40,0 % девушек). Асимпатикотонический ТВР определен у 4,9 % молодежи, где большинство составляют студенты со средним УДА (29,5 % юношей и 32,1 % девушек). По данным В. М. Михайлова (2002) такой ТВР встречается среди здоровых в 14 % случаев и указывает на особенность функционирования вегетативной нервной системы (ВНС), но также может являться следствием перенапряжения регуляторных систем и невозможности дополнительного усиления деятельности симпатического отдела, которое происходит при переходе в

вертикальное положение [16]. В норме у здоровых лиц перемена положения тела приводит к незначительным физиологическим сдвигам со стороны ССС [17], что в проведенном исследовании было характерно для студентов, имеющих высокий УДА. У них выше ортостатическая устойчивость, отражающая способность тренированной ССС компенсировать изменение системного кровотока при АОП, когда происходит снижение притока крови к сердцу [7].

Таблица 4
Распределение показателей вегетативной реактивности у студентов с различным уровнем двигательной активности, %

Пол	Уровень двигательной активности	Тип вегетативной реактивности			Показатели статистики
		нормальный	гипер-симпатико-тонический	асимпатико-тонический	
Юноши	низкий	58,7	40,0	1,3	$\chi^2 = 24,95$, Df = 4, P < 0,001
	средний	65,0	29,6	5,4	
	высокий	88,4	9,3	2,3	
	Все юноши	68,4	27,5	4,1	
Девушки	низкий	54,8	40,0	5,2	$\chi^2 = 39,16$, Df = 4, P < 0,001
	средний	61,2	32,1	6,7	
	высокий	85,5	10,7	3,8	
	Все девушки	65,7	28,6	5,7	

В ходе исследования проводился сравнительный анализ средних значений показателей психологических тестов ($M \pm m$) между студентами с различным УДА за период обучения в вузе. Динамика показателей САН обусловлена УДА: у студентов с низким УДА показатели этого теста на 5 курсе ниже чем на первом, у студентов с высоким – наоборот, выше ($p < 0,05$). ЛТ и СТ у студентов с низким УДА на 5 курсе выше, также выше показатели СТ у студентов со средним УДА ($p < 0,05$). У студентов с высоким УДА показатели СТ и ЛТ изменяются незначительно, их значения достоверно ниже в отличие от студентов со средним УДА и особенно с низким УДА ($p < 0,001$). Высокий темп физической активности обеспечивает рост значений САН и снижение ЛТ и СТ у студентов, ведущих активный образ жизни (табл. 5)

В работах, посвященных исследованию влияния занятий физической культурой и спортом, авторы указывают на зависимость психических процессов от воздействия физических нагрузок, отличающихся по объёму и интенсивности, при этом результаты носят противоречивый характер. Например, В. М. Климов и Р. И. Айзман (2017), изучая влияние занятий спортом различной направленности на психофизиологический статус студентов выявили, что наиболее положительное влияние оказывает баскетбол [1], а В. И. Уткин с соавтр. (2010), наоборот, определили у студентов, занимающихся баскетболом, высокую ситуативную

тревожность, что может оказывать неблагоприятное влияние на психофизиологическое состояние молодежи [18]. В проведенном нами исследовании показано положительное влияние на психофизиологический статус студентов высокой физической активности, которая представлена различными направлениями, а не только занятиями избранным видом спорта, что позволяет успешно функционировать организму в условиях повышенных учебных и физических нагрузок.

Таблица 5

Динамика показателей психологических тестов, (M±m)

УДА Пол	Изучаемые показатели	1 курс	2 курс	3 курс	4 курс	5 курс	
Низкий УДА	Юноши	САН	4,9±0,1	4,7 ±0,1	4,8±0,2	5,0±0,1	4,5±0,1**
		СТ	29,4±1,3	29,1±1,5	30,5±1,3	31,1±1,4	32,0±2,0
		ЛТ*	42,1±2,0	42,9 ±1,7	40,8±0,7	41,7±1,3	46,9±1,5**
	Девушки	САН	4,6±0,1	4,6±0,1	4,8±0,1	4,1±0,1	4,2±0,1**
		СТ	30,6±0,9	30,0±1,1	30,1±1,3	31,1±1,2	33,8±1,4**
		ЛТ	43,4±1,3	41,4±2,0	40,7±0,9	42,5±1,1	46,0±1,2**
Средний УДА	Юноши	САН	4,7±0,1	4,8 ±0,1	5,0±0,1	4,7±0,1	4,8±0,1
		СТ	27,2±0,5	25,9 ±0,6	27,6±0,8	28,2±0,8	30,1±0,7**
		ЛТ*	40,6±0,8	36,3±0,7	38,3±0,5	40,7±0,7	42,4±0,8
	Девушки	САН*	4,7±0,1	5,0±0,1	5,0±0,1	4,7±0,1	4,8±0,07
		СТ*	27,1 ±0,5	26,0±0,6	27,1±0,7	27,9±0,7	29,5±0,6**
		ЛТ*	41,4±0,7	39,5±0,7	38,6±0,4	40,9±0,6	42,7±0,6
Высокий УДА	Юноши	САН	4,9±0,1	5,2 ±0,1	5,4±0,1	5,3±0,1	5,4±0,1**
		СТ	24,8±0,9	23,1±1,1	23,0±1,2	22,9±1,2	24,8±1,1
		ЛТ	38,4±1,4	35,8±1,5	35,0±1,0	36,3±1,4	37,8±1,5
	Девушки	САН	4,9±0,1	5,4±0,1	5,3±0,1	5,2±0,1	5,5±0,1**
		СТ	26,8±0,8	24,7±0,9	25,8±1,1	24,0±1,0	26,7±0,9
		ЛТ*	38,4±1,2	35,1±0,8	34,9±0,8	36,4±1,0	35,7±1,1

Примечание: САН – самочувствие, активность, настроение; ЛТ – личностная тревожность, СТ – ситуативная тревожность; УДА – уровень двигательной активности; * – различия между показателями 1-5 курсов достоверны при $p < 0,05$ по критерию F-Фишера, ** – различия между показателями на 1 и 5 курсах достоверно значимы при $p < 0,05$ по критерию t-Стьюдента.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

У студентов, имеющих низкий УДА, за период обучения в вузе происходит усиление централизации управления ритмом сердца на фоне возрастания активизации симпатического отдела и ослабления влияния на синусовый узел парасимпатического отдела ВНС. У студентов, имеющих высокий УДА, определено оптимальное сбалансированное функциональное состояние ВНС в течение всего периода обучения в вузе, характеризующееся адекватной реакцией на АОП

парасимпатического и симпатического отделов с умеренным вовлечением механизмов центральной регуляции сердечного ритма. Это подтверждает важность для обеспечения психологического равновесия и вегетативного баланса организма поддержания высокой физической активности, включающей различные ее направления (занятие спортом, физической культурой и фитнесом, закаливание, активный отдых и др.).

Список литературы

1. Климов В. М. Характеристика психофизиологического здоровья студентов технического вуза в динамике / В. М. Климов, Р. И. Айзман // Электронный научно-образовательный вестник «Здоровье и образование в XXI веке». – 2017. – Т.19. № 10. – С. 28–38.
2. Кобякова О. С. Частота поведенческих факторов риска хронических неинфекционных заболеваний и уровень качества жизни у студентов разных направлений подготовки в зависимости от года обучения / О. С. Кобякова, И. А. Деев, Н. М. Файзулина [и др.] // Профилактическая медицина. – 2021. – Т.24. №4. – С. 23–29. DOI: 10.17116/profmed20212404123
3. Okazaki K. One-year outcome of an interactive internet-based physical activity intervention among university students / K. Okazaki, S. Okano, S. Haga [et al.] // International Journal of Medical Informatics. – 2014. – V. 83. № 5. – P. 354–360. DOI: 10.1016/j.ijmedinf.2014.01.012
4. Каташинская Л. И. Динамика психофизиологических характеристик и физической подготовленности студентов физкультурного факультета педагогического вуза / Л. И. Каташинская, Л. В. Губанова, Е. В. Ермакова [и др.] // Человек. Спорт. Медицина. – 2019. – Т. 19, № 4. – С. 29–36. DOI: 10.14529/hsm190404
5. Fletcher G. F. Promoting physical activity and exercise / G. F. Fletcher, C. Landolfo, J. Niebauer [et al.] // JACC Health Promotion Series. – 2018. – Vol. 72(23). – P. 3053–3070. DOI: 10.1016/j.jacc.2018.10.025.
6. Суворов Г. Б. Концепция психологического обеспечения психофизиологического статуса человека: психомоторная составляющая / Г. Б. Суворов, В. Б. Чесноков // Вестник Санкт-Петербургского университета. – 2009. – Сер.12, Вып.2. Ч.II. – С. 3–28.
7. Яманова Г. А. Тип регуляции сердечного ритма как критерий адаптации к условиям обучения / Г. А. Яманова // Человек. Спорт. Медицина. – 2021. – Т.21. №1. – С. 62–70. DOI: 10.14529/hsm210108
8. Сетко Н. П. Гигиеническая оценка функциональных резервов и адаптационных возможностей студентов / Н. П. Сетко, Е. В. Булычева, Е. Б. Бейлина // Гигиена и санитария. – 2017. – Т.96, №2. – С. 166–170. DOI:10.18821/0016-9900-2017-96-2-166-170
9. Мыльникова И. В. Информативность показателей variability сердечного ритма для выявления неблагоприятного влияния факторов окружающей среды на здоровье девушек / И. В. Мыльникова, Н. В. Ефимова // Гигиена и санитария. – 2015. – Т.94, №.1. – С. 121–124.
10. Pereira T. Heart rate variability metrics for fine-grained stress level assessment / T. Pereira, P. Almeida, J. Cunha, A. Aguiar // Computer methods and programs in biomedicine. – 2017. – № 148. – P. 71–80. DOI: 10.1016/j.cmpb.2017.06.018.
11. Miguel A. C. Predictive factors of quality of life among medical students: results from a multicentric study / A. C. Miguel, P. Tempski, R. Kobayasi [et al.] // BMC Psychol. – 2021. – № 9(1). – P. 36. DOI:10.1186/s40359-021-00534-5.
12. Калужный Е. А. Характеристика адаптационных возможностей сердечно-сосудистой системы у юношей и девушек на этапе высшего образования / Е. А. Калужный, С. В. Михайлова, В. Ю. Маслова, Ю. Г. Кузмичев // Человек – Природа – Общество: теория и практика безопасности жизнедеятельности, экологии и валеологии. – 2014. – № 7. – С. 76–79.
13. Методические рекомендации к освоению дисциплины «Физическая культура и спорт (элективная дисциплина)». Материалы для выполнения заданий Дневника здоровья студента. Составители: Михайлова С. В., Сидорова Т. В., Полякова Т. А. [и др.]. – Арзамас: Арзамасский филиал ННГУ. – 2019. – 50 с.

14. Организация и функционирование Центров здоровья. – М.: ГОУ ВПО РГМУ. – 2010. – 60 с.
15. Баевский Р. М. Анализ variability сердечного ритма при использовании различных электрокардиографических систем (методические рекомендации) / Р. М. Баевский, Г. Г. Иванов, Л. В. Чирейкин [и др.] // Вестник аритмологии. – 2001. – № 24. – С. 65–83.
16. Михайлов В. М. Variability ритма сердца: опыт практического применения / В. М. Михайлов. – Иваново: Иван. мед. Академия. – 2002. – 290 с.
17. Аверьянова И. В. Особенности перестроек кардиогемодинамики и variability сердечного ритма у европеоидов – мигрантов и уроженцев Севера первого и второго поколений при активной ортостатической пробе / И. В. Аверьянова, А. Л. Максимов // Сибирский научный медицинский журнал. – 2021. – № 41 (3). – С. 45–52. DOI: 10.18699/SSMJ20210306
18. Уткин В. И. Спортивно-ориентированная направленность в системе физического воспитания студентов / В. И. Уткин, Е. М. Ревенко, В. А. Сальников // Физическая культура: воспитание, образование, тренировка. – 2010. – № 5. – С. 53–58.

INFLUENCE OF THE LEVEL OF PHYSICAL ACTIVITY ON THE PSYCHOPHYSIOLOGICAL STATUS OF STUDENTS FOR THE PERI-OD OF STUDYING AT THE UNIVERSITY

Shchelina T. T.¹, Mihajlova S. V.¹, Kalyuzhny E. A.², Khrycheva T. V.³

¹*Arzamas branch national Research Nizhny Novgorod State University named N. I. Lobachevsky, Arzamas, Russia*

²*FSBEI HE «Privolzhsky Research Medical University», Nizhny Novgorod, Russia*

³*SEENNR «Arzamas City Hospital No. 1», Health Center, Arzamas, Russia*

E-mail: fatinia_m@mail.ru

Numerous studies indicate both positive and unfavorable effects on the body of physical activity, differing in volume and intensity. The physical state of the body largely depends on the nature of physical activity, since it activates compensatory-adaptive mechanisms, expands the functionality of the body, improves well-being, and is an important factor in primary and secondary prevention of diseases. Limitation of motor activity during intense mental activity worsens the state of the psychophysiological status, which refers to the psychophysiological characteristics of a person, including not only psychological qualities, but also levels of regulation

The aim of the study is to study the influence of the level of physical activity (LPhA), including its various directions (sports, active rest, hardening, etc.) on the psychophysiological status of students during the period of their studies at the university.

Materials and methods. The study involved 230 students of 17–22 years old with different LPhA, determined by the test with questions about physical activity of a different nature. The dynamics of indicators of heart rate variability (HRV) and psychological tests was investigated.

Results. Comparative analysis revealed significant differences in all HRV indices between students with low and high LPhA, as well as in the majority of indicators between students with low and medium LPhA, medium and high LPhA, both in wedge and orthoposition. Based on the study of the dynamics of HRV indices, an increase in sympathetic influences was revealed in students with low LPhA by the end of the training,

in students with high LPhA, the optimal functional state of the ANS was determined during the entire period of study at the university. Among the latter, more than 80 % of students were identified with eutonia and a normal type of autonomic reactivity. It was revealed that the dynamics of the indicators of the mental characteristics of young men and women was conditioned by physical activity: a high LPhA provides an improvement in well-being and mood against the background of a decrease in personal and situational anxiety.

Conclusion. The positive influence on the psychophysiological status of students of high LPhA has been proved, which is represented by various directions, and not only by practicing a chosen kind of sport, which allows the body to function successfully under conditions of increased educational and physical loads.

Keywords: physical activity, students, heart rate variability, psychophysiological status.

References

1. Klimov V. M., Ajzman R. I. Characteristics of the psychophysiological health of students of a technical university in dynamics. *Elec scientific and educ bulletin "Health and education in the XXI century"*, **19(10)**, 28 (2017).
2. Kobyakova O. S., Deev I. A., Faizulina N. M., Starovoitova E. A., Almikeeva A. A., Zagromova T. A., Balaganskaya M. A., Kulikov E. S. The frequency of behavioral risk factors for chronic noncommunicable diseases and the level of quality of life among students of different areas of training, depending on the year of study. *Profilakticheskaya medicina*, **4**, 23 (2021) DOI: 10.17116/profmed20212404123
3. Okazaki K., Okano S., Haga S., Seki A., Suzuki H., Takahashi K. One-year outcome of an interactive internet-based physical activity intervention among university students. *International Journal of Medical Informatics*. **83(5)**, 354 (2014) DOI: 10.1016/j.ijmedinf.2014.01.012
4. Katashinskaya L. I., Gubanova L. V., Ermakova E. V., Kadyseva A. A., Tsalikova I. K. Dynamics of Psychophysiological Characteristics and Physical Fitness of the Physical Education Faculty Students at the Pedagogical University. *Human. Sport. Medicine*. **19(4)**, 29 (2019). DOI: 10.14529/hsm190404
5. Fletcher G. F., Landolfo C., Niebauer J., Ozemek C., Arena R., Lavie C. J. Promoting physical activity and exercise. *JACC Health Promotion Series*. **72(23)**, 3053 (2018) DOI: 10.1016/j.jacc.2018.10.025.
6. Suvorov G. B., Chesnokov V. B. The concept of psychological support for the psychophysiological status of a person: the psychomotor component. *Vestnik Sankt-Peterburgskogo universiteta*. **12(2)**, 3 (2009).
7. Yamanova G. A. The Type of Heart Rate Regulation as a Criterion for Adaptation to Learning Conditions. *Human. Sport. Medicine*. **21(1)**, 62 (2021). DOI: 10.14529/hsm210108
8. Setko N. P., Bulycheva E. V., Bejlina E. B. Hygienic assessment of students' functional re-serves and adaptive capabilities. *Gigiena i sanitariya*, **96(2)**, 166 (2017) DOI: <http://dx.doi.org/10.18821/0016-9900-2017-96-2-166-170>.
9. Mylnikova I. V., Efimova N. V. The informativeness of indices of the heart rate variability for the identification of the adverse effects of environmental factors on the health of adolescent girls. *Gigiena i sanitariya*. **94 (1)**, 121 (2015)
10. Pereira T., Almeida P., Cunha J., Aguiar A. Heart rate variability metrics for fine-grained stress level assessment. *Computer methods and programs in biomedicine*. **148**, 71 (2017) DOI:10.1016/j.cmpb.2017.06.018.
11. Miguel A. C., Tempski P., Kobayasi R., Mayer F. B., Martins M. A. Predictive factors of quality of life among medical students: results from a multicentric study. *BMC Psychol*. **9(1)**, 36. (2021). DOI: 10.1186/s40359-021-00534-5.

