

УЧЕНЫЕ ЗАПИСКИ

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

Научный журнал

Том 7 (73), № 1

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

**Крымский федеральный университет имени В. И. Вернадского
Симферополь, 2021**

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 № 1 от 25 января 2021 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 03.02.00 – общая биология, 03.03.00 – физиология,
02.00.00 – химические науки, 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 – Ярмлюк 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. Коренюк 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.

Подписано в печать 28.01.2021. Формат 70x100 1/16.

Заказ № НП/126. Тираж 50. Индекс, цена.

Дата выхода в свет «__» _____ 2021 г.

Отпечатано в управлении редакционно-издательской деятельности

ФГАОУ ВО «КФУ имени В. И. Вернадского»

Адрес редакции, 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 7 (73). 2021. № 1. С. 3–13.

УДК 581.19+634.7

DOI 10.37279/2413-1725-2021-7-1-3-13

ИЗМЕНЕНИЕ БИОХИМИЧЕСКИХ КОМПОНЕНТОВ В ПЛОДАХ КИВИ В СВЯЗИ С ПЕРИОДОМ ИХ СБОРА

Айба Л. Я.¹, Абиьфазова Ю. С.², Белоус О. Г.²

¹*Институт сельского хозяйства Академии наук Абхазии, Сухум, Абхазия*

²*Федеральное государственное бюджетное учреждение науки «Федеральный исследовательский центр «Субтропический научный центр Российской академии наук», Сочи, Россия*

E-mail: oksana191962@mail.ru

Рассмотрены изменения биохимического состава плодов киви. Показано, что больше других накапливается ценных биохимических компонентов (растворимых сухих веществ, сахаров и органических кислот) в плодах сорта Pobeditel. Варьирование (V, %) этих признаков зависит от сорта и срока сбора. Ко второму сроку сбора (январь) во всех плодах наблюдалось снижение содержания аскорбиновой кислоты, у сортов Apsny, Otchara и Gulripshskyj до 40–47 % от ноябрьского количества, у сорта Pobeditel к январю количество витамина С составило 23 % от исходного. Плоды, снятые в более поздние сроки (январь), содержат более высокое количество сухих веществ, что свидетельствует о продолжающихся ассимиляционных процессах в плодах вплоть до января. В плодах, снятых в январе, продолжают идти синтетические процессы дозревания, в результате которых идет активное расходование органических кислот, и сахарокислотный индекс сдвигается в сторону усиления сладости плодов киви. По содержанию аскорбиновой кислоты ноябрьское снятие плодов является более предпочтительным, т. к. плоды содержат больше аскорбиновой кислоты, следовательно, имеют большую питательную ценность.

Ключевые слова: киви, срок отбора, аскорбиновая кислота, сахарокислотный индекс, органические кислоты, сахара.

ВВЕДЕНИЕ

Актинидия сладкая, или киви (*Actinidia deliciosa* (A. Chev.) C. F. Liang & A. R. Ferguson) относится к семейству Актинидиевые (*Actinidiaceae*). Родина культуры – Юго-Восточная Азия [1]. Исторической родиной киви является южный Китай: лесные массивы в долине рек Янцзы и Кианг (отсюда китайское название растения янг-тао). В Европе растение становится известным в середине XVIII века. А в 1937 году в Новой Зеландии сортом Бруно закладывается 1 га первой промышленной плантации. С этого периода Новая Зеландия стала для актинидии второй родиной.

Сегодня киви выращивают практически все страны пояса, охватывающего широты между 10 и 45 градусами северного и южного полушария [2, 3]: Япония, Корея, Китай, Израиль, Турция, Египет, Кения, ЮАР, Италия, Франция, Испания, Греция, США (Калифорния), Канада, Чили, Бразилия, Аргентина, а также Австралия и Новая Зеландия (рис. 1).

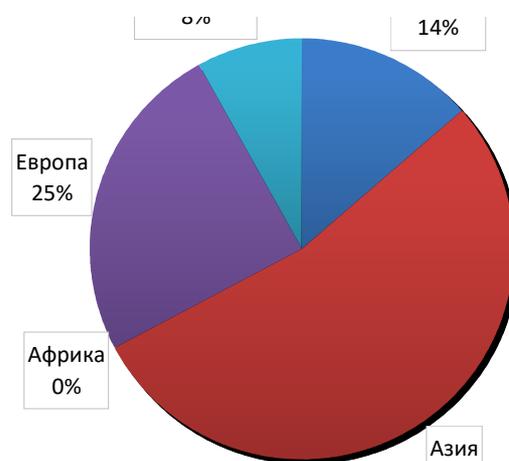


Рис. 1. Доля мирового производства киви по данным FAOSTAT (информация на январь 2021 г.) [3]

Объемы мирового производства плодов достигают 4 274 870 тонн киви в год [3]. Пятерка мировых стран-производителей стабильна на протяжении многих лет: Китай (2 390 287 тонн в год), Италия (523 595 тонн в год), Новая Зеландия, Чили, Иран. Далее идут Греция, Франция, Япония, США, Турция (рис. 2).

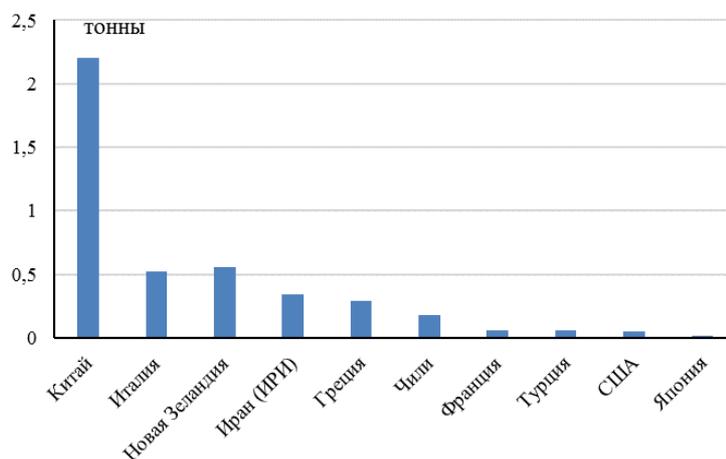


Рис. 2. Производство плодов киви по основным странам-производителям, по данным FAOSTAT (информация на январь 2021 г.) [3]

В Республике Абхазия культура киви появилась в 1990 г., когда Л. Я. Айба интродуцировал сюда 4 мужских (Матуа, Тамури, Клон Альфа и Ми) и 5 женских (Hayward, Abbot, Monty, Bruno и Alisson) сортов [1, 2]. Сейчас на базе НИИСХ АНА имеется коллекция актинидии сладкой, активно ведутся исследования по интродукции и селекции киви, изучаются формы шпалер, схемы посадки, формировка кроны, оптимальные сроки уборки урожая и т. д. С 2003 г. проводятся исследования по получению сортов актинидии сладкой, отличающихся меньшей опушенностью плодов или полным её отсутствием [4], что позволило уже к 2016 году отобрать 4 женских и 1 мужской голоплодный сорт киви (Apsny, Pobeditel, Otchara и Gulripshskij). Немаловажным вопросом является биохимические исследования, позволяющие не только определить сортовые особенности сортов, но и отработать сроки их съема, условия хранения и направление переработки.

Как правило, плоды киви, являющиеся кладовыми антиоксидантов и биологически активных веществ, используются в пищу как в свежем, так и в переработанном виде. Свежие плоды употребляют в виде сэзков, в качестве составной части фруктовых салатов и гарниров [5–8]. Киви перерабатывают на компоты, джемы, конфитюры, мармелады, желе, а также соки, нектары и другие напитки. Из них делают плодовые вина и ликеры [9, 10]. Пюре и замороженные продукты из киви используются пищевой промышленностью при производстве мороженого, йогуртов и разнообразных кондитерских изделий [11, 12].

Плоды киви имеют преимущества перед плодами таких субтропических культур, как персик, хурма, инжир, так как позволяют проводить их сбор поздней осенью [13]. Сбор плодов киви происходит на стадии физиологической зрелости. В этот момент они еще достаточно твердые, поэтому определение времени сбора плодов очень важно для обеспечения качества плодов и длительности их хранения. Плоды, собранные преждевременно, не набирают необходимой суммы растворимых сахаров, в процессе хранения сморщиваются и не приобретают должного вкуса и аромата [14–17]. Установлено, что одним из критериев пригодности к сбору киви является массовая доля растворимых сухих веществ (значение градуса Брикса), анализируемое при помощи рефрактометра [11]. Принято, что минимальное значение градуса Брикса, определяющее начало сбора урожая, должно быть не ниже 6,2 градусов. Более высокой транспортабельностью и лежкоспособностью обладают плоды при 7–9 градусах Брикса. Плоды снятые позднее дольше сохраняются плотными, и в спелом состоянии характеризуются более высокой массовой долей сухих веществ [16, 17].

Учитывая вышеизложенное, нами поставлена задача, определить изменение биохимических компонентов в плодах киви в связи с периодом их сбора.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Объектами исследований являются перспективные голоплодные сорта киви, выращиваемые на коллекционной плантации НИИСХ АНА в Гулрыпшском районе Республики Абхазия: Pobeditel, Otchara, Apsny, Gulripshskij. Плоды отобраны в два срока – в период физиологической зрелости (вторая декада ноября) и в период потребительской зрелости (первая декада января).

Биохимические анализы плодов проведены в лаборатории физиологии и биохимии растений ФИЦ ШЦ РАН (г. Сочи, Россия) с применением рутинных методов (Методы..., 1972): определение сахаров – методом Бертрана в модификации Вознесенского; общую кислотность – титрованием с (NaOH) = 0,1 моль/дм³ в присутствии – индикатора фенолфталеина; содержание аскорбиновой кислоты – йодометрическим методом с 2 % HCl и титрованием – 0,001 N раствором КЮЗ; содержание сухих веществ – методом высушивания пробы при 105 °С до постоянного веса. Повторность лабораторных анализов – 3-кратная.

Статистический анализ: все химические анализы проводились в трехкратных повторениях. Статистическую обработку экспериментальных данных проводили с использованием пакета ANOVA в STATGRAPHICS Centurion XV (версия 15.1.02, StatPoint Technologies) и MS Excel 2007. Статистический анализ включал одномерный дисперсионный анализ (метод сравнения средних с использованием дисперсионного анализа, t-критерий). Статистически значимой считается значимость различия между средними значениями при $p < 0,05$. Различия между повторениями оценивали с помощью непарного t-критерия. Результаты исследования выражаются в виде среднего арифметического со стандартным отклонением.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Плоды новых голоплодных сортов киви характеризовались более выраженным тёмным окрасом кожуры (в сравнении с классическими сортами), мелкоплодностью (размер не более 6,0 см), многосемянностью, отсутствием опушенности. Мякоть плодов зеленовато-желтая с насыщенно-сладким вкусом и нежной консистенцией, отличающимися от опушенных сортов киви.