12. Kalyuzhny E. A., Mikhailova S. V., Maslova V. Yu., Kuzmichev Yu. G. Characteristics of the adaptive capabilities of the cardiovascular system in boys and girls at the stage of higher education. *Man - Nature - Society: theory and practice of life safety, ecology and valeology*. **7**, 76 (2014).
13. Mihajlova S. V., Sidorova T. V., Polyakova T. A. *Methodical recommendations for mastering the discipline "Physical culture and sports (elective discipline)". Materials for completing tasks of the Student Health Diary* (Arzamas: Arzamasskij filial NNGU, 2019).
14. *Organization and operation of Health Centers*. (M: GOU VPO RGMU, 2010).
15. Baevsky R. M., Ivanov G. G., Chireikin L. V., Gavrilushkin A. L., Dovgalevskaya P. Ya., Kukushkin Yu. A., Mironova T. F., Prilutsky D. A., Selepov A. V., Fedorov V. F., Fleishman A. N., Medvedev M. M. Analysis of heart rate variability using various electrocardiographic systems (guidelines). *Bulletin of arrhythmology*. **24**, 65 (2001).
16. Mikhailov V. M. *Heart rate variability: practical experience*. (Ivanovo: Ivan. state med. Academy, 2002).
17. Averyanova I. V., Maksimov A. L. Cardiohemodynamic and heart rate variability changes observed in the North newcomer Caucasians and people born to them in the 1st - 2nd generations at active orthostatic test exposure. *Siberian Scientific Medical Journal*. **41(3)**, 45 (2021). DOI: 10.18699/SSMJ20210306
18. Utkin V. I., Revenko E. M., Salnikov V. A. Sports-oriented orientation in the system of physical education of students. *Fizicheskaya kul'tura: vospitanie, obrazovanie, trenirovka*. **5**, 53 (2010).

Ученые записки Крымского федерального университета имени В. И. Вернадского
Биология. Химия. Том 8 (74). 2022. № 3. С. 226–232.

УДК 544.354.3

ВЛИЯНИЕ ПОКАЗАТЕЛЯ КИСЛОТНОСТИ СРЕДЫ НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРОЦЕССОВ БАКТЕРИАЛЬНОГО ВЫЩЕЛАЧИВАНИЯ СУЛЬФИДНЫХ РУД МЕСТОРОЖДЕНИЯ ШАНУЧ (КАМЧАТКА)

Рогатых С. В.

*ФГБОУ ВО «Камчатский государственный университет имени Витуса Беринга»,
Петропавловск-Камчатский, Россия
E-mail: rogatykhsv@yandex.ru*

Представлено исследование изменения рН в ходе процессов окисления сульфидных минералов и оценено влияние этого изменения на ход процесса выщелачивания металлов. Целью работы являлось определение влияния изменения рН среды на эффективность процессов бактериального выщелачивания руд месторождения Шануч (полуостров Камчатка). В результате исследования выявилось, что итоговое значение рН среды стремится к оптимальному, при этом необходимо учитывать, что оптимальное рН будет зависеть от концентрации ионов Fe^{3+} в растворе. Также в ходе процесса рН следует контролировать, не допуская выпадения осадков, которые могут не только уменьшить скорость протекания процессов выщелачивания, но и уменьшить содержание добываемых металлов в растворе за счет их соосаждения.

Ключевые слова: бактериально-химическое выщелачивание, показатель кислотности среды, хемолитотрофные микроорганизмы, рН, Камчатка.

ВВЕДЕНИЕ

Биовыщелачиванием (бактериальным выщелачиванием) называется избирательное извлечение металлов из руд посредством их растворения железо- и сероокисляющими микроорганизмами в водной среде [1]. За последние десятилетия промышленное применение микроорганизмов с целью извлечения ценных компонентов из руд достигло широких масштабов в разных странах. В настоящее время различными компаниями стран Северной и Южной Америк, Африки, Австралии используются биовыщелачивающие технологии добычи меди, кобальта, никеля, золота, цинка, урана [2–4]. В добыче минералов биологическим путем используют разнообразные подходы, включающие кучное, чановое и подземное выщелачивания. Значимость биометаллургии возрастает в связи с переходом на разработку низкосортных руд, минеральных концентратов, хвостов отработанных месторождений и с появлением на мировом уровне тенденции к проведению более рациональной и экологически безопасной добычи полезных ископаемых.

Кинетика бактериально-химического окисления сульфидных минералов зависит от их термодинамических особенностей, электрохимического взаимодействия в рудах и концентратах, от условий среды (рН, температуры, концентрации O_2 и CO_2), размера частиц минерала, Fe^{2+} , Fe^{3+} , и других металлов, технологии процесса выщелачивания, концентрации и активности бактерий [5].

В процессах бактериального выщелачивания наблюдается изменение рН среды, что может приводить к выпадению осадков гидроксида железа(III). Подобные осадки могут соосаждать другие компоненты раствора, в том числе и извлекаемые из руды металлы. Исследование закономерностей изменения рН среды, его влияния на микроорганизмы, участвующие в выщелачивании, на ход реакций в целом – необходимо, так как позволит повысить эффективность процессов выщелачивания.

Цель нашей работы состояла в исследовании изменения рН среды на эффективность процесса бактериального выщелачивания руды камчатского месторождения Шануч. Задачи работы – определить закономерности изменения рН среды в процессе бактериально-химического выщелачивания сульфидных руд месторождения Шануч и оценить влияние изменения рН на ход процесса в целом.

Биовыщелачивание осуществляют хемолитотрофные микроорганизмы, которые используют в качестве доноров электронов и источника энергии неорганические субстраты. Необходимую для своего существования энергию микроорганизмы получают из окислительно-восстановительной реакции, катализируя ее посредством специфического для каждого вида бактерий ферментативного аппарата [6]. Если реакция служит для организма источником энергии, то обычно она протекает в несколько стадий, хотя бы одна из которых сопряжена с образованием универсального переносчика энергии – АТФ. Окислителем в большинстве реакций, осуществляемых литотрофами, служит кислород. Система переноса электрона от субстрата к кислороду в высокой степени унифицирована у разных организмов, представляя собой механизм синтеза воды.

Бактерии ускоряют электрохимический окислительный процесс двумя путями: снижают электродный потенциал сульфидов и повышают окислительно-восстановительный потенциал среды; окисляют закисное железо и элементную серу.

Процесс окисления закисного железа, элементной серы и сульфидных минералов в ацидофильных условиях осуществляет широкий спектр микроорганизмов, различающихся по физиологическим свойствам.

В процессе бактериального выщелачивания сульфидных руд участвуют бактерии родов *Acidithiobacillus*, *Leptospirillum*, *Sulfobacillus* и *Acidimicrobium*, а также археи, принадлежащие к родам *Sulfolobus*, *Acidianus*, *Metallosphaera* и *Ferroplasma* [1, 6].

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Для достижения поставленной цели в качестве объектов исследования были отобраны несколько накопительных культур микроорганизмов, выделенных из сульфидных медно-никелевых руд месторождения Шануч. Их выделение проводили

стационарно в колбах Эрленмейера объемом 250 мл с использованием следующих питательных сред:

- а) минеральная основа среды 9К без $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ [5];
- б) минеральная основа среды 9К с $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ из расчета 6 г/л Fe, $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ из расчета 3 г/л $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ и дрожжевого экстракта 2 % [5];
- в) питательная среда «DSM 71» [7];
- г) питательная среда «DSM 882» [8].

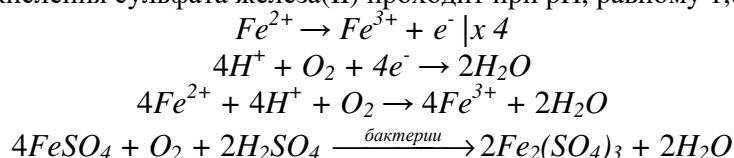
Соотношение соответствующего образца руды к питательной среде при этом составляло 1 : 8 (15 г руды и 120 мл питательной среды). Культивирование осуществляли при температуре 20–22 °С в течение двух месяцев.

Измерение рН производилось с помощью рН-метра «Mettler Toledo FE20».

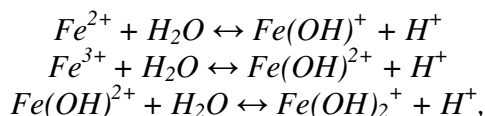
РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Изменение рН рассчитывается в данной работе для окисления 0,06 моль сульфата железа(II). Остальные условия продиктованы физиологическими свойствами микроорганизмов, участвующих в процессе окисления закисного железа.

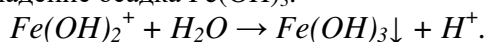
Реакция окисления сульфата железа(II) проходит при рН, равному 1,8:



Побочными реакциями данного процесса являются гидролиз Fe^{2+} и гидролиз Fe^{3+} :



также возможно выпадение осадка $\text{Fe}(\text{OH})_3$:



Было проанализировано влияние гидролиза ионов Fe^{2+} по первой ступени на кислотность. Константа гидролиза и степень гидролиза по первой ступени равны соответственно:

$$k_{hl} = 10^{-14} / 1,32 \cdot 10^{-4} = 7,6 \cdot 10^{-11}; \quad (1)$$

$$h_1 = \frac{k_h}{k_h + C_{0\text{H}^+}} = \frac{7,6 \cdot 10^{-11}}{7,6 \cdot 10^{-11} + 1,6 \cdot 10^{-2}} \approx 4,75 \cdot 10^{-9}, \quad (2)$$

где k_{hl} – константа гидролиза по первой ступени; h_1 – степень гидролиза по первой ступени; $C_{0\text{H}^+}$ – начальная концентрация ионов водорода.

Из чего следует, что гидролиз ионов Fe^{2+} существенно не влияет на изменение рН среды, так как подавляется высокой концентрацией ионов H^+ .

Аналогично можно рассчитать константу и степень гидролиза для ионов Fe^{3+} по первой ступени:

$$k_{h1} = 10^{-14} / 1,35 \cdot 10^{-12} = 0,74 \cdot 10^{-2}; \quad (3)$$

$$h_1 = \frac{0,74 \cdot 10^{-2}}{0,74 \cdot 10^{-2} + 1,6 \cdot 10^{-2}} \approx 0,27; \quad (4)$$

$$C_{1H^+} = 0,27 \cdot 0,06 + 1,6 \cdot 10^{-2} = 3,22 \cdot 10^{-2}; \quad (5)$$

$$pH = 1,49; \Delta pH_1 = -0,31,$$

где C_{1H^+} – концентрация ионов водорода с учетом гидролиза ионов Fe^{3+} по первой ступени; ΔpH_1 – изменение показателя кислотности с учетом гидролиза ионов Fe^{3+} по первой ступени.

Гидролиз ионов Fe^{3+} по первой ступени оказывает влияние на pH, изменяя его приблизительно на 0,31 долей единицы.

По второй ступени:

$$k_{h2} = 10^{-14} / 1,8 \cdot 10^{-11} \approx 5,6 \cdot 10^{-4}; \quad (6)$$

$$h_2 = 5,6 \cdot 10^{-4} / 5,6 \cdot 10^{-4} + 3,2 \cdot 10^{-2} = 0,0172; \quad (7)$$

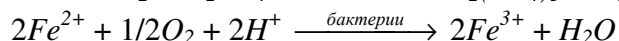
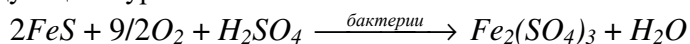
$$C_{2H^+} = 3,22 \cdot 10^{-2} + 1,72 \cdot 6 \cdot 10^{-4} = 3,32 \cdot 10^{-2}; \quad (8)$$

$$pH = 1,479; \Delta pH_2 = -0,011,$$

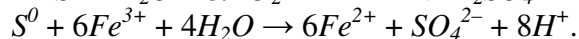
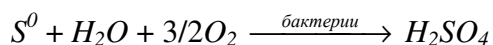
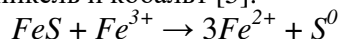
где k_{h2} – константа гидролиза по второй ступени; h_2 – степень гидролиза по второй ступени; C_{2H^+} – концентрация ионов водорода с учетом гидролиза ионов Fe^{3+} по второй ступени; ΔpH_2 – изменение показателя кислотности с учетом гидролиза ионов Fe^{3+} по второй ступени.

Таким образом, гидролиз Fe^{3+} по второй ступени (в отличие от гидролиза по первой ступени) влияет на изменение кислотности среды незначительно. Гидролиз по третьей ступени также не окажет значительного влияния на кислотность. В целом же изменение pH будет определяться химическим составом руды и начальной концентрацией ионов водорода, так как она определяет степень гидролиза ионов Fe^{3+} и возможность выпадения осадка $Fe(OH)_3$.

Описанная выше реакция проходит на среде Сильвермана-Люндгрена (9К) с добавлением закисного железа, при культивировании бактерий *At. ferrooxidans*. Подобные реакции проходят и при бактериально-химическом окислении руды, основным компонентом которой является пирротин (FeS). Окисление будет описываться следующими уравнениями:



При окислении руды также будет происходить окисление сульфидных минералов содержащих медь, никель и кобальт [5].



Изменение pH среды будет изменяться следующим образом: сначала pH будет расти, и этот процесс будет продолжаться до накопления в растворе достаточного количества ионов Fe^{3+} , затем начнется параллельный процесс образования элементарной серы, которая впоследствии будет окисляться с помощью бактерий до серной кислоты, либо химически восстанавливать ионы Fe^{3+} до Fe^{2+} образуя при

этом серную кислоту, что в свою очередь приведет к понижению рН среды. Данная закономерность не является строгой, так как все процессы схемы окисления протекают в среде одновременно, но с различными скоростями, которые зависят, в том числе, и от концентрации реагентов [9]. Таким образом, на разных стадиях процесса выщелачивания в среде может протекать лишь часть вышеуказанных процессов, а могут и все сразу.

Концентрация ионов Fe^{3+} в растворе является одним из важнейших параметров биовыщелачивания, так как именно от нее зависит выщелачивание добываемых металлов в раствор [10]. При этом идет выпадение труднорастворимого осадка гидроксида железа(III), который не сможет окислять сульфидные минералы и снижает эффективность биовыщелачивания.

Можно предположить, что осадок не будет выпадать, если произведение молярных концентраций ионов трехвалентного железа и OH^- будет меньше произведения растворимости $Fe(OH)_3$:

$$C(Fe^{3+}) \cdot (C(OH^-))^3 < ПР(Fe(OH)_3). \quad (9)$$

Изменение концентрации ионов Fe^{3+} в условиях выщелачивания находилось в пределах от 0,057 М до 0,005 М. Проанализируем это условие для двух крайних случаев содержания Fe^{3+} в растворе (произведение растворимости $Fe(OH)_3 = 6,3 \cdot 10^{-38}$).