Среди исследуемых сортов *Pobeditel* отличался светло-зелёной и сладкой на вкус мякотью, с большим количеством семян. Сорт *Otchara* характеризовался чуть заметным опушением плода и очень тонкой кожицей. Мякоть плодов светло-зелёная, более рыхлая, с множеством семян. У сорта *Apsny* плоды более крупные, с большим количеством семян. Мякоть светло-зелёная с коричневатым оттенком в сравнении с сортом *Gulripshskyj*, у которого мякоть более светлая, также со множеством семян.

Как известно, созревание плодов сопровождается изменениями в количестве сахаров, органических кислот, в том числе, аскорбиновой кислоты, содержании растворимых сухих веществ и т. д. Содержание растворимых сухих веществ в плодах отвечает за их пищевую ценность, вкусовые качества, а также увеличивает сроки хранения плодов, т. е. технологические достоинства [18, 19]. Нами определено, что наибольшее количество растворимых сухих веществ (рис. 3) накапливают плоды сорта *Pobeditel* (18,05 %), в то время как существенно более низкое количество растворимых сухих веществ РСВ содержится в плодах сорта *Gulripshskyj* (16,63 %).

ИЗМЕНЕНИЕ БИОХИМИЧЕСКИХ КОМПОНЕНТОВ В ПЛОДАХ КИВИ ...

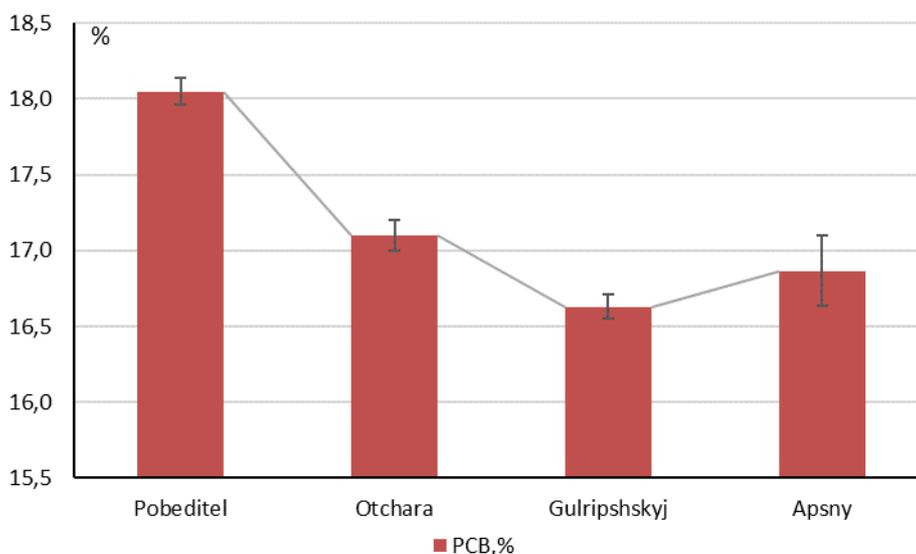


Рис. 3. Содержание в плодах киви растворимых сухих веществ (LSD ($P \leq 0.05$) = 1,15).

При этом, плоды, снятые в более поздние сроки (январь), содержат и более высокое количество сухих веществ (СВ), что свидетельствует о продолжающихся ассимиляционных процессах в плодах вплоть до января (табл. 1).

Однако, общее содержание сахаров в плодах в зависимости от срока их сбора было различным и определялось сортовыми особенностями растений: у сортов *Pobeditel* и *Apsny* количество сахаров возрастало, что свидетельствует о активных синтетических процессах у этих растений вплоть до января (табл. 1). В то время, как у сортов *Otchara* и *Gulripshskij*, по всей видимости, созревание плодов происходит в более ранние сроки (ноябрь) и далее идут процессы расходования сахаров с уменьшением их количества в плодах. В данном случае сахар выступает в роли источника энергии и длительное по времени увеличение его количества в плодах сортов *Pobeditel* и *Apsny* свидетельствует о позднем созревании сорта, а снижение количества в сортах *Otchara* и *Gulripshskij* к январю подтверждает их раннеспелость. Такое четкое различие в накоплении сахаров плодами киви дает возможность использовать данный показатель в качестве диагностического параметра зрелости плодов киви разных сортов.

Титруемые органические кислоты представляют собой разнообразную по своим свойствам группу биологически активных соединений, которая составляет несомненную пищевую ценность плодовых культур и играет важную роль в обмене веществ растений [20, 21]. Наши исследования показали, что достоверно большее количество свободных (титруемых) органических кислот содержится в плодах сорта *Pobeditel*. В связи с тем, что органические кислоты являются в основном продуктами превращения сахаров, характерным признаком созревания плодов является уменьшение содержания органических кислот, что в свою очередь,

приводит к увеличению сахарокислотного индекса. Нами показано незначительное снижение содержания титруемых органических кислот в плодах киви (табл. 1).

Также происходили изменения показателя сахарокислотного индекса, соответствовавшие направленности и степени изменений содержания в них растворимых сахаров и титруемых кислот [22, 23]. Анализ полученных данных свидетельствует о том, что в плодах снятых позднее (январь) продолжают синтетические процессы дозревания, в результате которых идет более активное расходование органических кислот, и СКИ сдвигается в сторону усиления сладости плодов киви (табл. 1). В частности, у сорта *Pobeditel* наблюдалось достоверное увеличение сахарокислотного индекса плодов ($LSD (P \leq 0.05) = 1.8$). Исключением является сорт *Otchara*, в котором наблюдается несколько иная направленность биохимических процессов (табл. 1). При более позднем снятии плодов данного сорта (январь) в них происходит достоверное уменьшение суммы сахаров и некоторое увеличение титруемых органических кислот, что привело к существенному снижению сахарокислотного индекса. Данное обстоятельство объясняет более кислый по сравнению с остальными сортами вкус плодов у киви сорта *Otchara*. Интересная картина складывается по сорту *Gulripshskij*, в плодах которого к январю наблюдается уменьшение суммы сахаров (как и у сорта *Otchara*), но при этом, идет снижение и титруемых кислот (как и в плодах остальных сортов – *Pobeditel* и *Apsny*), что приводит к несколько более низкому значению СКИ. В итоге, плоды данного сорта обладают гармоничным сочетанием сахаров и кислот (приятным кисловато-сладким вкусом).

Таблица 1
Биохимическая характеристика плодов киви в зависимости от срока их сбора

Сорта	Сухие вещества, %		Общий сахар, %		Титруемая кислотность, %		СКИ*, у.е		Аскорбиновая кислота, мг. 100 г-1	
	ноябрь	январь	ноябрь	январь	ноябрь	январь	ноябрь	январь	ноябрь	январь
<i>Pobeditel</i>	25.8±0.2	28.4±0.3	15.1±0.1	16.4±0.2	0.96±0.01	0.89±0.01	15.7±0.2	18.1±0.1	33.1±0.1	7.6±0.2
<i>LSD (по срокам)</i>	2.2		1.9		0.2		1.8		2.5	
<i>Otchara</i>	25.0±0.3	26.5±0.2	16.9±0.1	14.2±0.1	0.77±0.01	0.82±0.02	21.9±0.1	17.5±0.3	24.1±0.1	9.7±0.7
<i>LSD (по срокам)</i>	2.3		1.5		0.9		2.8		2.3	
<i>Gulripshskij</i>	22.5±0.1	25.8±0.2	13.3±0.1	11.9±0.8	0.84±0.01	0.81±0.01	15.8±0.2	14.9±0.9	32.6±0.2	14.9±0.2
<i>LSD (по срокам)</i>	2.3		1.2		0.1		2.4		3.0	
<i>Apsny</i>	21.3±0.2	24.8±0.2	11.4±0.1	13.9±0.3	0.89±0.02	0.78±0.01	12.8±0.2	17.8±0.4	27.2±0.2	12.9±0.3
<i>LSD (по срокам)</i>	1.5		1.8		0.1		2.2		3.8	
<i>LSD (P≤0.05) по сортам</i>	1.2	2.0	2.1	1.3	0.15	0.13	2.2	1.5	2.1	1.9

Примечание: *СКИ – сахарокислотный индекс

Наши исследования показали, что содержание аскорбиновой кислоты (витамина С) зависит не только от сорта, но и от времени сбора плодов. Так, определено, что ко второму сроку сбора во всех плодах наблюдалось снижение содержания аскорбиновой кислоты (АК), причем у сортов *Apsny*, *Otchara* и *Gulripshskij* оно происходило менее активно (в среднем в 2,0–2,4 раза), составив в январе 40–47 % от ноябрьского количества, в то время как у сорта *Pobeditel* к январю произошло активное снижение витамина С (в 4,4 раза) и количество АК составило 23 % от исходного (табл. 1).

Такая амплитуда в содержании АК вызывает необходимость в изучении более плотной динамики накопления аскорбиновой кислоты в процессе роста и развития, особенно в фазе созревания плодов киви, что очень важно для определения времени их сбора. В конечном итоге, именно от этого будет зависеть качество поступающих на рынок плодов. Известно, что по мере созревания плодов количество АК увеличивается, наибольшее количество отмечается в период технической зрелости и держится до биологической зрелости плодов, затем, происходит снижение содержания витамина С в связи с переходом плодов в перезревшее состояние. Анализ наших данных свидетельствует о том, что ко второму сроку сбора (январь), снижение АК связано не с перезреваемостью плодов, так как снижение наблюдается как у раннеспелых, так и позднеспелых плодов. В данном случае, на уменьшение количества аскорбиновой кислоты в плодах влияет температура окружающей среды. В январе температура днем составляет в среднем +8 °С, ночью падает до 0–+3 °С (в ноябре колеблется от +12 до +16 градусов, а ночью снижается до +6 градусов). Поскольку витамин С неустойчивый компонент и достаточно динамичный, пониженные температуры во время второго сбора плодов приводят к разрушению аскорбиновой кислоты в плодах, причем известно, что у плодов раннего срока созревания динамика снижения количества витамина С менее выражена. В этой связи, можно классифицировать сорта *Apsny*, *Otchara* и *Gulripshskij* как раннеспелые. Однако, данные исследования требуют дальнейшего изучения, в том числе и в установлении точных диагностических методов определения спелости плодов киви и их готовности к съему.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, в целом по содержанию основных биохимических компонентов сорта расположились следующим образом: больше других накапливается РСВ в плодах сорта *Pobeditel*, *Otchara*, *Apsny*, меньше других – у сорта *Gulripshskij*. Самое высокое содержание сахаров отмечено у сорта *Pobeditel*, несколько меньше – у сорта *Otchara*, меньше всего у сортов *Apsny* и *Gulripshskij*. Варьирование (V, %) этих признаков в плодах в зависимости от сорта и срока сбора составляло: от 7,4 % (РСВ) до 24,7 % (сахара).

По содержанию органических (титруемых) кислот в плодах в порядке возрастания величины сорта киви располагаются следующим образом: *Otchara* < *Gulripshskij* < *Apsny* < *Pobeditel*. Изменчивость этого признака в зависимости от сорта и срока сбора варьировала от 6,5 % (*Pobeditel*) до 18,7 % – у сорта *Otchara*.

В среднем по двум срокам сбора лидером среди сортов киви по накоплению аскорбиновой кислоты (АК) в плодах является сорт *Gulripshskyj* (среднее по срокам – 23,78 мг/100 г), несколько меньшее ее содержание отмечено у сортов *Pobeditel* (среднее по срокам – 20,33 мг/100 г) и *Apsny* (20,03 мг/100 г), самая низкая величина этого показателя в январе зафиксирована в плодах сорта *Otchara* (среднее по срокам – 16,89 мг/100 г). Данный показатель наиболее зависим от срока сбора, коэффициент вариации (V, %) в зависимости от сорта составляет 12,03 % (*Gulripshskyj*) – 42,31 % (*Pobeditel*).

По содержанию аскорбиновой кислоты ноябрьское снятие плодов является более предпочтительным, т.к. плоды содержат больше аскорбиновой кислоты, следовательно, имеют большую питательную ценность.

Список литературы

1. Айба Л. Я. Культура киви в Абхазии / Л. Я. Айба. – Сухум: изд. Алашара, 2001. – 74 с.
2. Абильфазова Ю. С. Биохимический состав новых голоплодных сортов актинидии сладкой (киви) селекции Института сельского хозяйства АН Абхазии / Ю. С. Абильфазова, Л. Я. Айба // Вестник АН Абхазии «Естественные науки». – 2018. – № 8. – С. 107–112
3. FAOSTAT: Food and Agriculture Organization Corporate Statistical Database, URL:<http://www.fao.org/statistics/ru> (дата обращения: 12.01.2021)
4. Айба Л. Я. Киви – ценная субтропическая культура / Л. Я. Айба, Т. Г. Причко, Л. А. Вайнштейн // Современные аспекты теории и практики хранения и переработки плодово-ягодной продукции: сб. науч. тр. – Краснодар: Изд-во СКЗНИИСиВ, 2005. – С. 109–113.
5. Басилия И. З. Переработка плодов китайской актинидии с сохранением питательных и лечебных свойств / И. З. Басилия, Н. О. Меланашвили // Хранение и переработка с/х сырья. – 2008. – № 8. – С. 48–49.
6. Грязев В. А. Киви и другие культуры для лечебного питания / В. А. Грязев. – Сочи: Стерх, 2005. – 364 с.
7. Santoni F. Influence of Cultivation Parameters on the Mineral Composition of Kiwi Fruit from Corsica. / Santoni F., Barboni T., Paolini Ju., Costa J. // Chemistry & Biodiversity. – 2016. – 13(6). – P. 748–754 <https://doi.org/10.1002/cbdv.201500236>.
8. Oh H.-J. Chemical Composition and Antioxidative Activity of Kiwifruit in Different Cultivars and Maturity. / Oh H.-J., Jeon S.-B., Kang H.-Y., Yang Y.-J., Kim S.-C., Lim S. // Journal of the Korean Society of Food Science and Nutrition – 2011 – 40. – P. 343–349 <https://doi.org/10.3746/jkfn.2011.40.3.343>.
9. Причко Т. Г. Киви – высокоурожайный и ценный диетический пищевой продукт / Т. Г. Причко, В. А. Грязев, Ц. В. Тутберидзе // Субтропическое и декоративное садоводство. – 2004. – № 39(2) – С. 464–467.
10. Причко Т. Г. Киви / Т. Г. Причко, В. А. Грязев, Ц. В. Тутберидзе // Пищевая промышленность. – 2003. – № 10. – С. 5.
11. Тутельян В. А. Микронутриенты в питании здорового и больного человека / В. А. Тутельян. – М.: ДеЛи-принт, 2002. – 206 с.
12. Jaeger S. R. Consumer-driven product development in the kiwifruit industry. / Jaeger S. R., Rossiter K. L., Wismer W. V., Harker F. R. // Food Qual. Pref. – 2003. – 14. – P. 187–198.
13. Беседина Т. Д. Проблемные аспекты в технологии возделывания актинидии сладкой (киви) в субтропиках России / Т. Д. Беседина, Ц. В. Тутберидзе // Субтропическое и декоративное садоводство. – 2011. – Вып. 44. – С. 143–147.
14. Клемешова К. В. Сортовая диагностика функционального состояния Актинидии сладкой. Основные абиотические стрессоры, диагностические показатели и методика диагностики / К. В. Клемешова, О. Г. Белоус. – Germany: LAP Lambert Academic Publishing, 2013. – 52 с.

15. Matsumoto S. Changes in chemical constituents of kiwifruit during postharvest ripening. / Matsumoto S., Obara T., Luh B.S. // J. Food Sci. – 1983. – 48. – P. 607–611.
16. Ben-Arie R. Changes in ripening parameters and pigments of the Chinese gooseberry (kiwi) during ripening and storage. / Ben-Arie R., Gross J., Sonogo L. // Sci. Hortic. – 1982. – 18. – P. 65–70.
17. Seung K. Lee. Preharvest and postharvest factors influencing vitamin C content of horticultural crops. / Seung K. Lee, Adel A. Kader // Postharvest Biology and Technology – 2000. – 20(3) – P. 207–220. [https://doi.org/10.1016/S0925-5214\(00\)00133-2](https://doi.org/10.1016/S0925-5214(00)00133-2).
18. Pokhrel S. Biochemical Analysis of Kiwifruit Grown in Nepal. / Pokhrel S., Raut N., Bhattarai D. // *International Journal of Horticulture*. – 2019. – 9(4). – P. 23–30. <https://doi.org/10.5376/ijh.2019.09.0004>
19. Celik A. Some physical, pomological and nutritional properties of kiwifruit cv. Hayward, Int. / Celik A., Ercisli S., Turgut N. // J. Food Sci. Nutr. – 2007. – 58. – P. 411–418. <https://doi.org/10.1080/09637480701252518>
20. Rugini E. Transformation of Actinidia Species (Kiwifruit). In: Jain S.M., Minocha S.C. (eds) *Molecular Biology of Woody Plants*. / Rugini E., Muganu M., Pesce P. G. // Forestry Sciences. – 2000. – 66. Springer, Dordrecht. https://doi.org/10.1007/978-94-017-2313-8_10
21. Marsh K. Acidity and taste in kiwifruit. Postharvest Biology and Technology. / Marsh K., Attanayake S., Walker S., Gunson A., Bolding H., Macrae E. // Postharvest biol. technol. – 2004. – 32. – P. 159–168. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2003.11.001>.
22. Rossiter K. L. The effects of sugars and acids on consumer acceptability of kiwifruit. / Rossiter K. L., Young H., Walker S. B., Miller M., Dawson D. M. // J. Sens. Stud. – 2000. – 15. – P. 241–250.
23. Szeto Y. T. Total antioxidant and ascorbic acid content of fresh fruits and vegetables: implications for dietary planning and food preservation. / Szeto Y. T., Tomlinson B., Benzie I. F. // Br. J. Nutr. – 2002. – 87. – P. 55–59.

CHANGES IN THE BIOCHEMICAL COMPONENTS IN KIWI FRUITS DUE TO THE PERIOD OF THEIR COLLECTION

Ayba L. Ya.¹, Abilfazova Yu. S.², Belous O. G.²

¹*Institute of Agriculture of Academy of Sciences of Abkhazia, Sukhum, Republic of Abkhazia*

²*Federal Research Centre the Subtropical Scientific Centre of the Russian Academy of Sciences, Sochi, Russia Federation*

E-mail: oksana191962@mail.ru

On the basis of the Institute of Agriculture of Academy of Sciences of Abkhazia (Sukhum) there is a collection of sweet Actinidia, research on the introduction and selection of kiwi is actively being conducted, the forms of trellises, planting schemes, crown formation, optimal harvest times, etc. are being studied. Since 2003, research has been conducted to obtain varieties of sweet Actinidia, characterized by less pubescence of the fruit or its complete absence. This article discusses the changes in the biochemical composition of kiwi fruits, depending on the timing of their collection.

Objects of research are promising kiwi varieties with hairless skin grown in number lecture plantation IAASA Gulripshyi district of the Abkhazia Republic: *Pobeditel*, *Otchara*, *Apsny*, *Gulripshskiy*. The fruits were selected in two terms – during the physiological maturity period (the second decade of November) and during the consumer maturity period (the first decade of January). The research was carried out in the

Laboratory of Plant Physiology and Biochemistry (Subtropical Scientific Centre, Sochi, Russia Federation) using classical methods.

The fruits of the new varieties of kiwi without pubescence skin were characterized by a more pronounced dark color of the peel (compared to the classic varieties), small-fruited (no more than 6.0 cm in size), multi-seeded and lack of pubescence. The flesh of the fruit is greenish-yellow in color with a rich sweet taste and a delicate consistency, different from the pubescent varieties of kiwi.

Among the studied varieties cv. *Pobeditel* was distinguished by a light green and sweet-tasting pulp, with a large number of seeds. The *Otchara* variety was distinguished by a slightly noticeable pubescence of the fruit and a very thin skin. The flesh of the fruit is light green, loose, with a large number of seeds. In the variety of the fruits are larger, with a large number of seeds. The flesh is light green with a brownish tinge compared to the *Gulripshskiy* variety, which has a lighter flesh, also with more seeds.

It is shown that valuable biochemical components (soluble solids, sugars and organic acids) accumulate more than others in the fruits of the *Pobeditel* variety. The variation (V, %) of these traits in fruits depends on the variety and the harvest period. By the second harvest period (January), all fruits showed a decrease in the content of ascorbic acid, in the varieties *Apsny*, *Otchara* and *Gulripshskiy* to 40–47 % of the November amount, in the *Pobeditel* variety by January, the amount of vitamin C was 23 % of the original. The content of ascorbic acid is most dependent on the harvest period, the coefficient of variation depending on the variety is 12.03 % (*Gulripshskiy*) – 42.31 % (*Pobeditel*).

Fruits taken at a later date (January) contain a higher amount of dry matter, which indicates that the assimilation processes in the fruit continue until January. In the fruits taken in January, synthetic maturation processes continue, as a result of which there is an active consumption of organic acids, and the sugar-acid index leaf towards increasing the sweetness of kiwi fruits. According to the content of ascorbic acid, November fruit removal is more preferable, since fruits contain more ascorbic acid, therefore, have a greater nutritional value.