Первое условие, когда $C(Fe^{3+}) = 0,057$ М:

$$\begin{aligned} 0,057 \cdot (C(OH^-))^3 &< 6,3 \cdot 10^{-38}; \\ (C(OH^-))^3 &< 6,3 \cdot 10^{-38} / 0,057 = 1,1 \cdot 10^{-36}; \\ C(OH^-) &= \sqrt[3]{1,1 \cdot 10^{-36}} \approx 10^{-12}; \end{aligned}$$

таким образом, значение рН, при котором начинается выпадение осадка, больше или равно 2.

Второе условие, когда $C(Fe^{3+}) = 0,005$ М:

$$\begin{aligned} 0,005 \cdot (C(OH^-))^3 &< 6,3 \cdot 10^{-38}; \\ (C(OH^-))^3 &< 6,3 \cdot 10^{-38} / 0,005 = 12,6 \cdot 10^{-36}; \\ C(OH^-) &= \sqrt[3]{12,6 \cdot 10^{-36}} \approx 2,33 \cdot 10^{-12}; \end{aligned}$$

здесь $pH \leq 2 + \lg 2,33 \leq 2,4$.

Реальная величина рН, при которой начинается выпадение осадка при биовыщелачивании, несколько выше, чем теоретическая, при этом отличие колеблется в интервале 0,2–0,4 доли единицы рН.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Подобрана оптимальная кислотность среды, соответствующая высокой эффективности работы микроорганизмов при бактериально-химическом выщелачивании, и учитывающая уменьшение выпадения осадка гидроксида железа(III). Оптимальное значение рН в том числе будет зависеть от концентрации ионов Fe^{3+} в растворе.

Значение рН, при котором начинается выпадение осадка, больше или равно 2 ($\pm 0,2$ –0,4). При таких значениях не допускается выпадения осадков, которые могут

не только уменьшить скорость протекания процессов выщелачивания, но и уменьшить содержание добываемых металлов в растворе за счет их соосаждения.

Список литературы

1. Кондратьева Т. Ф. Микроорганизмы в биоготехнологиях переработки сульфидных руд / Т. Ф. Кондратьева, А. Г. Булаев, М. И. Муравьев. – М.: Наука, 2015. – 206 с.
2. Bosecker K. Bioleaching: metal solubilization by microorganisms / K. Bosecker. // FEMS Microbiol. Rev. – 1997. – Vol. 20. – P. 591–604.
3. Norris P. R. Acidophiles in bioreactor mineral processing / P. R. Norris, N. P. Burton, N. A. Foulis. // Extremophiles. – 2000. – Vol. 4. – P. 71–76.
4. Rawlings D. E. Characteristics and adaptability of iron- and sulfur-oxidizing microorganisms used for the recovery of metals from minerals and their concentrates / D. E. Rawlings. // Microbial Cell Factories. – 2005. – Vol. 4. N. 13. – 15 p.
5. Каравайко Г. И. Биоготехнология металлов: практическое руководство / Г. И. Каравайко, Дж. Росси, А. Агате, С. Грудев, З. А. Авакян. – М.: Центр международных проектов ГКНТ, 1989. – 375 с.
6. Заварзин Г. А. Литотрофные микроорганизмы / Г. А. Заварзин. – М.: Наука, 1972. – 523 с.
7. Cultivation conditions: *Acidithiobacillus ferrooxidans* [Электронный ресурс]. URL: http://www.dsmz.de/microorganisms/medium/pdf/DSMZ_Medium71.pdf (дата обращения: 12.05.2022).
8. Cultivation conditions: *Leptospirillum sp.* [Электронный ресурс]. URL: http://www.dsmz.de/microorganisms/medium/pdf/DSMZ_Medium882.pdf (дата обращения: 12.05.2022).
9. Гаррелс Р. М. Растворы, минералы, равновесия / Р. М. Гаррелс, Ч. Л. Крайст. – М.: Мир, 1968. – 368 с.
10. Орехова Н. Н. Научное обоснование и разработка технологии комплексной переработки и утилизации техногенных медно-цинковых вод горных предприятий : дис. ... докт. техн. наук. / Орехова Н. Н. – Магнитогорск, 2014. – 388 с.

INFLUENCE OF THE pH ON THE EFFICIENCY OF THE PROCESSES OF BACTERIAL LEACHING OF SULPHIDE ORES OF THE SHANUCH (KAMCHATKA)

Rogatykh S. V.

*Vitus Bering Kamchatka State University, Petropavlovsk-Kamchatsky, Russian Federation
E-mail: rogarykhsv@yandex.ru*

The paper presents an investigation of the pH change during the oxidation of sulfide minerals and estimates the effect of this change on the course of the metal leaching process. The aim of the work was to determine the effect of pH change on the efficiency of the processes of bacterial leaching of the Shanuch deposit (Kamchatka peninsula). In the processes of bacterial leaching, a change in the pH of the medium is observed, which can lead to precipitation of iron(III) hydroxide. Such precipitates can co-precipitate other components of the solution, including metals extracted from the ore. It is necessary to study the patterns of changes in the pH of the medium, its influence on the microorganisms involved in leaching, on the course of reactions in general, as it will improve the efficiency of leaching processes. The change in the pH of the medium will

change as follows: first, the pH will increase, and this process will continue until a sufficient amount of Fe^{3+} ions accumulate in the solution, then a parallel process of the formation of elemental sulfur will begin, which will subsequently be oxidized by bacteria to sulfuric acid, or the ions will be chemically reduced Fe^{3+} to Fe^{2+} , thus forming sulfuric acid, which in turn will lead to a decrease in the pH of the medium. This pattern is not strict, since all the processes of the oxidation scheme proceed in the medium simultaneously, but at different rates, which depend, among other things, on the concentration of the reagents. Thus, at different stages of the leaching process, only a part of the above processes can occur in the medium, or they can all at once. As a result of the study, it was found that the final pH of the medium tends to be optimal. Also during the process, the pH should be monitored, avoiding precipitation, which can not only reduce the rate of leaching processes, but also reduce the content of mined metals in solution by coprecipitation.

Keywords: bacterial-chemical leaching, acidity index of the environment, pH, chemolithotrophic microorganisms, Kamchatka.

References

1. Kondrat'eva T. F., Bulaev A. G., Murav'ev M. I., *Microorganisms in biotechnologies for processing sulfide ores*, 206 p. (Nauka, Moscow, 2015). (in Russ.).
2. Bosecker K., Bioleaching: metal solubilization by microorganisms, *FEMS Microbiol. Rev.*, **20**, 591 (1997).
3. Norris P. R., Burton N. P., Foulis N. A., Acidophiles in bioreactor mineral processing, *Extremophiles*, **4**, 71 (2000).
4. Rawlings D. E., Characteristics and adaptability of iron- and sulfur-oxidizing microorganisms used for the recovery of metals from minerals and their concentrates, *Microbial Cell Factories*, **4** (13), 15 (2005).
5. Karavajko G. I., Rossi Dzh., Agate A., Grudev S., Avakjan Z. A., *Biotechnology of metals: a practical guide*, 375 p. (GKNT, Moscow, 1989). (in Russ.).
6. Zavarzin G. A., *Lithotrophic microorganisms*, 523 p. (Nauka, Moscow, 1972). (in Russ.).
7. *Cultivation conditions: Acidithiobacillus ferrooxidans*, http://www.dsmz.de/microorganisms/medium/pdf/DSMZ_Medium71.pdf (Accessed May 12, 2022).
8. *Cultivation conditions: Leptospirillum sp.*, http://www.dsmz.de/microorganisms/medium/pdf/DSMZ_Medium882.pdf (Accessed May 12, 2022).
9. Garrels R. M., Krajest Ch. L., *Solutions, minerals, equilibria*, 368 p. (Mir, Moscow, 1968). (in Russ.).
10. Orehova N. N., *Scientific substantiation and development of technology for complex processing and utilization of technogenic copper-zinc waters of mining enterprises*, 388 p. (Magnitogorsk, 2014). (in Russ.).

УДК 546.185 + 547.787.1

СИНТЕЗ РЯДА ПРОИЗВОДНЫХ БЕНЗИМИДАЗОЛА НА ОСНОВЕ ДИКАРБОНОВЫХ КИСЛОТ

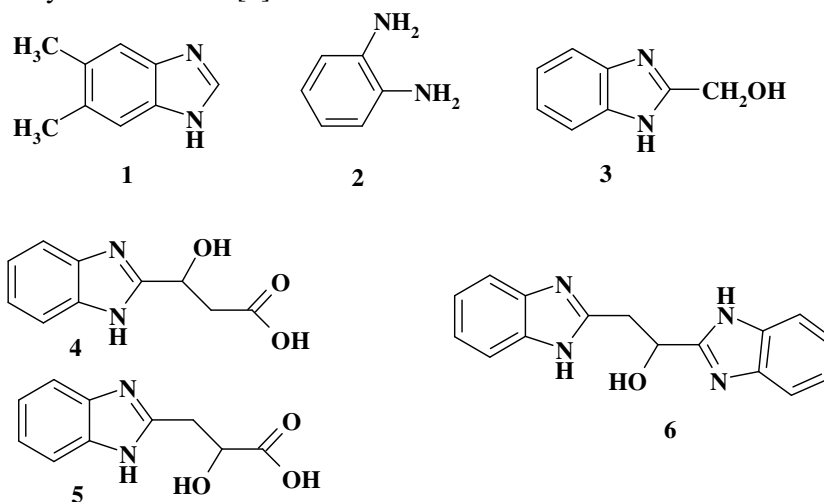
Цикалов В. В., Цикалова В. Н., Осман С. Л., Поддубов А. И.

*Институт биохимических технологий, экологии и фармации (структурное подразделение)
ФГАОУ ВО «КФУ им. В. И. Вернадского», Симферополь, Республика Крым, Россия
E-mail: ts_y_v@mail.ru*

Описан синтез ряда производных бензимидазола на основе *o*-фенилендиамина и ряда дикарбоновых кислот (янтарной, винной и яблочной) при кипячении в среде 4 н. соляной кислоты. Конденсация *o*-фенилендиамина и янтарной кислоты произведена двумя предложенными методами. Структуры полученных бензимидазолкарбоновых кислот подтверждены методом ¹H ЯМР-спектроскопии.
Ключевые слова: бензимидазол, конденсация, карбоновые кислоты.

ВВЕДЕНИЕ

Соединения, содержащие бензимидазольный цикл, характеризуются широким спектром биологической активности. К природным веществам, имеющим в своей структуре бензимидазольный фрагмент, относится витамин В₁₂, в котором фрагмент 5,6-диметилбензимидазола **1** образует координационные связи с ионами кобальта [1]. В свою очередь, карбоновые кислоты, полученные на основе бензимидазола, могут быть удобными исходными соединениями для преобразования их в новые сложные эфиры, амиды, нитрилы, гидразиды, способные также проявлять биологическую активность [2].



Основным способом получения производных 2-алкилбензимидазолов является метод Филлипса, основанный на конденсации *o*-фенилендиамин **2** с алкилкарбоновыми кислотами при кипячении в 4 н. соляной кислоте [3]. Так, по этому методу в результате конденсации *o*-фенилендиамин с гликолевой кислотой был получен 2-гидроксиметилбензимидазол **3** с выходом 81 % [4]. В научном обзоре [5] рассмотрены синтезы моно- и бисзамещенных бензимидазолилпроизводных на основе алкил- и гидроксиалкилдикарбоновых кислот. В качестве ароматического диамина были использованы как *o*-фенилендиамин **2**, так и его метокси- и хлорпроизводные. Конденсация проводилась или в среде 4 н. соляной кислоты или с применением в ряде случаев небольшого количества концентрированной серной кислоты. В среднем, подобные конденсации протекают за 10 часов. Исключение составляла конденсация 1,4-диметокси-1,2-фенилендиамин с глутаровой кислотой. В этом случае конденсация протекала в течение 20 часов. Для моноконденсации исходных веществ использовали эквимолярные количества *o*-фенилендиамин или его производного и дикарбоновой кислоты. Однако даже в этом случае наблюдался продукт диконденсации, который отделяли. При моноконденсации *o*-фенилендиамин с яблочной кислотой наблюдалось два изомерных продукта реакции **4** и **5**. А бисконденсация этих исходных веществ дала продукт **6** с выходом 75 %. Особый интерес для биологов и физиологов представляют собой бисбензимидазолилпроизводные алканов или спиртов, поскольку японские исследователи представили данные по противоопухолевому и антибактериальному эффекту для ряда подобных производных [5, 6].

Целью данной работы является синтез ряда (бензимидазол-2-ил)карбоновых кислот на основе янтарной, винной и яблочной кислот, а также сравнение выходов конденсации в зависимости от последовательности загрузки исходных компонентов.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В работе использованные реактивы: *o*-фенилендиамин, янтарная кислота, винная кислота, яблочная кислота, соляная кислота.

Спектры ¹H-ЯМР получен на приборе Varian VXR-400, (Институт живых систем Северо-Кавказского федерального университета, г. Ставрополь). Внутренний стандарт – тетраметилсилан, химические сдвиги в δ-шкале.

Синтез 3-(бензимидазол-2-ил)пропановой кислоты (**6**). Способ I.

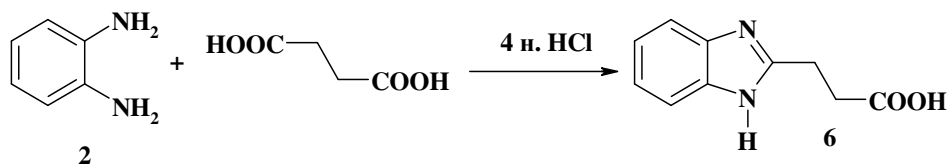


Рис. 1. Схема синтеза 3-(бензимидазол-2-ил)пропановой кислоты **6**.

Янтарную кислоту, массой 14,16 г (0,12 моль), и *o*-фенилендиамин, массой 10,8 г (0,1 моль) помещают в плоскодонную колбу. Растворяют в 70 мл 4 н. соляной кислоты. Смесь нагревают и кипятят в течение 4 часов. По окончании процесса смесь охлаждают и нейтрализуют раствором гидроксида натрия до pH=5. Образовавшийся после двухдневной выдержки осадок отфильтровывают с отсасыванием и сушат при температуре 45–50 °С. Средний выход на основе трех экспериментов производного **6**: 5,02 г (29,9 %). Т. пл. = 170–176 °С.

¹H-ЯМР (400 МГц, DMSO-d₆): 2,75 м.д. и 2,85 м.д. (4H, т, CH₂CH₂), 7,31 м.д. и 7,49 м.д. (4H, м, CH_{аром}), 12,5 м.д. (1H, с, NH_{гетер}).

Способ II.

Янтарную кислоту, массой 14,16 г (0,12 моль), помещают в плоскодонную колбу и растворяют в 30 мл 4 н. соляной кислоты. Смесь нагревают при перемешивании до кипения, после чего, используя капельную воронку, по каплям добавляют *o*-фенилендиамин массой 10,8 г (0,1 моль), предварительно растворенный в 40 мл 4 н. соляной кислоты. Раствор кипятят при перемешивании 4 часа. Смесь нейтрализуют раствором гидроксида натрия до pH=5. Образовавшийся после двухдневной выдержки осадок отфильтровывают с отсасыванием и сушат при температуре 45–50 °С. Средний выход на основе трех экспериментов производного **6**: 8,01 г (47,7 %).

Синтез 3-(бензимидазол-2-ил)-2,3-дигидроксипропановой кислоты (7).

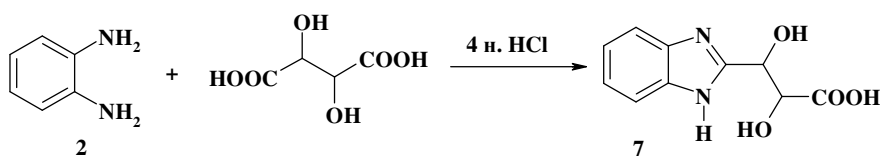
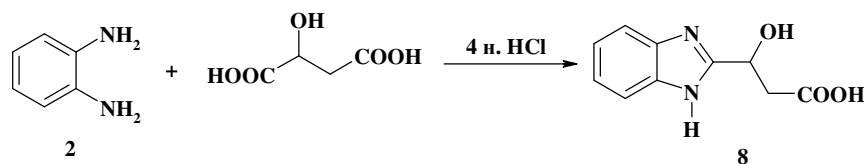


Рис. 2. Схема синтеза 3-(бензимидазол-2-ил)-2,3-дигидроксипропановой кислоты **7**.