Keywords: kiwi, selection period, ascorbic acid, sugar-acid index, organic acids, sugars.

References

1. Ayba L. Ya. *Kiwi culture in Abkhazia*, 74 p. (Sukhum: Alashara, 2001).
2. Abilfazova Yu. S., Ayba L. Ya. Biochemical composition golodnyh new varieties of sweet Actinidia (kiwi) plant breeding, *Institute of agriculture, Academy of Sciences of Abkhazia, Bulletin of the Academy of Sciences of Abkhazia "Natural Sciences"*, **8**, 107 (2018).
3. FAOSTAT: Food and Agriculture Organization Corporate Statistical Database, URL:<http://www.fao.org/statistics/ru> (date of request: 12.01.2021)
4. Ayba L. Ya., Prichko T. G., Vainshtein L. A. *Kiwi – valuable subtropical culture*, Modern aspects of the theory and practice of storage and processing of fruit and berry products: sat. nauch. tr., 109 (Krasnodar: Publishing House SKZNIISiV, 2005).
5. Basilia I. Z., Melanashvili N. O. Processing of Chinese Actinidia fruits with preservation of nutritional and medicinal properties, *Storage and processing of agricultural raw materials*, **8**, 48 (2008).
6. Gryazev V. A. *Kiwi and other cultures for medical nutrition*, 364 p. (Sochi: Sterkh, 2005).

7. Santoni F., Barboni T., Paolini Ju., Costa J. Influence of Cultivation Parameters on the Mineral Composition of Kiwi Fruit from Corsica, *Chemistry & Biodiversity*, **13(6)**, 748 (2016). <https://doi.org/10.1002/cbdv.201500236>.
8. Oh H.-J., Jeon S.-B., Kang H.-Y., Yang Y.-J., Kim S.-C., Lim S. Chemical Composition and Antioxidative Activity of Kiwifruit in Different Cultivars and Maturity, *Journal of the Korean Society of Food Science and Nutrition*, **40**, 343 (2011). <https://doi.org/10.3746/jkfn.2011.40.3.343>.
9. Prichko T. G., Gryazev V. A., Tutberidze Ts. V. Kiwi – high-yielding and valuable dietary food product, *Subtropical and decorative gardening*, **39(2)**, 464 (2004).
10. Prichko T. G., Gryazev V. A., Tutberidze Ts. V. Kiwi, *Food industry*, **10**, 5 (2003).
11. Tutelyan V. A. Micronutrients in the nutrition of a healthy and sick person, 206 p. (M.: Delhi-print, 2002).
12. Jaeger S. R., Rossiter K. L., Wismer W. V., Harker F. R. Consumer-driven product development in the kiwifruit industry, *Food Qual. Pref.*, **14**, 187 (2003).
13. Besedina T. D., Tutberidze Ts. V. Problematic aspects in the technology of cultivation of Actinidia sweet (kiwi) in the subtropics of Russia, *Subtropical and decorative gardening*, **44**, 143 (2011).
14. Klemeshova K. V., Belous O. G. *Varietal diagnostics of the functional state of sweet Actinidia. Basic abiotic stressors, diagnostic indicators and diagnostic methods*, 52 p. (Germany: LAP Lambert Academic Publishing, 2013).
15. Matsumoto S., Obara T., Luh B. S. Changes in chemical constituents of kiwifruit during postharvest ripening, *J. Food Sci.* **48**, 607 (1983).
16. Ben-Arie R., Gross J., Sonogo L., Changes in ripening parameters and pigments of the Chinese gooseberry (kiwi) during ripening and storage, *Sci. Hortic.*, **18**, 65 (1982).
17. Seung K. Lee, Adel A. Kader, Preharvest and postharvest factors influencing vitamin C content of horticultural crops, *Postharvest Biology and Technology*, **20(3)**, 207 (2000). [https://doi.org/10.1016/S0925-5214\(00\)00133-2](https://doi.org/10.1016/S0925-5214(00)00133-2).
18. Pokhrel S., Raut N., Bhattarai D. Biochemical Analysis of Kiwifruit Grown in Nepal, *International Journal of Horticulture*, **9(4)**, 23 (2019). <https://doi.org/10.5376/ijh.2019.09.0004>
19. Celik A., Ercisli S., Turgut N., Some physical, pomological and nutritional properties of kiwifruit cv. Hayward, Int., *J. Food Sci. Nutr.*, **58**, 411 (2007). <https://doi.org/10.1080/09637480701252518>
20. Rugini E., Muganu M., Pesce P. G. Transformation of Actinidia Species (Kiwifruit). In: Jain S.M., Minocha S.C. (eds) *Molecular Biology of Woody Plants, Forestry Sciences*, **66**. (2000) Springer, Dordrecht. https://doi.org/10.1007/978-94-017-2313-8_10
21. Marsh K., Attanayake S., Walker S., Gunson A., Boldingh H., Macrae E. Acidity and taste in kiwifruit. *Postharvest Biology and Technology*, *Postharvest biol. technol.*, **32**, 159 (2004). <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2003.11.001>.
22. Rossiter K. L., Young H., Walker S. B., Miller M., Dawson D. M. The effects of sugars and acids on consumer acceptability of kiwifruit. *J. Sens. Stud.*, **15**, 241 (2000).
23. Szeto Y. T., Tomlinson B., Benzie I. F. Total antioxidant and ascorbic acid content of fresh fruits and vegetables: implications for dietary planning and food preservation, *Br. J. Nutr.*, **87**, 55 (2002).

УДК 578.08

**БИОМОРФОЛОГИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА НЕКОТОРЫХ ТАКСОНОВ ВИКИ
(*VICIA* L., *FABACEAE* LINDL.), РАСПРОСТРАНЕННЫХ В АЗЕРБАЙДЖАНЕ**

Асадова К. В., Аскеров А. М.

*Институт Генетических ресурсов Национальной Академии Наук Азербайджана, Баку,
Азербайджанская Республика
E-mail: esedzadeo@gmail.com*

Впервые изучены биоморфологические признаки у некоторых таксонов рода вики (*Vicia* L.) современной флоры Азербайджана, статусы которых является дискуссионными. Были представлены результаты образцов семян и около 200 образцов гербариев 17 таксонов вики (*V. monantha*, *V. peregrina*, *V. sativa* subsp. *nigra*, *V. sativa* subsp. *sativa*, *V. tetrasperma*, *V. tenuifolia* subsp. *variabilis*, *V. sativa* subsp. *cordata*, *V. elegans*, *V. nissoliana*, *V. grandiflora*, *V. lutea*, *V. villosa* subsp. *varia*, *V. bithynica*, *V. pannonica*, *V. abbreviata*, *V. hirsuta*, *V. narbonensis*), собранных на 29 маршрутах из разных регионов Азербайджана в 2015–2017 гг., распределение на основе их описательных данных, оценка на основе морфологических и экологических показателей. Эти таксоны относятся к 7 секциям: *Cracca*, *Faba*, *Vicia*, *Hypochusa*, *Atossa*, *Ervum*, *Peregrinae*. Проведена экологическая оценка таксонов вики по климатическим параметрам.

Ключевые слова: таксон, род, вика, биоморфология, секция, кластер, ареал.

ВВЕДЕНИЕ

Вика (*Vicia* L.) является одним из наиболее распространенных родов *Fabaceae* Lindl. класса *Magnoliopsida*. Виды, включенные в род, распространены по всему северному полушарию, включая средние горные пояса в Азербайджане.

Вика (*Vicia* L.) – одна из самых качественных двух- и многолетних трав. Представители рода являются ценными кормовыми, пищевыми, декоративными растениями. Они содержат много белков. Сухая и зеленая масса лучше используется животными [1].

Морфологические признаки играют важную роль в систематике видов вики, а также в разработке ключей для определения. Цитологические исследования показывают, что род имеет набор хромосом $2n = 10, 12, 14, 16, 18, 28$ [2–4].

Вика была впервые описана К. Линнеем [5]. В мировой флоре насчитывается 200 видов вики и 41–43 таксонов вики в Азербайджане [4, 6]. Хотя разные классические ботаники на Кавказе высказывали интересные идеи о роде *Vicia* L., его классификации и типах в Азербайджане, Б.А. Федченко дал первую комплексную систему этого рода в издании «Флора СССР». Он разделил этот род на 3 подрода, 4 секции, 31 ряд. 41 видов вики Азербайджана сгруппирован в 3 подрода, 20 рядов [7].

Хотя Гроссгейм описал род Вики "Кавказской флоры", он принял систему Федченко. Он отметил, что в мире насчитывается 150 видов вики, 48 диких видов и однокультивируемый вид на Кавказе [8].

В 1970 году дагестанский ботаник А. Д. Раджи опубликовала статью кавказский вид рода *Vicia* L. В собственной предложенной системе Раджи приняла большое количество подсекции и серий (*Series*) внутри секции, используя деление рода на подроды. Она показала распространение в общей сложности 36 видов этого рода и сгруппировала их в 3 подроды, 8 секции, 19 подсекции и 12 серий [9]. В этой системе 28 диких и 1 культивируемый вид Азербайджана были разделены на 3 подроды, 8 секции, 16 подсекции и 11 серий.

В 80-х годах 20 столетия российский ботаник Н. Н. Цвелев обработал систему распространения рода *Vicia* в Восточной Европе. Здесь также принято деление родов на подроды. Кавказ, включая Азербайджан, также отражен в этой системе. Он разделил род *Vicia* на 3 подроды (*Cracca*, *Ervum* и *Vicia*) и секции (*Oroboidea*, *Cracca*, *Lenticula*, *Ervum*, *Ervilia*, *Sepium*, *Hypechusa*, *Vicia*, *Lathyroides*, *Pseudolathyrus* и *Faba*), дал ряд Раджи в подсерии и описал несколько новых секций (*Oroboidea*, *Lenticula*, *Ervilia*, *Hypechusa*, *Lathyroides* и *Pseudolathyrus*).

В 1987 году Н. Н. Цвелев усовершенствовал систему рода вики, которую он предложил ранее во «Флоре европейской части СССР» [4].

Систематические роды турецкой флоры *Vicia* L. были изучены П. Дэвисом и У. Плитманом [2]. В этой системе виды вики были распределены на 3 группы. Турецкие виды были сгруппированы в 58 диких и 1 культурный вид в 3 группах, азербайджанские виды были сгруппированы в 26 диких и 1 культурный вид в 3 группах.

Единственное таксономическое исследование всего рода было проведено Ф. К. Купичей на мировом уровне [3, 10, 11]. Купича упомянула этот род трибы *Vicieae* в «Таксономических исследованиях в трибы *Vicieae* (*Leguminosae*)» и дала информацию об 11 секций рода.

Хотя в многотомном издании «Флора Азербайджана» был описан 41 дикий вид, 1 культурный вид, в «Растительном мире Азербайджана» А. Аскерова была предоставлена информация о 43 диких видах и 1 культурном [12, 13], внутривидовая систематика рода и биоморфологическое разнообразие широко не изучены.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В 2015–2017 гг. в отделе Экоботаники и систематики Института Генетических Ресурсов под руководством А. Аскерова в экспедициях по 29 маршрутам из разных регионов Азербайджана были собраны 17 таксонов (около 200 гербарных образцов и семян) вики.

Кроме того, коллекции Гербариевых Фондов Института Ботаники НАНА, Института Генетических Ресурсов (AGRI) и Институт ботаники Республики Грузия (ТВИ) были изучены в качестве материала исследования.

Поскольку наиболее широко принятой классификацией рода *Vicia* L. является классификация Купича, мы использовали эту схему классификации в нашей работе [11].

Определение номенклатурных вопросов основано на Международном ботаническом кодексе [14, 15]. При определении видов и идентификации их номенклатуры были использованы «Флора Азербайджана» и книги А. Аскерова [6, 12], при анализе других особенностей были использованы классификации К. Раункиера [16] и И. Г. Серебрякова [17].

В исследовании использовались сравнительно-морфологические [18–22] флористические [23], биоморфологические, систематические [24, 25] фитоценологические и экспериментальные методы [26]. С помощью программы SPSS Win (SPSS 16.0) был проведен таксометрический (фенетический) анализ таксонов вики.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Распределение таксонов вики основано на пяти основных ботанико-географических регионах Азербайджана:

1. Большой Кавказ, 2. Малый Кавказ, 3. Кура-Аракс, 4. Талышский район, 5. Нахичеван. Было установлено, что вика более широко распространена в регионе Большого Кавказа Азербайджана (34 таксонов). 27 таксонов вики распространены в Талышской области, 26 в Малом Кавказе, 24 в Нахичеване и 12 таксонов в Кура-Араксе. В различных регионах Азербайджана было отобрано 29 маршрутов для исследования таксонов вики, отличающихся определенными биоэкологическими характеристиками и были закодированы для идентификации.

Как видно из таблицы 1, большинство таксонов было собрано с лугов (13 таксонов), а несколько видов, с посевных площадей (2 таксона). Проведена экологическая оценка таксонов вики по климатическим параметрам. Было обнаружено, что на минимальной высоте (-20 м н.у.м.) наблюдалось *V. sativa* subsp. *cordata* из Апшеронского района, поселка Горадил и *V. bithynica* в Масаллинском районе, территория села Текле (-25 м н.у.м.). На максимальной высоте из Лерикского района, села Мистан (1723 м н.у.м.) была собрана *V. peregrina*; из Ордубадского района, село Парага (1644 м н.у.м.) были собраны *V. elegans* и *V. nissoliana*.

17 таксонов были отобраны для фенетического (таксометрического) анализа таксонов вики в ходе 29 экспедиционных исследований (в 2015–2017 гг.). По крайней мере два образца были изучены из каждой популяции, и каждая популяция была помечена как оперативная таксономическая единица (ОТЕ). Для биоморфологического анализа были отобраны 31 количественные и качественные характеристики (табл. 2).

Таблица 1.

Эколого-географическая информация таксонов *Vicia L.*, собранных в районе исследований

№	Название собранных таксонов	Вегетационный период	Экологические группы	Места сбора с кодом местности	Координаты
1	<i>V. monantha</i> subsp. <i>monantha</i>	Цв. Апрель-Май; Пл. Апрель-Июнь	Ксерофит	Апшеронский район, Сельскохозяйственный институт, посевная площадь; AZE15A1M1	N 40°31'951; E 49°52'576; H 12,5 м
				Апшеронский район, село Мухаммеди, Природный заповедник Янардаг, луг; AZE16A1-2M2	N 40°29'791; E 49°53'672; H 54 м
				Агдашский район, село Агчаязы, правый берег Турянчай; AZE17K9M3	N40°42'972; E 47°33'010; H 107 м
2	<i>V. peregrina</i>	Цв. Апрель-Май; Пл. Июнь	Ксерофит	Лерикский район, село Галасар, вокруг святылища Ovon; AZE15Q3M4	N 38°41'26.6 E 48°23'53.7;H 1357 м
				Лерикский район, село Мистан, луг; AZE16B2M5	N 38°39'003; E 48°24'940;H 1723 м
				Габалинский район, село Амирван, берег реки; AZE17Z9M6	N40°81'906; E 47°88'421; H 535 м
3	<i>V. sativa</i> subsp. <i>nigra</i>	Цв. Май; Пл. Май - Июнь	Ксерофит	Лерикский район, село Зарингала, заповедная зона; AZE15LZM7	N 38°40'47.5 E48°22'48.5; H 1442 м
				Шамахинский район, шоссе Шамахи-Агсу, на дорогах; AZE16D6M8	N 40°38'550; E 48°28'450; H 794 м
				Кюрдамирский район, село Гарис-Айрибанд, луг; AZE17K2M9	N40°20'574; E 48°22'548; H 8 м
4	<i>V. sativa</i> subsp. <i>sativa</i>	Цв. Май; Пл. Май - Июнь	Мезофит	Лерикский район, село Галасар, берег реки; AZE15Q2M10	N 38°41'22; E48°23'45.6; H 1329 м
				Бинагадинский район, село Мехтиабанд, на дорогах; AZE16A1-1M11	N 40 ⁰ 28' 480; E 49 ⁰ 51' 195; H 3 м

				Масаллы р., село Шарафа, на дорогах; AZE17M1M12	N39°05'208; E 48°67'377; H -15 м
5	<i>V. tetrasperma</i>	Цв. Май; Пл. Май - Июль	Мезоксерофит	Лерикский район, село Хамармеша, на опушке леса; AZE15L1M13	N 38°44'52; E 48°35'51; H 351 м
				Хызинский район, дорога, к Алтыгачу, побережье Атачай, река; AZE16E6M14	N 40° 53'07; E 48° 57'06; H 927 м
				Масаллинский район, село Шихлар, вокруг реки Виляш; AZE17M2M15	N38°58'48; E 48°33'54; H 98 м
6	<i>V. tenuifolia</i> subsp. <i>variabilis</i>	Цв. Май - Июнь Пл. Июнь	Мезоксерофит	Закатальский район, село Юхари Тала, Парзиванская территория, придорожная полоса; AZE15Z02M16	N 40°47.462' E45°35.636'; H 1130 м
					N 46°35'29 E 41°34'227;H 358 м
				Хызинский район, территория Чистый-Ключ, поляна; AZE16E8M17	N 40° 49'27; E 48° 52'43; H 1529 м
				Огузский район, село Дашагил, лес; AZE17Z7M18	N41°14'513; E 47°42'252;H 1010 м
7	<i>V. sativa</i> subsp. <i>cordata</i>	Цв. Апрель- Май; Пл. Май - Июнь	Мезофит	Апшеронский район, поселок Горадил, посевная площадь; AZE16A16M19	N 40°33'562; E 49°49'631; H -20 м
8	<i>V. elegans</i>	Ксерофит	Ксерофит	Ордубадский район, село Парага, предгорья; AZE16E1-1M20	N 39° 5'10; E 45°55'13; H 1644 м
9	<i>V. nissoliana</i>	Цв. Июнь; Пл. Июль	Мезоксерофит		
10	<i>V. grandiflora</i>	Цв. и Пл. Май	Мезофит	Хызынский район, село Вардах, луг; AZE16E4M21	N 40° 54'412; E 48°56'046;H 1217 м
11	<i>V. lutea</i>	Цв. и Пл. Май- Июнь	Мезофит	Шамахинский район, село Сагьян, на дорогах; AZE16C4M22	N 40°38'550; E 48°28'450; H 794 м

БИОМОРФОЛОГИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА НЕКОТОРЫХ ТАКСОНОВ ВИКИ ...

				Шамахинский район, село Медраса, луг; AZE17K18M23	N40°38'650; E 48°36'061; H 696 м
12	<i>V. villosa</i> subsp. <i>varia</i>	Цв. иПл. Май	Мезофит	Габалинский район, село Малый Пирали, луг; AZE17Z3M24	N40°92'637; E 47°76'994; H 382 м
13	<i>V. bithynica</i>	Цв. Май; Пл. Май - Июнь	Мезофит	Масаллинский район, село Текле, вокруг железнодорожного вокзала; AZE17M5M25	N39°07'41; E 48°40'08; H -25 м
14	<i>V. pannonica</i>	Цв. Май - Июнь; Пл. Июль	Мезофит	Габалинский район, село Еникенд, луг; AZE17Z4M26	N40°84'938; E 47°85'043;H 589 м
15	<i>V. abbreviata</i>	Цв. Май - Июнь; Пл. Июнь - Июль	Мезоксерофит	Шекинский район, село Киш, лес; AZE17Z11M27	N41°25'885; E 47°18'615; H 995 м
16	<i>V. hirsuta</i>	Цв. иПл. Май	Ксерофит	Кусарский район, село Судур, луг; AZE17V2M28	N 41°33'246; E 48°16'599; H 1298 м
17	<i>V. narbonensis</i>	Цв. Апрель- Май; Пл. Май- Июль	Мезофит	Шамахинский район, село Мирзандия луг; AZE17K20M29	N 40°34'737; E 48°43'648; H 584 м

Таблица 2.