Винную кислоту массой 18 г (0,12 моль), помещают в плоскодонную колбу и растворяют в 30 мл 4 н. соляной кислоты. Смесь нагревают при перемешивании до кипения, после чего, используя капельную воронку, по каплям добавляют 40 мл раствора 4 н. соляной кислоты, содержащего *o*-фенилендиамин массой 10,8 г (0,1 моль). Раствор кипятят при перемешивании 4 часа. Смесь нейтрализуют раствором гидроксида натрия до pH=5. Полученный осадок отфильтровывают с отсасыванием и сушат при температуре 45–50 °С. Выход **7**: 19,45 г (73 %). Т. пл. = 170–176 °С.

¹H-ЯМР (400 МГц, DMSO-d₆): 4,36 м.д. и 5,18 м.д. (2H, м, CHOH), 7,15 м.д. и 7,45 м.д. (4H, м, CH_{аром}), 12,5 м.д. (1H, с, NH_{гетер}).

Синтез 3-(бензимидазол-2-ил)-2-гидроксипропановой кислоты **8**.Рис. 2. Схема синтеза 3-(бензимидазол-2-ил)-2-гидроксипропановой кислоты **8**.

Яблочную кислоту, массой 16,1 г (0,12 моль), помещают в плоскодонную колбу и растворяют в 30 мл 4 н. соляной кислоты. Смесь нагревают при перемешивании до кипения, после чего, используя капельную воронку, по каплям добавляют *o*-фенилендиамин, массой 10,8 г (0,1 моль), растворенный в 40 мл 4 н. соляной кислоты. Раствор кипятят при перемешивании 4 часа. Смесь нейтрализуют раствором гидроксида натрия до pH=5. Полученный осадок отфильтровывают с отсасыванием и сушат при температуре 45–50 °С. Выход **8**: 16,17 г (80%), Т. пл. = 213–215°С.

¹H-ЯМР (400 МГц, DMSO-d₆): 2,75 м.д. м и 3,01 м.д. (2H, дд, CH₂), 5,25 м.д. (1H, м, CHOH), 7,30 м.д. и 7,70 м.д. (4H, м, CH_{аром}), 12,5 м.д. (1H, с, NH_{гетер}).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Для реакции взаимодействия *o*-фенилендиамина и янтарной кислоты осуществили два способа конденсации. Эти способы различались методом загрузки реагентов. В первом варианте вещества были загружены одновременно, а именно *o*-фенилендиамин с небольшим избыточным количеством янтарной кислоты растворяли в 4 н. соляной кислоте и кипятили порядка 4 часов. После нейтрализации раствора и последующего фильтрования выделяли конечную кислоту. Синтез повторяли трижды. Среднее значение выхода продукта реакции составило 30 % (табл. 1).

Таблица 1.
Средние значения масс и выходов 3-(бензимидазол-2-ил)пропановой кислоты **6** двумя подходами

№	Одновременная загрузка исходных компонентов		Дробная загрузка исходных компонентов	
	Масса, г	Выход, %	Масса, г	Выход, %
1	6,02	26,4	10,42	45,7
2	7,98	35	10,9	47,8
3	6,5	28,5	11,28	49,5
Средний выход, %		29,9	Средний выход, %	47,7

Во втором варианте в раствор янтарной кислоты в соляной кислоте в течение одного часа добавлялся раствор *o*-фенилендиамина также в соляной кислоте. Смесь кипятили при перемешивании в течение 4 часов и обрабатывали целевой продукт

как и в первом случае. Среднее значение выхода 3-(бензимидазол-2-ил)пропановой кислоты составило в этом случае 48 % и было выше на 18 %, чем в предыдущем варианте (табл. 1).

Для осуществления синтеза других производных карбоновых кислот был использован метод дробного добавления исходных веществ. Так *o*-фенилендиамин конденсировали с винной кислотой с выходом продукта реакции 73 %, а также с яблочной кислотой с выходом 80 %.

В ¹H-ЯМР спектрах соединений **6–8** идентифицированы сигналы протонов бензимидазольного фрагмента и протонов фрагмента соответствующей пропановой кислоты. В частности, в ¹H-ЯМР спектре 3-(бензимидазол-2-ил)-2-гидроксипропановой кислоты **8** наблюдаются следующие характеристические сигналы протонов бензимидазольного фрагмента, мультиплет четырех ароматических протонов с химическим сдвигом 7,30–7,70 м.д. и синглет одного протона группы NH с химическим сдвигом 12,5 м.д., а также сигналы протонов фрагмента гидроксипропановой кислоты, два дублет дублета двух протонов АВ системы метиленовой группы с химическим сдвигом 2,75 м.д. и 3,01 м.д. и триплет одного протона метиновой группы с химическим сдвигом 5,25 м.д.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Синтезированы три бензимидазол-2-илалкилкарбоновые кислоты конденсацией *o*-фенилендиамина с янтарной, винной и яблочной кислотами.

Показано, что порционная загрузка *o*-фенилендиамина в реакционную смесь, при которой обеспечивается значительный избыток дикарбоновой кислоты позволяет существенно повысить выходы целевых карбоновых кислот бензимидазольного ряда.

Список литературы

1. Химия и биохимия витамина В12 / В. М. Букин, Л. П. Арешкина, Л. С. Куцева // Успехи химии. – 1973. – Т.12, №2. – С.177–216.
2. Храмкина, М. Н. Практикум по органическому синтезу / М. Н. Храмкина. – Л.: Химия, 1977. – 329 с.
3. Phillips, M. A. The formation of 2-substituted benzimidazoles / M. A. Phillips // J. Chem. Soc. – 1928. – P. 2393–2399.
4. Практические работы по химии гетероциклов / Пожарский А. Ф., Анисимова В. А., Цупак Е. Б. – Ростов-на-Дону: Издательство Ростовского университета, 1988. – С. 80–81.
5. Preparation and Oxidation of Some Bisbenzimidazole and Benzimidazolylhydroxypropionic Acid / K. H. Taffs, L. V. Prosser, F. B. Wigton, [et al.] // J. Org. Chem. – 1961. – Vol. 26. – P. 462–467.
6. Эльдерфилд Р. Гетероциклические соединения / Р. Эльдерфилд. – М: Издательство иностранной литературы, 1961. – С. 217–225.

SYNTHESIS OF A SERIES OF BENZIMIDAZOLE DERIVATIVES FROM DICARBOXYLIC ACIDS

Tsikalov V.V., Tsikalova V.N., Osman S.L., Poddubov A.I.

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

On the model reaction of the compound of *o*-phenylenediamine and succinic acid, two condensation approaches were carried out. These methods differed in the method of loading reagents. In the first variant, the substances were placed together. *o*-Phenylenediamine with a slight excess of succinic acid was dissolved in four-normal hydrochloric acid and boiled for about 4 hours. After alkalization of the solution and subsequent filtration, the final acid was isolated. The synthesis was repeated three times. The average yield of the reaction product was 30 %. In the second variant, a solution of *o*-phenylenediamine also in hydrochloric acid was added to a solution of succinic acid in hydrochloric acid for one hour. The mixture was boiled with stirring for 4 hours and treated with the target product, as in the first case. The average yield of 3-(benzimidazol-2-yl)propanoic acid in this case was 48 %. This output was 18 % higher than in the previous version. For the implementation of the synthesis of other derivatives of carboxylic acids, the method of fractional addition of starting materials was used. So *o*-phenylenediamine was condensed with tartaric acid. The yield of the reaction product was 73 %. *o*-Phenylenediamine was condensed with malic acid in 80 % yield.

The spectra of all the obtained compounds contain the signals of the protons of the benzimidazole fragment and the protons of the fragment of the corresponding propanoic acid. For example, in the ¹H-NMR spectrum of 3-(benzimidazol-2-yl)-2-hydroxypropanoic acid, the following characteristic signals of the protons of the benzimidazole fragment are observed: a multiplet of four aromatic protons with a chemical shift of 7.30–7.70 ppm and a singlet of one proton of the NH group with a chemical shift of 12.5 ppm, as well as signals of the protons of the hydroxypropanoic acid fragment, two doublets of a doublet of two protons of the AB system of the methylene group with a chemical shift of 2.75 ppm and 3.01 ppm and a triplet of one proton of the methine group with a chemical shift of 5.25 ppm.

Keywords: benzimidazole, condensation, carboxylic acids.

References

1. Bukin V. M., Areshkina L. P., Kutseva L. S. Chemistry and biochemistry of vitamin B12, *Advances in Chemistry*, **12** (2), 177 (1973). (*in Russ.*)
2. Khrankina M. N. Workshop on organic synthesis (Leningrad: Chemistry, 1977). (*in Russ.*)
3. Phillips M. A. The formation of 2-substituted benzimidazoles, *J. Chem. Soc.*, 2393 (1928).
4. Pozharsky A. F., Anisimova V. A., Tsupak E. B. Practical work on the chemistry of heterocycles (Rostov on Don: Rostov State University, 1988). (*in Russ.*)
5. Taffs K. H., Prosser L. V., Wigton F. B., Jollie M. M. Preparation and Oxidation of Some Bisbenzimidazole and Benzimidazolylhydroxypropionic Acid, *J. Org. Chem.*, **26**, 462 (1961).
6. Elderfield R. Heterocyclic compounds, Moscow: Publishing house of foreign literature (1961). (*in Russ.*)

УДК 539.194 + 543.422

СПЕКТРОСКОПИЧЕСКОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ОБРАЗОВАНИЯ КОМПЛЕКСОВ ПЕНТАХЛОРФЕНОЛА С АКЦЕПТОРАМИ ПРОТОНА

Шейх-Заде М. И.

*ГБОУВО РК «Крымский инженерно-педагогический университет имени Февзи Якубова»,
Симферополь, Республика Крым, Россия
E-mail: tosprimea@gmail.ru*

Получены инфракрасные спектры растворов пентахлорфенола в CCl_4 в области валентных колебаний ОН-группы. Установлен интервал концентраций, в котором отсутствует самоассоциация молекул пентахлорфенола. С использованием коэффициента поглощения в максимуме полосы ν_{OH} мономерных молекул пентахлорфенола определены значения константы K образования комплексов с межмолекулярной водородной связью пентахлорфенола с акцепторами протона в интервале температур 22–72 °С. Из температурной зависимости K найдены значения ΔH и ΔS образования этих комплексов.

Ключевые слова: пентахлорфенол, акцепторы протона, водородная связь, термодинамические характеристики, инфракрасные спектры.

ВВЕДЕНИЕ

Инфракрасная (ИК) спектроскопия является одним из распространённых методов изучения водородной связи. Обусловлено это тем, что при образовании водородных связей ИК спектры претерпевают весьма заметные изменения. Используя эти изменения в ИК спектрах, можно определить или оценить энергию водородной связи. При этом в качестве меры энергии водородной связи обычно выбирают общепринятую термохимическую меру энергии водородной связи – изменение энтальпии ΔH реакции образования комплексов с водородной связью [1].

В настоящей работе в качестве объекта исследования выбран пентахлорфенол (ПХФ), протонодонорная способность которого определяется совокупностью нескольких факторов: положительным эффектом сопряжения (+M) и отрицательным индукционным эффектом (-I) атомов хлора, внутримолекулярной водородной связью (ВВС) O–H...Cl, стерическим эффектом из-за наличия в орто-положениях атомов хлора с довольно значительным Ван-дер-ваальсовским (180 пм) [2] радиусом.

Целью данной работы являлось определение термодинамических характеристик образования комплексов с межмолекулярной водородной связью (МВС) ПХФ с акцепторами протона, в качестве которых выбраны представители разных классов органических соединений: ацетонитрил, метилэтилкетон (МЭК), тетрагидрофуран (ТГФ).

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

ИК спектры растворов ПХФ и растворов ПХФ с акцепторами протона в CCl_4 регистрировались на спектрофотометре Spесord 75 IR. Условия регистрации выбирались такими, чтобы свести к минимуму искажающее влияние прибора на спектры. При регистрации спектров использовались термостатируемые кюветы с окнами из CaF_2 . Температура измерялась медь-константановой термопарой. При обработке результатов вводилась поправка на зависимость плотности раствора от температуры. Измерения проводились в интервале концентраций ПХФ 0,002–0,06 моль/л и интервале температур 22–72 °С. В этих интервалах концентраций и температур самоассоциация молекул ПХФ не наблюдается. Толщина слоя раствора выбиралась такой, чтобы свести к минимуму погрешность в определении оптической плотности в максимуме аналитической полосы.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

На рис. 1 приведены ИК спектры в области ν_{OH} растворов ПХФ и ПХФ + ацетонитрил в CCl_4 .

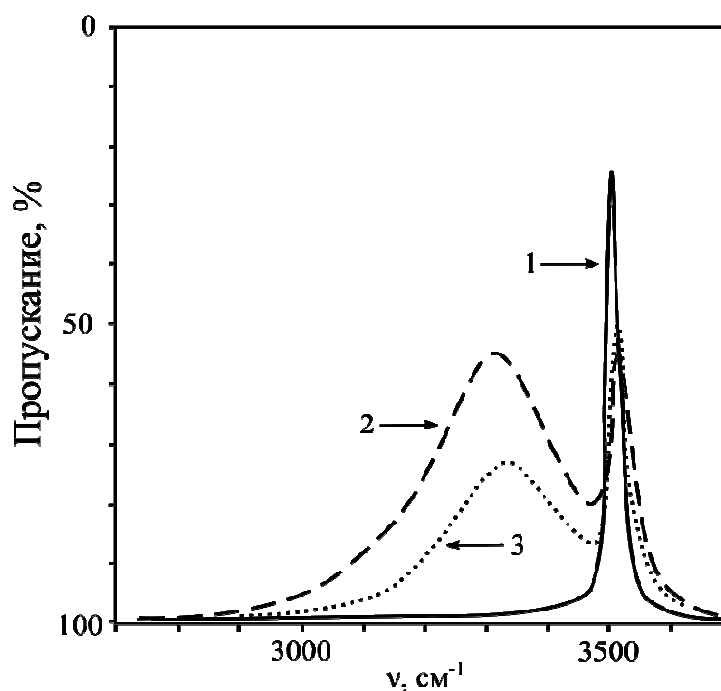


Рис. 1. ИК спектры растворов в CCl_4 : 1 – ПХФ ($2,35 \cdot 10^{-3}$ моль/л), $t=22^\circ\text{C}$, $d=1$ см. 2,3 – ПХФ ($2,35 \cdot 10^{-3}$ моль/л) + ацетонитрил (0,693 моль/л), 2 – $t=22^\circ\text{C}$, 3 – $t=72^\circ\text{C}$, $d=1$ см.

Из рис. 1 можно видеть, что в области $\nu_{\text{ОН}}$ наблюдается одиночная полоса с частотой в максимуме 3525 см^{-1} и полушириной 22 см^{-1} . Смещение этой полосы в низкочастотную область по сравнению с полосой $\nu_{\text{ОН}}$ 3610 см^{-1} [3] незамещённого фенола (раствор CCl_4) объясняется наличием в ПХФ ВВС $\text{O}-\text{H}\dots\text{Cl}$, а также +М и –I эффектами атомов хлора. На такое смещение полосы $\nu_{\text{ОН}}$ более существенное влияние оказывает ВВС, чем +М и –I эффекты атомов хлора. Этот вывод следует из рассмотрения частоты $\nu_{\text{ОН}}$ фенола и, например, 4-Cl- и 2-Cl-фенолов, для которых значения $\nu_{\text{ОН}}$ (раствор в CCl_4) равны 3607 и 3546 см^{-1} [4] соответственно. Видно, что в 2-Cl-феноле, в котором имеется ВВС, снижение частоты $\nu_{\text{ОН}}$ по сравнению с фенолом составляет 104 см^{-1} , а в 4-Cl-феноле составляет 3 см^{-1} , хотя и в том, и в другом случаях действуют +М и –I эффекты атома хлора. Конечно, влияние электронных эффектов атома хлора из *орто*- и *пара*- положений количественно различны, но это различие не столь существенно по сравнению с влиянием ВВС.

Так как полоса $\nu_{\text{ОН}}$ 3525 см^{-1} ПХФ является одиночной и расположена в области высокой прозрачности CCl_4 , то эта полоса выбрана в данной работе для аналитических целей. Обозначим эту полосу $\nu_{\text{ВОН}}$, так как она соответствует мономерным молекулам ПХФ с ВВС.

Повышение температуры раствора ПХФ в CCl_4 до 72°C не приводит к появлению в ИК спектре полосы транс-формы ПХФ. Это указывает на то, что в рабочем интервале температур ВВС в ПХФ не разрывается. При повышении температуры раствора оптическая плотность в максимуме полосы $\nu_{\text{ВОН}}$ уменьшается, а полуширина $\Delta\nu_{1/2}$ полосы остаётся неизменной. Поэтому уменьшение оптической плотности в максимуме этой полосы следует отнести за счёт температурной зависимости коэффициента поглощения ϵ в максимуме полосы $\nu_{\text{ВОН}}$.

При введении в раствор ПХФ в CCl_4 акцептора протона, в ИК спектре в области $\nu_{\text{ОН}}$ появляется новая широкая полоса, смещённая в низкочастотную область по сравнению с полосой $\nu_{\text{ВОН}}$. Это показано на рис. 1 на примере системы ПХФ + ацетонитрил. Как при разбавлении раствора, так и при повышении его температуры, интенсивность низкочастотной полосы уменьшается, а интенсивность полосы $\nu_{\text{ВОН}}$ увеличивается. Это указывает на то, что низкочастотная полоса соответствует молекулам ПХФ, участвующим в МВС. Обозначим эту полосу $\nu_{\text{МОН}}$. Температурная зависимость полос $\nu_{\text{МОН}}$ и $\nu_{\text{ВОН}}$ показывает, что для ПХФ состояния с МВС с использованными акцепторами протона энергетически выгоднее состояния с ВВС.

Таким образом, при наличии в растворе акцептора протона, имеет место равновесие



Константа равновесия K реакции (1) определялась из выражения:

$$K = \frac{C_0^a - C^a}{C^a (C_0^b - C_0^a + C^a)} \quad (2)$$

где C^a – концентрация свободных молекул ПХВ с ВВС, C_0^a , C_0^b – исходные концентрации ПХФ и акцептора протона соответственно. Как видно из (2), для определения значения K достаточно измерить значение C^a . Измерения C^a проводились с использованием ϵ полосы ν_{OH} с учётом температурной зависимости ϵ . При приготовлении растворов всегда соблюдалось условие $C_0^b > C_0^a$, которое позволяет свести к минимуму относительную ошибку определения K [5]. Найденные значения K при температуре 22°C реакции (1) ПХВ с акцепторами протона приведены в табл. 1.

Таблица 1

Значения K при 22 °С, $-\Delta H$ и $-\Delta S$ образования МВС ПХФ с акцепторами протона.

Аццептор	K , л/моль	$-\Delta H$, ккал/моль	$-\Delta S$, кал/(моль·град)
CH ₃ CN	3,5	3,3	8,7
МЭК	6,2	4,4	11,3
ТГФ	11,0	5,3	13,2

Значения ΔH и ΔS определялись из уравнения Вант-Гоффа, которое приводилось к виду:

$$K = A \cdot \exp(B \cdot x), \quad (3)$$

где: $A = \exp(\Delta S/R), B = -\Delta H/R, \quad (4)$

$x=1/T$, R – универсальная газовая постоянная. Определив значения параметров A и B , из выражений (4) можно найти значения ΔH и ΔS .

Оптимальные значения параметров A и B определялись как в [6] линеаризацией функции (3) путём разложения её в ряд Тейлора и последующего применения интерационного процесса. В качестве начального приближения были использованы значения A и B , полученные из графиков зависимости $\ln K$ от $1/T$. Полученные таким способом значения ΔH и ΔS приведены в табл. 1.

Если, как это указывалось выше, в качестве меры энергии МВС использовать значение $-\Delta H$, то из табл. 1 можно видеть, что энергия МВС ПХВ с использованными акцепторами протона увеличивается в ряду ацетонитрил <МЭК<ТГФ. Это означает, что в этом ряду возрастает протоноакцепторная способность. Дополнительное подтверждение вывода о возрастании протоноакцепторной способности в рассмотренном ряду акцепторов протона можно получить из величины низкочастотного сдвига $\Delta\nu_{\text{OH}}$ полосы ν_{OH} ПХФ при образовании комплексов с МВС. Величина $\Delta\nu_{\text{OH}}$ часто используется для оценки прочности МВС [1, 7]. Для комплексов ПХФ с ацетонитрилом, МЭК, ТГФ значения $\Delta\nu_{\text{OH}}$ составляют 200, 215, 380 см⁻¹ соответственно, что подтверждает сделанный выше вывод.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Определены термодинамические характеристики образования комплексов с межмолекулярной водородной связью пентахлорфенола с ацетонитрилом, метилэтилкетон, тетрагидрофураном.
2. Показано, что протоноакцепторная способность увеличивается в ряду ацетонитрил, метилэтилкетон, тетрагидрофуран.

Список литературы

1. Иогансен А. В. Инфракрасная спектроскопия и спектральное определение энергии водородных связей. В кн.: Водородная связь / Под ред. Н. Д. Соколова – М.: Наука, 1981. – С. 112–155.
2. Эткинс П. Физическая химия : В 2 т. / П. Эткинс. – М.: Мир, 1980. – Т. 2. – С. 268.
3. Spencer J. N. Influence of solvation on thermodynamic properties of H-bonding systems / J. N. Spencer, R. S. Harner, C. D. Penturelli // J. Phys. Chem. – 1975. – Vol. 79, № 23. – P. 2488.
4. Салимов М. А. Расчёт некоторых молекулярных констант у производных фенола / М. А. Салимов, Н. П. Курносова // Научные труды Московского лесотехнического института. – 1974. – Вып. 64. – С. 197–202.
5. Валиев Э. В. О минимизации относительной погрешности спектрофотометрического определения константы равновесия образования комплексов с водородной связью / Э. В. Валиев, М. И. Шейх-Заде // Учёные записки Таврического национального университета им. В. И. Вернадского. Сер. Биология, химия. – 2012. – т. 25(64), № 2. – С. 224–227.
6. Шейх-Заде М. И. Определение термодинамических характеристик образования комплексов фенилантралиновая кислота-тетрагидрофуран по ИК спектрам поглощения / М. И. Шейх-Заде // Учёные записки Крымского федерального университета им. В. И. Вернадского. Биология. Химия. – 2018. – Т. 4(70), № 3. – С. 242–246.
7. Луцкий А. Е. Сдвиг частоты $\Delta\nu(\text{X-H})$ как мера прочности комплексов с водородной связью / А. Е. Луцкий // Ж. структ. хим. – 1972. – Т. 13, № 3. – С. 534–536.

**SPECTROSCOPIC DETERMINATION OF THE THERMODYNAMIC
CHARACTERISTICS OF THE FORMATION OF PENTACHLOROPHENOL
COMPLEXES WITH PROTON ACCEPTORS**

Sheikh-Zade M.-I.

*Fevzi Yakubov Crimean Engineering and Pedagogical University, Simferopol, Crimea,
Russian Federation
E-mail: tospcrimea@gmail.com*

Infrared spectra of pentachlorophenol solutions in CCl_4 in the valence vibrations range of the OH-group were obtained. It is shown that the band with a frequency at a maximum of 3525 cm^{-1} refers to the valence vibration of the OH-group involved in intramolecular hydrogen bond O–H...Cl. When a solution of pentachlorophenol is heated to a temperature of 72°C , which is the upper limit of the working temperature range, the intramolecular hydrogen bond in the pentachlorophenol molecules does not break. The

concentration interval in which there is no selfassociation of pentachlorophenol molecules has been established.

In the presence of proton acceptor B in the solution, equilibrium $C_6Cl_5OH + B \leftrightarrow C_6Cl_5OH \dots B$ takes place. The equilibrium constant K of this reaction was determined using the absorption coefficient ε at the maximum of the band 3525 cm^{-1} , taking into account the temperature dependence of ε and the density of the solution.

The values of ΔH and ΔS in the formation of complexes with intermolecular hydrogen bond were determined from the Van't-Hoff equation, which was reduced the form:

$$K = A \cdot \exp(B \cdot x), \quad (1)$$

were: $A = \exp(\Delta S/R)$, $B = -\Delta H/R$, $x = 1/T$. The optimal values of the parameters A and B were determined by multiplying the function (1) into a Taylor series with the subsequent application of the iteration procedure.

It was shown that the proton acceptor capacity of the used proton acceptors increases in the series acetonitrile, methylethylketone, tetrahydrofuran.

Keywords: pentachlorophenol, proton acceptors, hydrogen bond, thermodynamic characteristics, infrared spectra.

References

1. Iogansen A. V. *Infrared spectroscopy and spectroscopic determination of hydrogen bonds energy, Hydrogen bond*, edited by Sokolov N.D., p. 112 (Nauka, Moscow, 1981). (in Russ).
2. Atkins P. *Physical chemistry*, 2 vols., **2**, p. 268 (Mir. Moscow, 1980). (in Russ).
3. Spencer J. N., Harner R. S., Penturelli C. D., Influence of solvation on thermodynamic properties of H-bonding systems, *J. Phys. Chem.*, **79**(23), 2488 (1975).
4. Salimov M. A., Kurnosova N. P., Calculation of some molecular constants in phenol derivatives, *Scientific works of the Moscow Forestry Institute*, **64**, 197 (1974). (in Russ).
5. Valiev E. V., Sheikh-Zade M. I., The minimization of the relative error of the spectrophotometric determination of the equilibrium constant of formation of complexes with a hydrogen bond, *Scientific Notes of V. I. Vernadsky Tavrida National University. Ser. Biology, Chemistry*, **25**(2), 224 (2012). (in Russ).
6. Sheikh-Zade M. I. Determination of the thermodynamic characteristics of the formation of phenylanthranilic acid-tetrahydrofuran complexes by IR absorption spectra, *Scientific Notes of V. I. Vernadsky Crimean Federal University. Biology. Chemistry*, **4**(3), 242 (2018). (in Russ).
7. Luczkij A. E. Frequency shifts $\Delta\nu(X-H)$ as a measure of the strength of hydrogen-bonded complexes, *Zhurn. Struct. Chem.*, **13**(3), 534 (1972). (in Russ).

УДК 547.918:543.42:615.074

АНАЛИЗ БИОЛОГИЧЕСКИ АКТИВНОЙ ДОБАВКИ К ПИЩЕ «СИРОП ПЛЮЩА С ВИТАМИНОМ С»

Яковшин Л. А.

*ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет», Севастополь, Россия
E-mail: chemsevntu@rambler.ru*

Проведен ТСХ-анализ биологически активной добавки к пище «Сироп плюща с витамином С». Среди сапонинов сиропа преобладает тритерпеновый гликозид хедерасапонин С, представляющий собой 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*-глюкопиранозильный эфир хедерагенина. Установлены некоторые отличия в положении полос поглощения и их интенсивности в ИК-спектрах «Сиропа плюща с витамином С» и других пищевых добавок, содержащих экстракты плюща.

Ключевые слова: биологически активная добавка к пище «Сироп плюща с витамином С», плющ обыкновенный, тритерпеновые сапонины, хедерасапонин С, α -хедерин, ТСХ, ИК-Фурье-спектроскопия.

ВВЕДЕНИЕ

Плющ обыкновенный *Hedera helix* L. (Araliaceae Juss.) традиционно используется в народной и официальной медицине для лечения кашля [1–10]. Известно, что его листья содержат более 20 тритерпеновых гликозидов [1, 2, 11–13]. Наличие тритерпеновых гликозидов объясняет фармакологический эффект лекарственных средств на основе плюща [1, 2, 7]. Также выпускаются биологически активные добавки, в составе которых присутствуют экстракты листьев плюща обыкновенного [14–19].

Биологически активная добавка к пище «Сироп плюща с витамином С» NATURE LINE содержит сорбит (носитель), глицерин (носитель), аскорбиновую кислоту (витамин С), экстракт листьев плюща обыкновенного, консервант сорбат калия, ароматизатор натуральный «Вишня» и воду очищенную [19]. Она рекомендуется в качестве дополнительного источника витамина С.

Ранее сообщалось об исследовании тритерпеновых гликозидов ряда пищевых добавок к пище на основе листьев плюща обыкновенного [14, 16, 18]. Настоящая статья посвящена выделению и ТСХ тритерпеновых сапонинов из «Сиропа плюща с витамином С», а также его ИК-Фурье-спектроскопическому анализу.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Использовали образец биологически активной добавки к пище «Сироп плюща с витамином С» NATURE LINE (производитель: ООО «Мирролла», Российская

Федерация; СГР № RU.77.99.88.003.E.001459.04.19 от 16.04.2019 г., ТУ 10.89.19-049-27389948-2019).

Выделение и ТСХ-анализ тритерпеновых гликозидов. Для получения суммы тритерпеновых сапонинов к 1 мл средства приливали 1 мл *n*-бутанола, предварительно насыщенного водой. Смесь перемешивали в течение 15 мин и оставляли для расслоения жидкостей. Экстракцию проводили при 40 °С. Верхний (водно-спиртовой) слой отделяли и далее анализировали на наличие сапонинов методом восходящей ТСХ.

Вещества в полученном экстракте сравнивали с заведомыми образцами тритерпеновых гликозидов известного строения, выделенных ранее из листьев плющей канарского *Hedera canariensis* Willd. [20], крымского *Hedera taurica* Carr. [21] и обыкновенного *Hedera helix* L. [11, 13]: 3-*O*- α -*L*-арабинопиранозидом олеаноловой кислоты, 3-*O*- α -*L*-арабинопиранозидом хедерагенина, 3-*O*-сульфатом олеаноловой кислоты, 3-*O*- α -*L*-рамнопиранозил-(1 \rightarrow 2)-*O*- α -*L*-арабинопиранозидом олеаноловой кислоты, 3-*O*- α -*L*-рамнопиранозил-(1 \rightarrow 2)-*O*- α -*L*-арабинопиранозидом хедерагенина (α -хедерином), 3-*O*-сульфат-28-*O*- α -*L*-рамнопиранозил-(1 \rightarrow 4)-*O*- β -*D*-глюкопиранозил-(1 \rightarrow 6)-*O*- β -*D*-глюкопиранозидом олеаноловой кислоты, 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*-глюкопиранозидом олеаноловой кислоты 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*-глюкопиранозидом хедерагенина (хедерасапонином С).

ТСХ проводили на аналитических пластинках «Sorbfil» марки ПТСХ-П-А с размером частиц силикагеля 5–17 мкм (тип сорбента СТХ-1А, толщина слоя 90–120 мкм) и высокоэффективных пластинках «Sorbfil» марки ПТСХ-П-В-УФ-254 с размером частиц силикагеля 8–12 мкм, тип сорбента СТХ-1ВЭ («Сорбполимер», Россия). Длина пластинок 10 см. На пластинки наносили по 0,02 мл водно-бутанольного извлечения. Сумму гликозидов и образцы гликозидов известного строения наносили на одну и ту же пластинку для ТСХ. Для элюирования использовали систему растворителей CHCl_3 – CH_3OH –25 % водный NH_3 (100:40:4 по объему). Элюировали однократно.

Детектирование тритерпеновых гликозидов на пластинках для ТСХ осуществляли 0,2 % раствором *para*-оксибензальдегида в 1 М растворе серной кислоты [22]. Хроматограммы после обработки реагентом нагревали до 100 °С при помощи нагревательного устройства для сушки пластин УСП-1М («Имид», Россия). Величины R_f хедерасапонины С составляют 0,08 и 0,09, а α -хедерина – 0,60 и 0,40 (при однократном элюировании на аналитических и высокоэффективных пластинках, соответственно). Для трех параллельных экспериментов погрешность определения R_f составляет $\pm 0,01$ –0,03.