Биоморфологические признаки, выбранные для фенетического (таксометрического) анализа

№	Признаки	Изменчивость признаков
1	Экобиоморфа растения	Однолетник (0); двухлетник (1); многолетник (2)
2	Биотоп растения	Лесо-луговые (0), кустарник (1), придорожный (2), сад и виноградник (3), посевные площади (4), берег реки (5), горный склон (6)
3	Рост стебля	5-30 см (0); 15-60 см (1); 60-80 см (2); 80-100 см (3)
4	Строение стебля	Края гранистые (0), бороздчатый (1), округлые (2)
5	Форма стебля	тонкий или ниткообразный (0), крепкий (1), снаружи густо- (2) илиредко-волосистый (3), голый (4), беловато-пушистый (5)
6	Положение стебля	восходящий (0) , ползучий (1), лежачий (2)
7	Строение оси листа	разветвленными усиками (0); простыми усиками (1), остроконечная (2); иногда заканчивается одним листочком (3)

8	Форма прилистника	полустреловидный зубчатый (0); полустреловидный ланцетный (1), копьевидный (2), яйцевидный (3), стреловидный(4)
9	Строение листочка	Обе поверхности волосистые (0), верхняя поверхность волосистая (1), нижняя поверхность волосистая (2), голая (3), волосистая только по жилками(4), волосистами жилками (5)
10	Форма листочка	Эллиптическая-широко-эллиптическая (0), продолговато-линейная (1), продолговато-овальная (2), обратно-яйцевидная (3), сердцевидная (4), ланцетно-продолговатая(5)
11	Количество листочка	1-5 пар (0); 3-10 пар (1); 7-15 пар (2)
12	Длина листочка	0,8-1,2 см (0);1,2-2,5 см (1); 3-4 см (2); 2-5 см (3)
13	Ширина листочка	0, 1-0,3 см (0); 0,2-0,6 см (1); 0,6-1,5 см (2), 2-2,5 см (3)
14	Положение цветка	На короткой ножке (0), на длинной ножке (1), без ножки, в пазухах листа (2)
15	Расположение соцветия	По одному (0), в виде кистя (1)
16	Количество цветов в соцветии	1-2 (0), 2-3 (1), кисть многоцветковый (2)
17	Длина короны	0,3-0,6 см (0), 0,8-1,5 см (1), 1,5-2 см (2), 2-3 см (3)
18	Цвет короны	Желтая (0), красная (1), фиолетовая (2), голубая (3), синяя (4), грязно- или темно-фиолетовый (5), красновато-фиолетовая (6), синеватая (7), желтовато-оранжевая (8), ярко-фиолетовая (9), бледно-голубая (10)
19	Форма паруса (флага)	Снаружи пушистый (0), снаружиголый (1), сердцевидно-обратно-яйцевидный (2), цельный (3), с выемкой (4)
20	Форма чашечки	Одинаково зубчатая (0), неодинаково зубчатая (1)
21	Состояние бобов	На короткой ножке (0), на длинной ножке (1), без ножки, в пазухах листа (2)
22	Строение бобов	Цилиндрический (0), редко четковидный (1), клиновидный (2), ромбический (3), узко-линейный (4), продолговато-ромбический (5), широко-линейный (6)
23	Форма бобов	Сверху мягко пушистый (0), густо- волосистый (1), голый (2), сверху жилками (3), прижато-волосистый (5)
24	Длина бобов	0,09-1,5 см (0),1,5-2,5 см (1), 2-3,5см (2), 3,5-4 см (3), 5-6 см (4)
25	Ширина бобов	0,3-0,4 см (0), 0,5-0,8 см (1), 0,7-1,2 см (2), 1-1,5 см (3)

БИОМОРФОЛОГИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА НЕКОТОРЫХ ТАКСОНОВ ВИКИ ...

26	Цвет бобов	Черный (0), темно-бурый (1), темно-коричневый (2), желтый соломенный (3), светло-коричневый (4), зеленовато-коричневый (5)
27	Строение семени	Длинный разрез охватывает половину семян (0), короткий узкий разрез (1), короткий широкий разрез (2), разрез охватывает одну треть семени
28	Форма семени	Сферическая- сжатая сферическая (0), продолговатая (1), гранистая (2), овальная (3), кругло-продолговатая (4)
29	Количество семян	Двусемянный (0), многосемянный (1), 3-6 семянный (2), 6-8 семянный (3), около 10 семян (4)
30	Размер семени	0,2-0,3 см (0), 0,3-0,9 см (1)
31	Цвет семян	Черно-бурый (0), темно-коричневый (1), черно-бархатный (2), темно-зеленый (3), коричнево-бархатный (4)

Было измерено не менее 2–3 выборочных параметров, взятых из каждой популяции, и была рассчитана средняя оценка. На основании полученных результатов с помощью метода кластерного анализа был проведен таксонометрический анализ.

Анализ проводился с помощью программы SPSS Win (SPSS 16.0). Фенетическая (таксонометрическая) связь между таксонами *Vicia* L. показана на рис. 2.

Как видно из данных рисунка 2, 4 основных кластеров наблюдаются на 12 уровне. Первый основной кластер разделен на 12 групп: *V. tenuifolia* subsp. *variabilis* (Z02, Z7, E8), который относится к секции *Cracca* (по Раджи, Федченко); *V. narbonensis* (K20) – принадлежит к секции *Faba*, *V. villosa* subsp. *villosa* (Z3), *V. sativa* subsp. *sativa* (Q2, M1, A1-1) – к секции *Vicia*, *V. lutea* (C4, K18), *V. pannonica* (Z4) – к секции *Hypochusa* и *V. abbreviata* (Z11) – к секции *Atossa* (по Купиче). Второй кластер относится к 4 образцам: *V. monantha* (A1, A1-2, K9), *V. nissoliana* (E1-1), который относится к секции *Cracca* (по Раджи, Купича). Третий основной кластер состоит из 4 образцов: *V. tetrasperma* (L1, M2, E6), который принадлежит к секции *Ervum*, *V. elegans* (E1-2) – к секции *Cracca* (по Раджи, Купиче). Наконец, четвертый основной кластер связан с 10 образцами: *V. peregrina* (Q3, B2, Z9), который принадлежит к секции *Peregrinae*, *V. sativa* subsp. *nigra* (LZ, D6, K2) – к секции *Vicia*, *V. bithynica* (M5) – к секции *Faba* (по Купиче). *V. sativa* subsp. *cordata* (A16), *V. grandiflora* (E4), который относится к секции *Vicia*, а *V. hirsuta* (V2) – к секции *Cracca* (по мнению Купича). Изученные виды относятся к морфологическим и экологическим группам. Некоторые образцы первого кластера – мезофиты и однолетние растения – *V. narbonensis* (K20); *V. villosa* subsp. *villosa* (Z3); *V. sativa* subsp. *sativa* (Q2, M1, A1-1); *V. lutea* (C4, K18), *V. pannonica* (Z4) и другие – мезоксерофиты и многолетние растения – *V. abbreviata* (Z11), *V. tenuifolia* subsp. *variabilis* (Z02, Z7, E8). Некоторые образцы второго кластера представляют собой ксерофиты и однолетние растения – *V. monantha* (A1, A1-2, K9), но другой – мезоксерофит и многолетнее растение – *V. nissoliana* (E1-1). В третьем кластере 3

образца – мезофиты и однолетние растения – *V. tetrasperma* (L1, M2, E6), а другой образец – ксерофит и многолетнее растение – *V. elegans* (E1-2). Наконец, в четвертом кластере 7 образцов – ксерофиты и однолетние растения – *V. peregrina* (Q3, B2, Z9), *V. sativa* subsp. *nigra* (LZ, D6, K2), *V. hirsuta* (V2); но 3 других – мезофиты и однолетние растения – *V. bithynica* (M5), *V. sativa* subsp. *cordata* (A16) и *V. grandiflora* (E4).

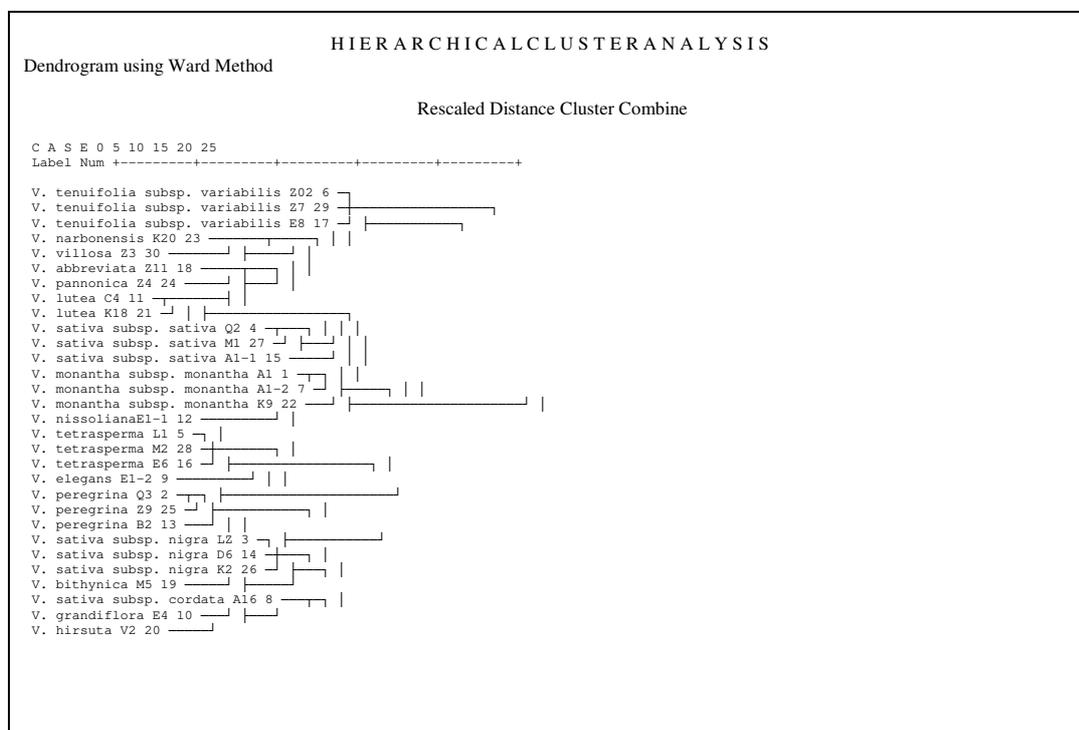


Рис. 2. Кластерный анализ морфологических характеристик у таксонов *Vicia* L.

В нашем исследовании четыре основных группы различаются по характеру: высота растения, количество листочков, количество бобовых, количество семян и их экологические группы.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Впервые получены данные о гербарии рода *Vicia* L. и данные мониторинга из современной флоры Азербайджана в ходе научных экспедиций, проведенных в 2015–2017 гг. 17 таксонов вики (около 200 образцов гербариев), относящихся к 7 секциям, впервые были собраны на 29 маршрутах за последние 60 лет. Корреляции между экологическими параметрами таксонов, обнаруженных в ходе мониторинга, показали, что они обладают высокой экологической устойчивостью.

Для биоморфологического анализа были отобраны 31 количественные и качественные характеристики. 4 основных кластеров наблюдаются на 12 уровне. Наши работы показали, что анализ биоморфологических признаков собранных таксонов способствуют уточнению филогенетических взаимосвязей и статуса некоторых таксонов, которые являются дискуссионными.