ИК-Фурье-спектроскопия. Для съемки спектра использовали образец сиропа плюща без предварительной подготовки. ИК-спектр получен на ИК-Фурье-спектрометре ФТ-801 (СИМЕКС, Россия). Съемку спектра осуществляли в специальной жидкостной кювете с регулируемой толщиной слоя исследуемой

жидкости (СИМЕКС, Россия). Спектры получены в области $4000\text{--}550\text{ см}^{-1}$ (спектральное разрешение 4 см^{-1} ; 50 сканов). Для работы с ИК-спектрометром ФТ-801 использовали программу ZaIR 3.5 (СИМЕКС, Россия).

ИК-спектр «Сиропа плюща с витамином С» ($\nu, \text{см}^{-1}$): 3387 (ОН), 2937 (СН), 2896 (СН), 1649 (Н–О–Н, С=О, С=C), 1557 (COO⁻), 1426 (СН, COO⁻), 1370 (СН), 1263 (СН), 1137 (С–О–С, С–ОН), 1107 (С–О–С, С–ОН), 1057 (С–О–С, С–ОН), 999 (С–О–С, С–ОН), 928 (моносахаридное кольцо), 860 (СН), 829 (СН), 714 (Н–О–Н, ОН).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Хроматографический анализ. Тритерпеновые гликозиды из сиропа плюща выделяли *n*-бутанолом, насыщенным водой. Хроматографический анализ показал, что в водно-бутанольном извлечении среди сапонинов в основном преобладает хедерасапонин С (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; рис. 1). Он был идентичен по своей хроматографической подвижности и сине-фиолетовому цвету зоны после обработки пластин детектирующим реагентом заведомому образцу хедерасапонина С. Тритерпеновый сапонин α -хедерин (3-*O*- α -*L*-рамнопиранозил-(1→2)-*O*- α -*L*-арабинопиранозид хедерагенина) [1–3, 11, 12, 20, 21] содержится в незначительном количестве.

В составе других ранее исследованных биологически активных добавок к пище на основе листьев плюща так же было установлено преобладание хедерасапонина С среди прочих тритерпеновых гликозидов [14, 16, 18]. α -Хедерин был идентифицирован по ТСХ в фитокомплексе «Хедерикс+» [14] и сиропе «Плющ при кашле Эвалар» [16].

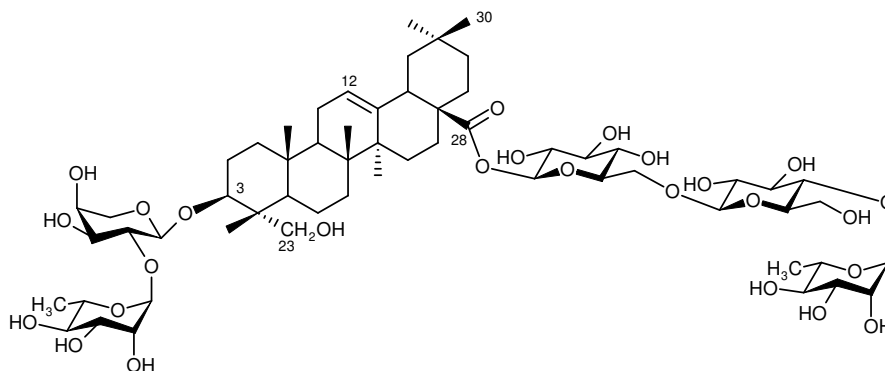


Рис. 1. Хедерасапонин С.

ИК-спектроскопический анализ. В ИК-спектре «Сиропа плюща с витамином С» (рис. 2) самой интенсивной является полоса поглощения при 3387 см^{-1} , вызванная валентными колебаниями ассоциированных связей О–Н многоатомных спиртов,

воды и прочих компонентов сиропа. Полосы поглощения валентных колебаний связей С–Н наблюдаются при 2937 и 2896 см^{-1} . Полосы поглощения деформационных колебаний СН-связей обнаружены при 1426, 1370 и 1263 см^{-1} .

Наличие полосы поглощения при 1649 см^{-1} связано с деформационными колебаниями молекул воды и валентными колебаниями связей С=О и С=C. Слабая полоса поглощения при 1557 см^{-1} и более интенсивная при 1426 см^{-1} отнесены, соответственно, к асимметричным и симметричным валентным колебаниям карбоксилат-аниона сорбата калия.

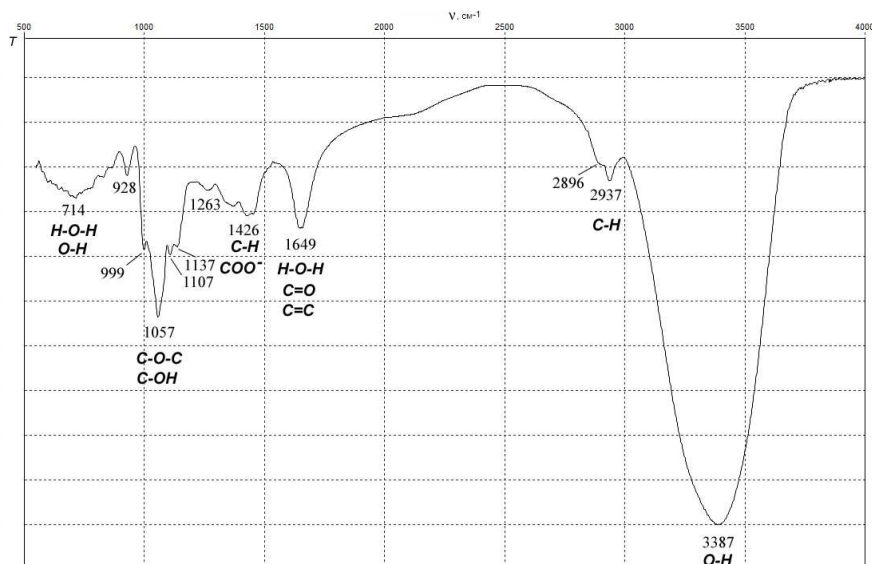


Рис. 2. ИК-Фурье-спектр «Сиропа плюща с витамином С».

Полосы поглощения валентных колебаний связей С–О в группах С–ОН и С–О–С обнаружены при 999, 1057, 1107 и 1137 см^{-1} . Среди них полоса поглощения при 1057 см^{-1} имеет наибольшую интенсивность.

Полоса поглощения колебаний моносахаридных колец гликозидов наблюдается при 928 см^{-1} . Широкая полоса поглощения при 714 см^{-1} вызвана неплоскими деформационными колебаниями ассоциированных связей О–Н органических составляющих сиропа и вращательными колебаниями воды.

Биологически активная добавка к пище «Сироп плюща» Бронхолор® имеет аналогичный качественный состав [17]. ИК-спектры «Сиропа плюща с витамином С» и «Сиропа плюща» Бронхолор® (рис. 3) похожи [18]. Однако, в спектре «Сиропа плюща с витамином С» полосы поглощения связей С–О (область 1000–1100 см^{-1}) и полоса поглощения колебаний моносахаридных колец (928 см^{-1}) имеют несколько большую интенсивность. В спектре «Сиропа плюща с витамином С» основная полоса поглощения в области 1000–1100 см^{-1} найдена при 1057 см^{-1} , а в спектре «Сиропа плюща» Бронхолор® – при 1045 см^{-1} . Кроме того, в спектре «Сиропа

плюща с витамином С» наблюдаются полосы поглощения при 999 и 1137 см^{-1} , отсутствующие в спектре «Сиропа плюща» Бронхолор®.

В отличие от ИК-спектров «Сиропа плюща с витамином С» и «Сиропа плюща» Бронхолор® [18], в спектре сиропа «Плющ при кашле Эвалар» [16] в области поглощения валентных колебаний связей С–О (в группах С–ОН и С–О–С) наиболее интенсивной является полоса при 1082 см^{-1} . Полоса поглощения при 1047 см^{-1} имеет меньшую интенсивность.

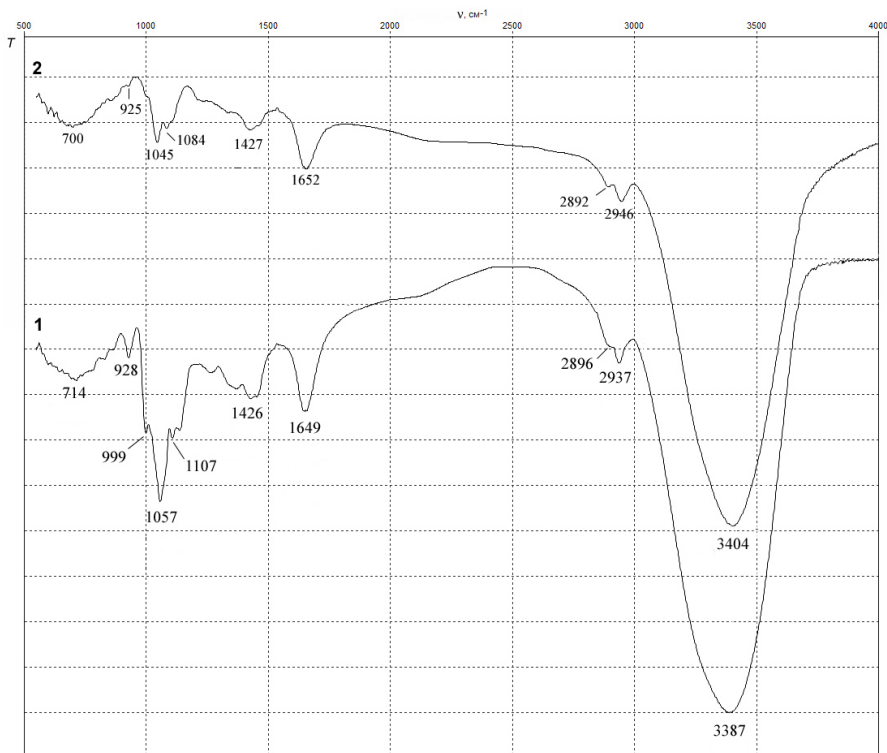


Рис. 3. Сравнение ИК-спектров «Сиропа плюща с витамином С» (спектр 1) и «Сиропа плюща» Бронхолор® (спектр 2).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Методом ТСХ идентифицированы тритерпеновые гликозиды биологически активной добавки к пище «Сироп плюща с витамином С»: хедерасопонин С (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*-глюкопиранозильный эфир хедерагенина) и α -хедерин (3-*O*- α -*L*-рамнопиранозил-(1 \rightarrow 2)-*O*- α -*L*-арабинопиранозид хедерагенина). Среди них значительно преобладает хедерасопонин С.

2. В ИК-спектре «Сиропа плюща с витамином С» отнесены основные полосы поглощения. Показано, что в ИК-спектрах «Сиропа плюща с витамином С» и других пищевых добавок с плющом имеются некоторые отличия в положении полос поглощения и их интенсивности.

Работа выполнена на оборудовании Севастопольского государственного университета.

Список литературы

1. Hostettmann K. Saponins / K. Hostettmann, A. Marston. – Cambridge: Cambridge University Press, 1995. – 548 p.
2. Зузук Б. М. Плющ вьющийся *Hedera helix* L. (аналитический обзор) / Б. М. Зузук, Р. В. Куцик, Л. И. Зузук // Провизор. – 2003. – № 12. – С. 13–14.
3. Прожерина Ю. Ключевые тренды рынка мукоактивных средств / Ю. Прожерина // Ремедиум. – 2019. – № 10. – С. 42–45.
4. Прожерина Ю. Место современных фитопрепаратов в терапии кашля / Ю. Прожерина // Ремедиум. – 2018. – № 10. – С. 17–19.
5. Розничный рынок препаратов для устранения симптомов простуды и кашля (R05) в России и странах СНГ // Ремедиум. – 2007. – № 8. – С. 62–64.
6. Boltshauser V. Wirkmechanismus von efeu entschlüsselt. Efeusaponine entfalten eine β -adrenerge Wirkung in den Atemwegen / V. Boltshauser // Phytotherapie. – 2006. – № 4. – С. 20–22.
7. α -Hederin, but not hederacoside C and hederagenin from *Hedera helix*, affects the binding behavior, dynamics, and regulation of β_2 -adrenergic receptors / A. Sieben, L. Prenner, T. Sorkalla [et al.] // Biochemistry. – 2009. – Vol. 48, № 15. – P. 3477–3482.
8. Исследование тритерпеновых гликозидов лекарственного препарата проспан® / Л. А. Яковишин, М. А. Вожжова, А. Л. Кузнецова, В. И. Гришкoveц // Журн. орг. и фарм. химии. – 2005. – Т. 3, вып. 1 (9). – С. 57–59.
9. Яковишин Л. А. Комплекс тритерпеновых гликозидов лекарственного препарата Hedelix® / Л. А. Яковишин, В. И. Гришкoveц // Химия природ. соедин. – 2003. – № 5. – С. 417–418.
10. Тритерпеновые сапонины лекарственных препаратов Бронхипрет® сироп и Гербион® сироп плюща / Л. А. Яковишин, В. Д. Ратников, П. И. Бажан, В. И. Гришкoveц // Ученые записки Крымского федерального университета им. В.И. Вернадского. Биология. Химия. – 2020. – Т. 6 (72), № 1. – С. 299–307.
11. Тритерпеновые гликозиды *Hedera helix* I. Строение гликозидов L-1, L-2a, L-2b, L-3, L-4a, L-4b, L-6a, L-6b, L-6c, L-7a и L-7b из листьев плюща обыкновенного / В. И. Гришкoveц, А. Е. Кондратенко, Н. В. Толкачева [и др.] // Химия природ. соедин. – 1994. – № 6. – С. 742–746.
12. 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.
13. Тритерпеновые гликозиды *Hedera helix* III. Строение тритерпеновых сульфатов и их гликозидов / В. И. Гришкoveц, А. Е. Кондратенко, А. С. Шашков, В. Я. Чирва // Химия природ. соедин. – 1999. – № 1. – С. 87–90.
14. Яковишин Л. А. Сапонины фитокомплекса «Хедерикс+» / Л. А. Яковишин, В. И. Гришкoveц, Е. Н. Корж // Ученые записки Крымского федерального университета им. В.И. Вернадского. Биология. Химия. – 2015. – Т. 1 (67), № 4. – С. 163–169.
15. Плющ при кашле Эвалар сироп [Электронный ресурс]. URL: <https://shop.evalar.ru/catalog/item/ivy-cough-syrup-vitamins/> (дата обращения: 30.11.2019).
16. Тритерпеновые сапонины биологически активной добавки к пище на основе плюща / Л. А. Яковишин, П. И. Бажан, В. Д. Ратников, В.И. Гришкoveц // Ученые записки Крымского федерального университета им. В. И. Вернадского. Биология. Химия. – 2019. – Т. 5 (71), № 4. – С. 296–304.

17. Инструкция по применению. Биологически активная добавка к пище «Сироп плюща» (производитель: ООО «Полярис», Российская Федерация; СГР № KZ.16.01.95.003.E.000534.07.17 от 14.07.2017 г.).
18. Яковишин Л. А. Химико-фармацевтический анализ биологически активной добавки к пище «Сироп плюща» Бронхолор / Л. А. Яковишин, В. И. Гришкова // Ученые записки Крымского федерального университета им. В. И. Вернадского. Биология. Химия. – 2022. – Т. 8 (74), № 2. – С. 293–300.
19. Информация для потребителей. Биологически активная добавка к пище «Сироп плюща с витамином С» (производитель: ООО «Мирролла», Российская Федерация; СГР № RU.77.99.88.003.E.001459.04.19 от 16.04.2019 г., ТУ 10.89.19-049-27389948-2019).
20. Тритерпеновые гликозиды *Hedera canariensis* L. Строение гликозидов L-A, L-B₁, L-B₂, L-C, L-D, L-E₁, L-G₁, L-G₂, L-G₃, L-G₄, L-H₁, L-H₂ и L-I₁ из листьев *Hedera canariensis* / В. И. Гришкова, Д. Ю. Сидоров, Л. А. Яковишин [и др.] // Химия природ. соедин. – 1996. – № 3. – С. 377–383.
21. Тритерпеновые гликозиды *Hedera taurica* L. Строение таурозида E из листьев *Hedera taurica* / А. С. Шашков, В. И. Гришкова, А. А. Лолойко [и др.] // Химия природ. соедин. – 1987. – № 3. – С. 363–366.
22. Яковишин Л. А. Детектирующие реагенты для ТСХ тритерпеновых гликозидов / Л. А. Яковишин // Химия природ. соедин. – 2003. – № 5. – С. 419–420.

ANALYSIS OF BIOLOGICALLY ACTIVE FOOD ADDITIVE “IVY SYRUP WITH VITAMIN C”

Yakovishin L. A.

Sevastopol State University, Sevastopol, Russia
E-mail: chemseventu@rambler.ru

Ivy *Hedera helix* L. (Araliaceae Juss.) is traditionally used in folk and official medicine for the treatment of cough. Ivy leaves contain more than 20 triterpene glycosides. Biologically active food additives are produced based on extracts of common ivy leaves.

The biologically active food additive “Ivy syrup with vitamin C” includes: sorbitol, glycerol, ascorbic acid (vitamin C), common ivy leaf extract, potassium sorbate (preservative), flavor natural “Cherry” and purified water. It is recommended as an additional source of vitamin C.

Triterpene glycosides were extracted from ivy syrup with water-saturated *n*-butanol. The *n*-butanol extract was analyzed by ascending TLC. The saponins were identified using authentic specimens of triterpene glycosides of known structure that we isolated from leaves of Canary ivy *Hedera canariensis* Willd., common ivy *Hedera helix* L. and Crimean ivy *Hedera taurica* Carr. It was shown by TLC that 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*-glucopyranosyl ester of hederagenin (hederasaponin C) is predominant among triterpene saponins. α -Hederin (3-*O*- α -*L*-rhamnopyranosyl-(1 \rightarrow 2)-*O*- α -*L*-arabinopyranoside of hederagenin) has also been identified in small quantities.

In the IR spectrum of ivy syrup, the most intense is the absorption band of stretching vibrations of associated O–H bonds (3387 cm^{-1}). Less intense absorption bands are caused by vibrations of the H–O–H, C=O and C=C bonds (at 1649 cm^{-1}), C–O–C and C–OH bonds (at $999, 1057, 1107$ and 1137 cm^{-1}), and also H–O–H and O–H bonds (at 714 cm^{-1}).

Some differences were found in the position of the absorption bands and their intensity in the IR spectra of “Ivy syrup with vitamin C” and other food additives containing ivy extracts.

Keywords: biologically active food additive “Ivy syrup with vitamin C”, common ivy, triterpene saponins, hederasaponin C, α -hederin, TLC, FT-IR spectroscopy.

References

1. Hostettmann K., Marston A., *Saponins*, 548 p. (Cambridge University Press, Cambridge, 1995).
2. Zuzuk B. M., Kutsik R. V., Zuzuk L. I., Ivy creeping *Hedera helix* L. (analytical review), *Provizor*, 12, 13 (2003). (in Russ.).
3. Prozherina Yu., Key trends in the mucoactive drugs market, *Remedium*, 10, 42 (2019). (In Russ.).
4. Prozherina J., The role of modern herbal remedies in the management of cough, *Remedium*, 10, 17 (2018). (in Russ.).
5. The retail market for drugs to eliminate the symptoms of colds and cough (R05) in Russia and CIS countries, *Remedium*, 8, 62 (2007). (in Russ.).
6. Boltshauser V., Wirkmechanismus von efeu entschlüsselt. Efeusaponine entfalten eine β -adrenerge Wirkung in den Atemwegen, *Phytotherapie*, 4, 20 (2006).
7. Sieben A., Prenner L., Sorkalla T., Wolf A., Jakobs D., Runkel F., Häberlein H., α -Hederin, but not hederacoside C and hederagenin from *Hedera helix*, affects the binding behavior, dynamics, and regulation of β_2 -adrenergic receptors, *Biochemistry*, **48** (15), 3477 (2009).
8. Yakovishin L. A., Vozhzhova M. A., Kuznetsova A. L., Grishkovets V. I., Study of triterpene glycosides of the drug prospan[®], *Zhurn. Org. Farm. Khim.*, **3** (1), 57 (2005). (in Russ.).
9. Yakovishin L. A., Grishkovets V. I., Triterpene glycosides of the medicinal preparation Hedelix[®], *Khim. Prirod. Soedin.*, 5, 417 (2003). (in Russ.).
10. Yakovishin L. A., Ratnikov V. D., Bazhan P. I., Grishkovets V. I., Triterpene saponins of drugs Bronchipret[®] syrup and Herbion[®] Hedera syrup, *Scientific Notes of V. I. Vernadsky Crimean Federal University. Biology. Chemistry*, **6** (1), 299 (2020). (in Russ.).
11. Grishkovets V. I., Kondratenko A. E., Tolkacheva N. V., Shashkov A. S., Chirva V. Ya., Triterpene glycosides of *Hedera helix* I. The structures of glycosides L-1, L-2a, L-2b, L-3, L-4a, L-4b, L-6a, L-6b, L-6c, L-7a, and L-7b from the leaves of common ivy, *Khim. Prirod. Soedin.*, 6, 742 (1994). (in Russ.).
12. 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).
13. Grishkovets V. I., Kondratenko A. E., Shashkov A. S., Chirva V. Ya., Triterpene glycosides of *Hedera helix* III. Structure of the triterpene sulfates and their glycosides, *Khim. Prirod. Soedin.*, 1, 87 (1999). (in Russ.).
14. Yakovishin L. A., Grishkovets V. I., Korzh E. N., Saponins of the phytocomplex Hederix+, *Scientific Notes of V.I. Vernadsky Crimean Federal University. Biology. Chemistry*, **1** (4), 163 (2015). (in Russ.).
15. *Ivy at cough Evalar syrup*, <https://shop.evalar.ru/catalog/item/ivy-cough-syrup-vitamins/> (Accessed November 30, 2019). (in Russ.).
16. Yakovishin L. A., Bazhan P. I., Ratnikov V. D., Grishkovets V. I., Triterpene saponins of biologically active food additive based on ivy, *Scientific Notes of V. I. Vernadsky Crimean Federal University. Biology. Chemistry*, **5** (4), 296 (2019). (in Russ.).
17. *Instructions for use. Biologically active food additive “Ivy syrup”*, Manufacturer: Polyaris LLC, Russian Federation, certificate of state registration № KZ.16.01.95.003.E.000534.07.17 on 14.07.2017. (in Russ.).
18. Yakovishin L. A., Grishkovets V. I., Chemical pharmaceutical analysis of biologically active food additive “Ivy syrup” Broncholor, *Scientific Notes of V. I. Vernadsky Crimean Federal University. Biology. Chemistry*, **8** (2), 293 (2022). (in Russ.).

19. *Information for consumers. Biologically active food additive "Ivy syrup with vitamin C"*, Manufacturer: Mirrolla LLC, Russian Federation, certificate of state registration № RU.77.99.88.003.E.001459.04.19 on 16.04.2019, TC 10.89.19-049-27389948-2019. (in Russ.).
20. Grishkovets V. I., Sidorov D. Yu., Yakovishin L. A., Arnautov N. N., Shashkov A. S., Chirva V. Ya., Triterpene glycosides of *Hedera canariensis* I. Structures of glycosides L-A, L-B₁, L-B₂, L-C, L-D, L-E₁, L-G₁, L-G₂, L-G₃, L-G₄, L-H₁, L-H₂, and L-I₁ from the leaves of *Hedera canariensis*, *Khim. Prirod. Soedin.*, 3, 377 (1996). (in Russ.).
21. Shashkov A. S., Grishkovets V. I., Loloyko A. A., Chirva V. Ya., Triterpene glycosides of *Hedera taurica* I. Structure of tauroside E from the leaves of *Hedera taurica*, *Khim. Prirod. Soedin.*, 3, 363 (1987). (in Russ.).
22. Yakovishin L. A., Developers for TLC of triterpene glycosides, *Khim. Prirod. Soedin.*, 5, 419 (2003). (in Russ.).

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

- Алданьязов
Аманжан Саматович** Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Оренбургский государственный медицинский университет» Министерства здравоохранения Российской Федерации, студент 3 курса лечебного факультета, e-mail: amanzhanaldanyazov@yandex.ru
- Александрова
Светлана Валерьевна** Институт биохимических технологий, экологии и фармации (структурное подразделение) ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет имени В. И. Вернадского», обучающийся кафедры физиологии человека и животных и биофизики, e-mail: motherlode2001@mail.ru
- Андреева
Анита Алексеевна** Институт проблем экологии и недропользования АН РТ, младший научный сотрудник лаборатории экологии почв, e-mail: anitalibelt@yandex.ru
- Артюх
Виталий Михайлович** ФГБОУ ВО Белгородский ГАУ, доктор сельскохозяйственных наук, профессор кафедры общей и частной зоотехники, главный Зоотехник СПХ колхоза имени В.Я. Горина
- Барило
Оксана Александровна** ФГБОУ ВО Белгородский ГАУ, аспирант 1 курса
- Башкина
Ольга Александровна** Астраханский государственный медицинский университет, доктор медицинских наук, профессор, заведующая кафедрой факультетской педиатрии, e-mail: bashkina1@mail.ru
- Бирюкова
Елена Александровна** Институт биохимических технологий, экологии и фармации (структурное подразделение) ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет имени В. И. Вернадского», кандидат биологических наук, доцент кафедры физиологии человека и животных и биофизики
- Блохин
Иван Геннадьевич** ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К. А. Тимирязева», ассистент кафедры зоологии, e-mail: blokhin.ivan96@gmail.com
- Богачева
Виктория Андреевна** Муниципальное бюджетное общеобразовательное учреждение «Холмовская средняя общеобразовательная школа» Бахчисарайского района Республики Крым, учитель биологии и химии, e-mail: bogacheva-vikulya@mail.ru
- Василевская
Александра
Алексеевна** ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева», ассистент кафедры зоологии, e-mail: AlexVas13b@yandex.ru

- Велишаева
Оксана Владимировна** Институт биохимических технологий, экологии и фармации (структурное подразделение) ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет имени В. И. Вернадского», магистр 2 курса кафедры физиологии человека и животных и биофизики
- Вербенко
Виктория Анатольевна** Институт Медицинская академия имени С. И. Георгиевского (структурное подразделение) ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет имени В. И. Вернадского», доктор медицинских наук, профессор кафедры психиатрии, наркологии, психотерапии с курсом общей и медицинской психологии, e-mail: vverbenko@mail.ru
- Горбунов
Александр Андреевич** Институт Медицинская академия имени С. И. Георгиевского (структурное подразделение) ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет имени В. И. Вернадского», обучающийся
- Гордиенко
Анна Сергеевна** Институт биохимических технологий, экологии и фармации (структурное подразделение) ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет имени В. И. Вернадского», магистр 1 курса кафедры физиологии человека и животных и биофизики
- Дендёши
Давид** Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Оренбургский государственный медицинский университет» Министерства здравоохранения Российской Федерации, студент 4 курса педиатрического факультета, e-mail: ilovesnickers7@mail.ru
- Диатроптов
Михаил Евгеньевич** Институт проблем экологии и эволюции им. А. Н. Северцова РАН, доктор биологических наук, старший научный сотрудник лаборатории сравнительной этологии и биокоммуникации, e-mail: diatrom@inbox.ru
- Диатроптова
Марина Анатольевна** НИИ морфологии человека им. акад. А. П. Авцына ФГБНУ «Российский научный центр имени академика Б. В. Петровского», научный сотрудник лаборатории иммуноморфологии воспаления
- Джелдубаева
Эльвиза Рашидовна** Институт биохимических технологий, экологии и фармации (структурное подразделение) ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет имени В. И. Вернадского», кандидат биологических наук, доцент кафедры физиологии человека и животных и биофизики

Евстигнеева Ирина Константиновна	Федеральное государственное бюджетное учреждение науки «Федеральный исследовательский центр «Институт биологии южных морей имени А. О. Ковалевского РАН», кандидат биологических наук, старший научный сотрудник отдела биотехнологий и фиторесурсов, e-mail: ikevstigneeva@gmail.com
Жондарева Яна Дмитриевна	ФГБУН ФИЦ «Институт биологии южных морей имени А. О. Ковалевского РАН», младший научный сотрудник, e-mail: yana.zhondareva@yandex.ru
Ибрагимова Мавиле Ахтямова	Институт биохимических технологий, экологии и фармации (структурное подразделение) ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет имени В. И. Вернадского», магистр кафедры физиологии человека и животных и биофизики
Иволга Роман Александрович	Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К. А. Тимирязева, ассистент кафедры зоологии, e-mail: romanivolga@gmail.com
Ильминских Николай Геннадьевич	Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение «Удмуртский государственный университет» ФГБОУ ВО «УдГУ», доктор биологических наук, профессор кафедры ботаники, зоологии и биоэкологи Института естественных наук, e-mail: clandevil@yandex.ru
Кайда Анна Ивановна	ФГАОУ ВО «Крымского федерального университета имени В. И. Вернадского», научный сотрудник кафедры общей психологии и психофизиологии, e-mail: kaydaanna@gmail.com
Калужный Евгений Александрович	Приволжский исследовательский медицинский университет, доцент кафедры нормальной физиологии, кандидат биологических наук, доцент, e-mail: eakmail@mail.ru
Кидов Артем Александрович	Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К. А. Тимирязева, кандидат биологических наук, доцент, зав. кафедрой зоологии, e-mail: kidov@rgau-msha.ru
Кобечинская Валентина Григорьевна	Институт биохимических технологий, экологии и фармации (структурное подразделение) ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет имени В. И. Вернадского», кандидат биологических наук, доцент кафедры экологии и зоологии, e-mail: valekohome@mail.ru
Колотилова Оксана Ивановна	Институт Медицинская академия имени С. И. Георгиевского (структурное подразделение) ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет имени В. И. Вернадского», кандидат биологических наук, доцент кафедры теории и методики физической культуры

Кольцова Татьяна Геннадьевна	Институт проблем экологии и недропользования АН РТ, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник лаборатории экологии почв, e-mail: t@koltcov.com
Кондратова Татьяна Эдуардовна	Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева, ассистент кафедры зоологии, e-mail: t.condratowa2016@yandex.ru
Коренюк Иван Иванович	Институт биохимических технологий, экологии и фармации (структурное подразделение) ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет имени В. И. Вернадского», доктор биологических наук, профессор кафедры физиологии человека и животных и биофизики
Коткова Татьяна Вячеславовна	Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Оренбургский государственный медицинский университет» Министерства здравоохранения Российской Федерации, кандидат биологических наук, доцент, доцент кафедры нормальной физиологии, e-mail: t.v.kotkova@orgma
Красноперова Светлана Анатольевна	Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение «Удмуртский государственный университет», ФГБОУ ВО «УдГУ», кандидат биологических наук, доцент кафедры геологии нефти и газа, e-mail: krasnoperova_sve@mail.ru
Кузнецова Валерия Владиславовна	ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К. А. Тимирязева», ассистент кафедры зоологии, e-mail: valeriu.v.k@yandex.ru
Кузьмин Александр Геннадьевич	ФГКУ "Клинический санаторий «Пограничник», доктор медицинских наук, заместитель начальника, e-mail: kualgen@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
Куличенко Александр Михайлович	Центр коллективного пользования научным оборудованием «Экспериментальная физиология и биофизика» Крымского федерального университета имени В. И. Вернадского, старший научный сотрудник, e-mail: alexander.kulichenko@gmail.com
Маловичко Любовь Васильевна	ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К. А. Тимирязева», доктор биологических наук, профессор, профессор кафедры зоологии, e-mail: l-malovichko@yandex.ru