Список литературы

1. Brainard D. Hairy vetch (*Vicia villosa* Roth.) varieties and bicultures influence cover crop services in strip-tilled sweet corn. / Brainard D., Henshaw B., Snapp S. // *Agron. J.* – 2012. – 104. – P. 629-638.
2. Davis P. H. *Vicia* L. Flora of Turkey and the East Aegean Islands / Davis P. H., Plitmann U. // Edinburgh University Press, Edinburgh. – 1970. – Vol. 3. – P. 274–325.
3. Kupicha F. K. Studies in the *Vicieae* L.: The new genus *Anatropostylia*. / Kupicha F. K. // *Notes Royal Bot. Garden. (Edinburgh)*. – 1973. – 32. – P. 247–250.
4. Цвелев Н. Н. Флора европейской части СССР. / Цвелев Н. Н. – 1987. – Т. 5. – С. 12.
5. Linnaeus C. *Species Plantarum Exhibentes Plantas Rite Cognitas ad Genera Relatas cum Differentiis Specificis, Nominibus Trivialibus, Synonymis Selectis, Locis Natalibus, Secundum Systema Sexuale Digestas* / Linnaeus C. – Berlin. – 1753.
6. Аскеров А. М. Конспект флоры Азербайджана. / Аскеров А. М. – Баку, Наука, 2011. – С. 204.
7. Флора СССР. Т. 13 – Санкт-Петербург, 1948. – С. 406–475.
8. Гроссгейм А. А. *Vicia* L. В.кн.: Флора Кавказа. / Гроссгейм А. А. – 1952. – Т. 5. – С. 400–412.
9. Radghi A. D. Concept of Systems Caucasus Species of Genus *Vicia* L. / Radghi A. D. // *News of Systematics Higher Plants. Sankt-Petersburg*. – 1971. – Vol. VII. – P. 228–240.
10. Kupicha F. K. Observations on the vascular anatomy of the tribe *Vicieae* (*Leguminosae*). / Kupicha F. K. // *Bot. J. Linnean Soc.* – 1975. – 70. – P. 231–242.
11. Kupicha F. K. The infrageneric structure of *Vicia*. / Kupicha F. K. // *Notes Royal Bot. Garden (Edinburgh)*. – 1976. – 34– P. 287–326.
12. Аскеров А. М. Растительный мир Азербайджана. / Аскеров А. М. – Баку: TEASPRESS, 2016. – 444 с.
13. Флора Азербайджана. Т. 5. – Баку: Изд-во АН Азербайджанской ССР, 1954. – С. 476–511.
14. Международный кодекс ботанической номенклатуры (Венский кодекс). – М.; СПб, 2009. – 282 с.
15. ILLDIS, 2010. International Legume Database and Information Service. <http://www.ildis.org/>
16. Raunkiaer Ch. *Plant Life Forms*. / Raunkiaer Ch. – Clarendon Press, Oxford, 1937. – 104 p.
17. Серебряков И. Г. Жизненные формы высших растений и их изучение. / Серебряков И. Г. – В кн.: Полевая геоботаника. М.: АН СССР, 1964. – 3. – С. 146–205.
18. Basaran U. Germination pattern of naturally grown *Lathyrus* and *Vicia* species to different methods and seedbeds. / Basaran U., Mut H., OnalAsci O., Ayan I., Acar Z. // *Int. J. Plant Prod.* – 2012.– 6(3). – P. 325–336.
19. Büyükkartal H. N. Seed coat ultrastructure of hard-seeded and soft-seeded varieties of *Vicia sativa*. / Büyükkartal H. N., Çölgeçen H., Pinar N. M., Erdoğan N. // *Turk. J. Bot.* – 2013. – 37. – P. 270–275.
20. Gunn C. R. Genera, types, and lectotypes in the tribe *Vicieae* (*Leguminosae*). / Gunn C. R. – *Taxon*, 1969. – 18. – P. 725–733.
21. Gunn C. R. A key and diagrams for the seeds of one hundred species of *Vicia* (*Leguminosae*). / Gunn C. R. // *Proc. Int. Seed Testing Assoc.* – 1970. – 35. – P. 773–790.
22. Gunn C. R. Androecium and pistil characters for tribe *Vicieae* (*Fabaceae*). / Gunn C. R., Kluve J. // *Taxon*. – 1976. – Vol. 25(5/6). – P. 563–575.
23. Тупикова А. И. Ботанико-агрономическое исследование однолетних вик. / Тупикова А. И. // *Вестник прикладной ботаники, генетики и селекции растений* – 1926. – 16. – С. 151–246.
24. Maxted N. A revision of *Vicia* subgenus *Vicia* using DB technology. / Maxted N. // *Ph.D. thesis, Southampton*. – 1990.
25. Maxted N. An Ecogeographical Study of *Vicia* subgenus *Vicia*. Systematic and Ecogeographic Studies on Crop Gene-pools. / Maxted N. // *International Plant Genetic Resources Institute, Rome, Italy*, 1995. – 190 p.
26. Leht M. Cladistic and phenetic analysis of relationships in *Vicia* subgenus *Cracca* (*Fabaceae*) based on morphological data. / Leht M. // *Taxon*. – 2005. – 54(4). – P. 1023–1032.

**BIOMORPHOLOGICAL EVALUATION OF SOME VETCH TAXA (*VICIA* L.,
FABACEAE LINDL.), DISTRIBUTED IN AZERBAIJAN**

Asadova K. V., Asgarov A. M.

Genetic Resources Institute of ANAS, Baku, Azerbaijan
E-mail: esedzadeo@gmail.com

For the first time, the biomorphological characters of some taxa of the genus vetch (*Vicia* L.) of the modern flora of Azerbaijan were studied, the status of which is debatable. In the study used comparative morphological, floristic, biomorphological, systematic, phytocenological and experimental methods.

The results of seed samples and about 200 samples of herbaria from 17 vetch taxa were presented (*V. monantha*, *V. peregrina*, *V. sativa* subsp. *nigra*, *V. sativa* subsp. *sativa*, *V. tetrasperma*, *V. tenuifolia* subsp. *variabilis*, *V. sativa* subsp. *cordata*, *V. elegans*, *V. nissoliana*, *V. grandiflora*, *V. lutea*, *V. villosa* subsp. *varia*, *V. bithynica*, *V. pannonica*, *V. abbreviata*, *V. hirsuta*, *V. narbonensis*), collected on 29 routes from different regions of Azerbaijan in 2015-2017, distribution based on their descriptive data, assessment based on morphological and environmental indicators. These taxa belong to 7 sections: *Cracca*, *Faba*, *Vicia*, *Hypechusa*, *Atossa*, *Ervum*, *Peregrinae*.

An ecological-geographic information (including taxa names, collection areas with area codes, latitude and longitude, sea level, growing season, ecological groups) of *Vicia* L. taxa collected in the study area were presented. An ecological assessment of vetch taxa was carried out by climatic parameters. The environmental parameters of the vetch taxa were assessed. Taxa collected from different areas were identified with maximum and minimum heights. The correlations between the ecological parameters of taxa found during the monitoring showed that they have high ecological stability.

For biomorphological analysis, 31 quantitative and qualitative characteristics were selected. At least 2–3 sample parameters taken from each population were measured and the average score was calculated.

Based on the results obtained, using the method of cluster analysis, a taxometric analysis was carried out. 4 main clusters are observed at level 12. The analyzes were performed using the SPSS Win software (SPSS 16.0).

Our research has shown that the analysis of biomorphological characters of the collected taxa help to clarify the phylogenetic relationships and status of some taxa, which are debatable.

Keywords: taxon, genus, vetch, biomorphological, section, cluster, area.

References

1. Brainard D., Henshaw B., Snapp S. Hairy vetch (*Vicia villosa* Roth.) varieties and bicultures influence cover crop services in strip-tilled sweet corn, *Agron. J.*, **104**, 629 (2012).
2. Davis P. H., Plitmann U., Vicia L. *Flora of Turkey and the East Aegean Islands*, **3**, 274 (Edinburgh University Press, Edinburgh, 1970).
3. Kupicha F. K. *Studies in the Viciae L.: The new genus Anatrostylia*, **32**, 247 (Notes Royal Bot. Garden. (Edinburgh), 1973).
4. Tsvelev N. N. *Flora Evropejskij chasty SSSR*, **5**, 12. (1987).
5. Linnaeus C. *Species Plantarum Exhibentes Plantas Rite Cognitas ad Genera Relatas cum Differentiis Specificis, Nominibus Trivialibus, Synonymis Selectis, Locis Natalibus, Secundum Systema Sexuale Digestas* (Berlin, 1753).
6. Askerov A. M. *Konspekt flory Azerbaydjana*, 204 (Baku, Nauka, 2011).
7. *Flora SSSR*, **13**, 406 (Sankt-Peterburq, 1948).
8. *Qrossqeim Vicia L.*, **5**, 400 (V. kn.: Flora Kavkaza, 1952).
9. Radghi A. D. *Concept of Systems Caucasus Species of Genus Vicia L., News of Systematics Higher Plants*, **VII**, 228 (Sankt-Petersburg, 1971).
10. Kupicha F. K. Observations on the vascular anatomy of the tribe *Viciae* (*Leguminosae*), *Bot. J. Linnean Soc.*, **70**, 231 (1975).
11. Kupicha F. K. *The infrageneric structure of Vicia*, **34**, 287 (Notes Royal Bot. Garden (Edinburgh), 1976).
12. Askerov A. M. *Rastitel'nyj mir Azerbaydzhana*, 444 (Baku: TEAS PRESS, 2016).
13. *Flora Azerbaydzana*, **5**, 476 (Baku: Izd.-vo AN Azerbaydzanskoj SSR, 1954).
14. *Mezhdunarodnyy kodeks botanicheskoy nomenklatury (Venskiy kodeks)*, 282 (M.; SPB, 2009).
15. ILDIS, 2010. International Legume Database and Information Service. <http://www.ildis.org/>
16. Raunkiaer Ch. *Plant Life Forms*, 104 (Clarendon Press, Oxford, 1937).
17. Serebrjakov I. Q. *Jiznennie formy vysshikh rastenij i ikh izuchenie*, **3**, 146 (V. kn.: Polevaja Qeobotanika. M.: AN SSSR, 1964).
18. Basaran U., Mut H., OnalAsci O., Ayan I., Acar Z. Germination pattern of naturally grown *Lathyrus* and *Vicia* species to different methods and seedbeds, *Int. J. Plant Prod.*, **6(3)**, 325 (2012).
19. Büyükkartal H. N., Çölgeçen H., Pinar N. M., Erdoğan N. Seed coat ultrastructure of hard-seeded and soft-seeded varieties of *Vicia sativa*, *Turk. J. Bot.*, **37**, 270 (2013).
20. Gunn C. R. Genera, types, and lectotypes in the tribe *Viciae* (*Leguminosae*), *Taxon*, **18**, 725 (1969).
21. Gunn C. R. A key and diagrams for the seeds of one hundred species of *Vicia* (*Leguminosae*), *Proc. Int. Seed Testing Assoc.*, **35**, 773 (1970).
22. Gunn C. R., Kluve J. Androecium and pistil characters for tribe *Viciae* (*Fabaceae*), *Taxon*, **25(5/6)**, 563 (1976).
23. Tupikova A. Botaniko-agronomiceskoe issledovanie odnoletnyh vik, *Bulletin of Applied Botany, Genetics & Plant Breeding, Leningrad*, **16 (1)**, 151 (1926).
24. Maxted N. *A revision of Vicia subgenus Vicia using DB technology*, Ph.D. thesis, Southampton (1990).
25. Maxted N. *An Ecogeographical Study of Vicia subgenus Vicia*. Systematic and Ecogeographic Studies on Crop Genepools, 190 p. (International Plant Genetic Resources Institute, Rome, Italy, 1995).
26. Leht M. Cladistic and phenetic analysis of relationships in *Vicia* subgenus *Cracca* (*Fabaceae*) based on morphological data, *Taxon*, **54(4)**, 1023 (2005).