Мартынюк Виктория Игоревна	Институт биохимических технологий, экологии и фармации (структурное подразделение) ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет имени В. И. Вернадского», магистр 1 курса кафедры физиологии человека и животных и биофизики
Мерзленко Руслан Александрович	ФГБОУ ВО Белгородский ГАУ, доктор ветеринарных наук, профессор
Миролюк Ирина Сергеевна	Институт биохимических технологий, экологии и фармации (структурное подразделение) ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет имени В. И. Вернадского», кандидат биологических наук, преподаватель кафедры физиологии человека и животных и биофизики
Михайлова Анна Андреевна	Институт биохимических технологий, экологии и фармации (структурное подразделение) ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет имени В. И. Вернадского», кандидат биологических наук, доцент кафедры физиологии человека и животных и биофизики, e-mail: anna.kulenkova@gmail.com
Михайлова Светлана Владимировна	Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет им. Н. И. Лобачевского, Арзамасский филиал, доцент кафедры физической культуры, кандидат биологических наук, доцент, e-mail: fatinia_m@mail.ru
Мурталиева Вероника Хамидуллаевна	ФГБОУ ВО Астраханский ГМУ Минздрава России, ассистент кафедры фармакогнозии, фармацевтической технологии и биотехнологии, e-mail: murtalieva90@mail.ru
Осман Сание Ленуровна	Института биохимических технологий, экологии и фармации ФГАОУ ВО «КФУ им. В.И. Вернадского, магистр
Павленко Владимир Борисович	ФГАОУ ВО «Крымского федерального университета имени В. И. Вернадского», заведующий кафедрой общей психологии и психофизиологии, e-mail: vpav55@gmail.com
Павленко Дмитрий Владимирович	Институт биохимических технологий, экологии и фармации (структурное подразделение) ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет имени В. И. Вернадского», кандидат биологических наук, аспирант кафедры физиологии человека и животных и биофизики, e-mail: pavlenkoprog@gmail.com
Поддубов Александр Игоревич	Институт биохимических технологий, экологии и фармации (структурное подразделение) ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет имени В. И. Вернадского», преподаватель кафедры общей химии

- Португальская
Арина Андреевна** ФГАОУ ВО «Крымского федерального университета имени В. И. Вернадского», аспирант кафедры общей психологии и психофизиологии, e-mail: a.portugalskaya@gmail.com
- Прасковский
Данила Денисович** Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Оренбургский государственный медицинский университет» Министерства здравоохранения Российской Федерации, студент 4 курса педиатрического факультета, e-mail: Praskovskiy18@gmail.com
- Раваева
Марина Юрьевна** Институт биохимических технологий, экологии и фармации (структурное подразделение) ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет имени В. И. Вернадского», кандидат биологических наук, доцент кафедры физиологии человека и животных и биофизики
- Рогатых
Станислав
Валентинович** ФГБОУ ВО «Камчатский государственный университет имени Витуса Беринга», кандидат биологических наук, доцент кафедры биологии и химии, e-mail: rogatykhsv@yandex.ru
- Румянцева
Зоя Сергеевна** Институт Медицинская академия имени С. И. Георгиевского (структурное подразделение) ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет имени В. И. Вернадского», кандидат медицинских наук, доцент, заведующий кафедрой акушерства и гинекологии
- 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
- Самотруева
Марина
Александровна** ФГБОУ ВО «Астраханский государственный медицинский университет» Минздрава России, доктор медицинских наук, заведующая кафедрой фармакогнозии, фармацевтической технологии и биотехнологии, e-mail: ms1506@mail.ru
- Сергалиева
Мариям Утежановна** ФГБОУ ВО Астраханский ГМУ Минздрава России, кандидат биологических наук, старший преподаватель кафедры фармакогнозии, фармацевтической технологи и биотехнологии, e-mail: charlina_astr@mail.ru
- Соколова
Александра Денисовна** Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К. А. Тимирязева, студент института зоотехнии и биологии, e-mail: drakonra@mail.ru
- Строевский
Владимир
Владимирович** Институт Медицинская академия имени С. И. Георгиевского (структурное подразделение) ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет имени В. И. Вернадского», кандидат медицинских наук, ассистент психиатрии, наркологии, психотерапии с курсом общей и медицинской психологии, e-mail: vladimir.stroevskii@mail.ru

Сунгатуллина Люция Мансуровна	Институт проблем экологии и недропользования АН РТ, старший научный сотрудник лаборатории экологии почв, e-mail: sunlyc@yandex.ru
Танковская Ирина Николаевна	Федеральное государственное бюджетное учреждение науки «Федеральный исследовательский центр «Институт биологии южных морей имени А. О. Ковалевского РАН», младший научный сотрудник отдела биотехнологий и фиторесурсов, e-mail: itankovskaya@gmail.com
Тренкеншу Рудольф Павлович	ФГБУН ФИЦ «Институт биологии южных морей имени А. О. Ковалевского РАН», кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник, e-mail: r.trenkenshu@rambler.ru
Трибрат Наталья Сергеевна	Институт Медицинская академия имени С. И. Георгиевского (структурное подразделение) ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет имени В. И. Вернадского», кандидат биологических наук, доцент, заведующий кафедрой нормальной физиологии
Фахридинова Зарема Искандеровна	Институт биохимических технологий, экологии и фармации (структурное подразделение) ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет имени В. И. Вернадского», магистр 1 курса кафедры физиологии человека и животных и биофизики
Хрычева Татьяна Викторовна	Арзамасская городская больница №1, врач-терапевт, заведующая Центром здоровья, e-mail: medinfo@mts-nn.ru
Хусанов Денис Рашидович	Институт биохимических технологий, экологии и фармации (структурное подразделение) ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет имени В. И. Вернадского», кандидат биологических наук, доцент кафедры физиологии человека и животных и биофизики
Цибизова Александра Александровна	ФГБОУ ВО Астраханский ГМУ Минздрава России, кандидат фармацевтических наук, доцент кафедры фармакогнозии, фармацевтической технологии и биотехнологии, e-mail: sasha3633@yandex.ru
Цикалов Виктор Валентинович	Институт биохимических технологий, экологии и фармации (структурное подразделение) ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет имени В. И. Вернадского», кандидат химических наук, доцент кафедры общей химии
Цикалова Виктория Николаевна	Институт биохимических технологий, экологии и фармации (структурное подразделение) ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет имени В. И. Вернадского», кандидат химических наук, доцент кафедры общей химии

- Черетаев
Игорь Владимирович** Институт биохимических технологий, экологии и фармации (структурное подразделение) ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет имени В. И. Вернадского», кандидат биологических наук, доцент кафедры физиологии человека и животных и биофизики
- Чуян
Елена Николаевна** Институт биохимических технологий, экологии и фармации (структурное подразделение) ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет имени В. И. Вернадского», доктор биологических наук, профессор, заведующий кафедрой физиологии человека и животных и биофизики, e-mail: elena-chuyan@ Rambler.ru
- Шагидуллин
Рифгат Роальдович** Институт проблем экологии и недропользования АН РТ, член-корреспондент АН РТ, доктор химических наук, директор, e-mail: shagidullin@mail.ru
- Шейх-Заде
Мамет-Исмет** ГБОУВО РК «Крымский инженерно-педагогический университет имени Февзи Якубова», кандидат физико-математических наук, доцент, доцент кафедры электромеханики и сварки
- Щелина
Тамара Тимофеевна** Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет им. Н. И. Лобачевского, Арзамасский филиал, доктор педагогических наук, профессор, директор, e-mail: arz65@mail.ru
- Яковишин
Леонид Александрович** ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет», доктор химических наук, профессор кафедры «Химия и химические технологии»

СОДЕРЖАНИЕ

БИОЛОГИЧЕСКИЕ НАУКИ

- Барило О. А., Мерзленко Р. А., Артюх В. М.**
ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ДБА «ЭНЕРВИТ» НА НЕКОТОРЫЕ МОРФО-
БИОХИМИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ КРОВИ И СОСТАВ МИКРОФЛОРЫ
КИШЕЧНИКА ТЕЛЯТ 3
- Блохин И. Г., Маловичко Л. В., Василевская А. А., Кузнецова В. В.**
ПРЫТКАЯ ЯЩЕРИЦА *LACERTA AGILIS* LINNAEUS, 1758 В РАЦИОНЕ ПТИЦ
СТАВРОПОЛЬСКОГО КРАЯ 14
- Диатроптов М. Е., Диатроптова М. А.**
СВЯЗЬ УЛЬТРАДИАННЫХ РИТМОВ ТЕМПЕРАТУРЫ ТЕЛА ЛАБОРАТОРНЫХ
МЫШЕЙ С ФЛУКТУАЦИЯМИ РАДИОАКТИВНОГО РАСПАДА ПРИРОДНОГО
ИЗОТОПА КАЛИЯ-40 22
- Евстигнеева И. К., Танковская И. Н.**
ФЛОРИСТИЧЕСКИЙ СОСТАВ И ТАКСОНОМИЧЕСКАЯ СТРУКТУРА
МАКРОФИТОБЕНТОСА ГИДРОЛОГИЧЕСКОГО ПАМЯТНИКА ПРИРОДЫ
«ПРИБРЕЖНЫЙ АКВАЛЬНЫЙ КОМПЛЕКС У МЫСА САРЫЧ» (ЧЕРНОЕ МОРЕ)
В СОВРЕМЕННЫХ УСЛОВИЯХ 32
- Жондарева Я. Д., Тренкеншу Р. П.**
ХАРАКТЕРИСТИКИ ГЕТЕРОТРОФНОГО РОСТА *PHAEODACTYLUM*
TRICORNUTUM ВОHLIN В НАКОПИТЕЛЬНОЙ КУЛЬТУРЕ 57
- Кидов А. А., Иволга Р. А., Кондратова Т. Э., Соколова А. Д.**
ВЛИЯНИЕ НАЧАЛЬНОЙ ПЛОТНОСТИ НА ЛИЧИНОЧНОЕ РАЗВИТИЕ ЗЕЛеной
ЖАБЫ (*BUFO TATES VIRIDIS*, AMPHIBIA, ANURA, BUFONIDAE) В ЛАБОРАТОРНЫХ
УСЛОВИЯХ 68
- Кобечинская В. Г., Богачева В. А.**
ЭКОБИОМОРФЫ КАК ИНДИКАТОРЫ ПРОЦЕССОВ СИНГЕНЕЗА НА
АНТРОПОГЕННО ПРЕОБРАЗОВАННЫХ ТЕРРИТОРИЯХ В ПРЕДГОРНОМ
КРЫМУ 77
- Колотилова О. И., Бирюкова Е. А., Строевский В. В., Коренюк И. И.,
Кузьмин А. Г., Вербенко В. А.**
ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕТОДОВ КОРРЕКЦИИ КОГНИТИВНОГО ДЕФИЦИТА,
ОБУСЛОВЛЕННОГО СИНДРОМОМ LONG COVID-19 97
- Коткова Т. В., Алданьязов А. С., Дёндёши Д., Прасковский Д. Д.**
ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ КОММУНИКАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ НЕЙРОЧАТ
НА КОГНИТИВНЫЕ ПРОЦЕССЫ СТУДЕНТОВ МЕДИЦИНСКОГО ВУЗА 107
- Красноперова С. А., Ильминских Н. Г.**
ЭКОЛОГО-ФЛОРИСТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ПАРЦИАЛЬНОЙ ФЛОРЫ ПОЛИГОНА
ТБО Г. ГЛАЗОВА УДМУРТСКОЙ РЕСПУБЛИКИ 115

Кулагина В. И., Сунгатуллина Л. М., Кольцова Т. Г., Шагидуллин Р. Р., Рязанов С. С., Андреева А. А.	
ИЗМЕНЕНИЯ МИКРОБИОЛОГИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ПОЧВ ПРИ ВНЕСЕНИИ ИЛОВ СТОЧНЫХ ВОД	123
Куличенко А. М., Кайда А. И., Португальская А. А., Михайлова А. А., Павленко В. Б.	
ИЗМЕНЕНИЯ МЕЖПОЛУШАРНЫХ КОГЕРЕНТНЫХ СВЯЗЕЙ РИТМОВ ЭЭГ ПРИ РЕАЛИЗАЦИИ ПОМОГАЮЩЕГО ПОВЕДЕНИЯ У ДЕТЕЙ ДОШКОЛЬНОГО ВОЗРАСТА.....	135
Мурталиева В. Х., Сергалиева М. У., Цибизова А. А., Башкина О. А., Самотруева М. А.	
ВЛИЯНИЕ ЭКСТРАКТА <i>ASTRAGALUS PHYSODESL.</i> НА ИНТЕНСИВНОСТЬ ОКИСЛИТЕЛЬНО-ВОССТАНОВИТЕЛЬНЫХ ПРОЦЕССОВ В ГИПОТАЛАМИЧЕСКОЙ ОБЛАСТИ БЕЛЫХ КРЫС НА МОДЕЛИ «СОЦИАЛЬНОГО» СТРЕССА.....	148
Павленко Д. В., Чуян Е. Н., Михайлова А. А., Александрова С. В., Павленко В. Б.	
ПОКАЗАТЕЛИ ДВИЖЕНИЙ ГЛАЗ ПРИ ВОСПРИЯТИИ НЕЙТРАЛЬНЫХ И УЛЫБАЮЩИХСЯ ЛИЦ.....	158
Сергалиева М. У., Цибизова А. А., Башкина О. А., Самотруева М. А.	
АНТИСТРЕССОРНОЕ И АДАПТОГЕННОЕ ДЕЙСТВИЕ ЭКСТРАКТА ТРАВЫ <i>ASTRAGALUS VULPINUS</i>	167
Трибрат Н. С., Румянцева З. С., Горбунов А. А. Ибрагимова М. А., Джелдубаева Э. Р., Хусаинов Д. Р.	
ОЦЕНКА ПРОТИВОВОСПАЛИТЕЛЬНОЙ АКТИВНОСТИ РЕСВЕРАТРОЛА В МОДЕЛИ ФЕТРОВОЙ ГРАНУЛЕМЫ.....	177
Чуян Е. Н., Миронюк И. С., Раваева М. Ю., Фахридинова З. И., Мартынюк В. И., Гордиенко А. С., Черетаев И. В.	
ВАЗОТРОПНЫЕ ЭФФЕКТЫ КООРДИНАЦИОННЫХ СОЕДИНЕНИЙ АЦЕТИЛСАЛИЦИЛОВОЙ КИСЛОТЫ С МЕТАЛЛАМИ ЛИТИЯ, КАЛИЯ, МАГНИЯ И КАЛЬЦИЯ	196
Щелина Т. Т., Михайлова С. В., Калюжный Е. А., Хрычева Т. В.	
ВЛИЯНИЕ УРОВНЯ ДВИГАТЕЛЬНОЙ АКТИВНОСТИ НА ПСИХОФИЗИОЛОГИЧЕСКИЙ СТАТУС СТУДЕНТОВ ЗА ПЕРИОД ОБУЧЕНИЯ В ВУЗЕ.....	211

ХИМИЧЕСКИЕ НАУКИ

Рогатых С. В.	
ВЛИЯНИЕ ПОКАЗАТЕЛЯ КИСЛОТНОСТИ СРЕДЫ НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРОЦЕССОВ БАКТЕРИАЛЬНОГО ВЫЩЕЛАЧИВАНИЯ СУЛЬФИДНЫХ РУД МЕСТОРОЖДЕНИЯ ШАНУЧ (КАМЧАТКА)	226
Цикалов В.В., Цикалова В.Н., Осман С.Л., Поддубов А.И.	
СИНТЕЗ РЯДА ПРОИЗВОДНЫХ БЕНЗИМИДАЗОЛА НА ОСНОВЕ ДИКАРБОНОВЫХ КИСЛОТ	233

Шейх-Заде М.И.	
СПЕКТРОСКОПИЧЕСКОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ОБРАЗОВАНИЯ КОМПЛЕКСОВ ПЕНТАХЛОРФЕНОЛА С АКЦЕПТОРАМИ ПРОТОНА.....	239
Яковшин Л. А.	
АНАЛИЗ БИОЛОГИЧЕСКИ АКТИВНОЙ ДОБАВКИ К ПИЩЕ «СИРОП ПЛЮЩА С ВИТАМИНОМ С»	245
СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ	254
СОДЕРЖАНИЕ	262