УДК [612.64.014.46.+612.216.014.46+612.284]:57.0898

DOI 10.37279/2413-1725-2021-7-1-26-35

ЗНАЧЕНИЕ ПРЕНАТАЛЬНОГО ПАССИВНОГО КУРЕНИЯ ДЛЯ РАЗВИТИЯ ЦЕНТРАЛЬНЫХ МЕХАНИЗМОВ РЕГУЛЯЦИИ ДЫХАНИЯ У НОВОРОЖДЕННЫХ КРЫС IN VITRO

Болычевский С. Е., Зинченко Е. А., Мирошниченко И. В.

*ФГБОУ ВО Оренбургский государственный медицинский университет, Оренбург, Россия
E-mail: singlsb@gmail.com*

В пренатальном периоде нейронные сети претерпевают наиболее существенные морфологические изменения и следующие за ними функциональные преобразования. Остается практически не изученным влияние комбинации факторов пассивного табакокурения на формирование в пренатальном периоде центральных механизмов регуляции дыхания. Настоящее исследование было посвящено изучению пренатального фумигационного влияния факторов пассивного курения на функционирование центральных механизмов регуляции дыхания у новорожденных крыс. Установлено, что пренатальное пассивное курение влияет на механизм формирования респираторного ритма и паттерна, а также модифицирует респираторный ответ на изменение парциального напряжения дыхательных газов в ликворе in vitro.

Ключевые слова: новорожденные крысы, дыхательный центр, in vitro, пассивное курение, бульбоспинальный препарат, гипоксия, гиперкапния.

ВВЕДЕНИЕ

Пренатальный и ранний постнатальный периоды развития респираторной нейронной сети у млекопитающих отличается быстрыми существенными процессами структурного и функционального развития. Процессы развития отличаются значительной степенью чувствительности к влиянию факторов внешней среды, что может предопределять характер функционирования как отдельных систем, так и организма в целом [1]. В пренатальном периоде нейронные сети претерпевают наиболее существенные морфологические изменения и следующие за ними функциональные преобразования. Организм матери предотвращает влияние многих факторов окружающей среды на эмбрион и плод. Однако ряд факторов среды антропогенного происхождения могут существенно влиять на развитие организма плода [1]. Одним из часто встречающихся вредоносных факторов антропогенного происхождения, с которым встречаются беременные женщины, являются компоненты табачного дыма, определяемые, как «пассивное курение» [1]. Изучение влияния на развитие в пренатальном периоде респираторной нейронной сети хронического введения никотина беременным осуществляется достаточно интенсивно [2, 3]. В то же время остается практически не изученным влияние комбинации факторов пассивного табакокурения на формирование в пренатальном

периоде центральных механизмов регуляции дыхания. Значение данного направления исследования является очень важным для понимания патогенеза симптома внезапной младенческой смертности, так как известно, что пассивное курение увеличивает риск его возникновения [4]. В связи с этим настоящее исследование было посвящено изучению пренатального фумигационного влияния факторов пассивного курения на функционирование центральных механизмов регуляции дыхания у новорожденных крыс *in vitro*.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Исследование выполнено на 107 изолированных бульбоспинальных препаратах (БСП) мозга новорожденных белых беспородных крыс в условиях *in vitro*. Препараты были получены из мозга 107 новорождённых крыс в возрасте одних суток. Экспериментальную группу составили 57 БСП. В экспериментах использовались крысы после самопроизвольного рождения.

После датирования беременности крысы помещались в вентилируемую ($95 \text{ м}^3/\text{час}$) камеру объемом $0,374 \text{ м}^3$. В течение всего срока беременности (1–20 сутки) производилась фумигация экспериментальной группы (ПК) животных сигаретным дымом в течение 8 часов в сутки по одной сигарете через каждые 60 минут 5 дней в неделю. Концентрация твёрдых взвешенных частиц в воздухе в активную фазу составляла $1 \text{ мг}/\text{м}^3$. Контрольная группа животных (НК) помещалась в другую вентилируемую камеру, при этом фумигации дымо-воздушной смесью не проводилось.

БСП были получены по методике, описанной Suzue T. в 1984 году [5]. По окончании препаровки препарат помещался в регистрационную камеру объемом 3 мл. Перфузию препарата в камере проводили со скоростью 3 мл/мин. Электрические потенциалы отводились с помощью всасывающего электрода с вентральных корешков сегментов C_3 – C_4 . Для моделирования гиперкапнического воздействия бульбоспинальные препараты мозга новорождённых крыс в течение 10 минут перфузировались раствором искусственной цереброспинальной жидкости (ЦСЖ), насыщенной газовой смесью, состоящей из 10 % CO_2 и 90 % O_2 , pH 6,9–7,0. Электрическую активность БСП начинали регистрировать за 5 минут перед гиперкапническим воздействием и продолжали до его прекращения (в течение 10 минут). Исследование выполнено на 21 БСП, экспериментальную группу составили 12 препаратов полученных от 12 новорождённых крыс (0–1 сутки). Для моделирования гипоксического воздействия бульбоспинальные препараты мозга новорождённых крыс в течение 20 минут орошались раствором искусственной цереброспинальной жидкости, насыщенной газовой смесью 5 % CO_2 в азоте, pH раствора поддерживался на уровне 7,3–7,4, после чего препараты в течение 15 минут орошались искусственной ЦСЖ насыщенной смесью газов исходного состава (5 % CO_2 в кислороде). Электрическую активность БСП начинали регистрировать за 5 минут до гипоксического воздействия, затем в течение всего периода гипоксии и 15 минут после возвращения к исходному составу газов (отмыву). Исследование выполнено на 38 БСП, экспериментальную группу составили 21 препарат мозга, полученные от 21 новорождённой крысы (0–1 сутки).

При обработке нейрограмм измерялись продолжительность цикла респираторной активности (с), продолжительность (с) и амплитуда инспираторных разрядов (мкВ). Спектральный анализ разрядов производился с использованием алгоритма быстрого преобразования Фурье. В спектрограммах респираторных разрядов выделялись максимальные пики в низко- (1–10 Гц) и среднечастотном (10–50 Гц) диапазонах. Для описания пиков спектра респираторных разрядов использовались следующие параметры: частота пика (Гц) и спектральная плотность мощности (СПМ) пика (относительные единицы). Показатели спектральных характеристик рассчитывались на основании данных, полученных от 10 спектрограмм последовательных инспираторных разрядов.

Анализ статистических различий производился с помощью t–теста Стьюдента для средних величин. Различия считались достоверными при $p < 0,05$.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Исследование параметров респираторной активности бульбоспинальных препаратов мозга новорожденных крыс, полученных от контрольной и экспериментальной групп самок выявило значительные изменения спектральных и частотно-временных характеристик респираторной частоты и паттерна.

При анализе амплитудно-временных параметров респираторных разрядов бульбоспинальных препаратов мозга новорожденных крыс было отмечено, что значения амплитуды и продолжительности инспираторных разрядов препаратов группы пассивного курения меньше аналогичных показателей в контрольной группе в среднем на 16,1 % ($p < 0,05$) и 10,9 % соответственно (таблица). Продолжительность респираторного цикла у бульбоспинальных препаратов мозга группы пассивного курения была на 15,3 % меньше, чем в контрольной ($p < 0,05$).

При спектральном анализе выявлено меньшее значение спектральной плотности мощности в низкочастотном (1–10 Гц) и среднечастотном (11–50 Гц) диапазонах спектра инспираторных разрядов C₃-C₄ бульбоспинальных препаратов мозга новорожденных крыс опытной группы по сравнению с контрольной группой: 16,3 % и 33,4 % соответственно ($p < 0,05$) (таблица). Частота низкочастотного пика осцилляций в экспериментальной группе была меньше, чем в контрольной на 11,2 % ($p < 0,05$) (таблица), частота среднечастотного пика – на 14,3 % ($p < 0,05$).

Анализ параметров электрической активности бульбоспинальных препаратов мозга новорождённых крыс показал наличие значительных различий в реакции респираторной нейронной сети продолговатого мозга на гиперкапническую стимуляцию между контрольной группой и группой пассивного курения.

Реакция бульбоспинальных препаратов мозга новорождённых крыс принадлежавших самкам контрольной группы на гиперкапническое воздействие характеризовалось уменьшением продолжительности респираторного цикла на 12 % относительно исходных значений параметра (13,9 и 12,2 с. соответственно) и амплитуды инспираторных разрядов на 10,8 % относительно исходных значений параметра (60,15 и 53,7 мкВ соответственно) (рис. 1). В спектре инспираторных разрядов бульбоспинальных препаратов мозга новорожденных крысят контрольной группы гиперкапническое воздействие вызывало изменение соотношения

ЗНАЧЕНИЕ ПРЕНАТАЛЬНОГО ПАССИВНОГО КУРЕНИЯ ДЛЯ...

мощностей низкочастотного и среднечастотного компонентов спектра инспираторного разряда на 16,9 % относительно исходных значений параметра (1,29 и 1,1 о.е. соответственно) за счет снижения мощности низкочастотного пика осцилляций на 16,9 % относительно исходных значений параметра (3,41 и 2,78 о.е. соответственно).

Таблица

Изменение параметров респираторной активности бульбоспинальных препаратов на фоне воздействия пассивного курения в нормокапнических условиях ($M \pm \sigma$) n=107

Параметры инспираторной активности	Группа ПК	Группа НК
Мощность низкочастотного пика (МНЧ), о.е.	4,09±0,23	4,88±0,31*
Частота низкочастотного пика, Гц.	5,29±0,26	5,95±0,32*
Мощность среднечастотного пика (МСЧ), о.е.	2,91±0,17	4,37±0,76*
Частота среднечастотного пика, Гц.	15,87±0,63	18,52±1,31*
Соотношение МНЧ/МСЧ	1,49±0,07	1,41±0,08
Амплитуда инспираторного разряда, мкв.	45,13±2,12	53,79±2,86*
Продолжительность инспираторного разряда (Тр), с.	0,95±0,03	1,04±0,04*
Коэффициент вариабельности Тр, о.е.	0,19±0,01	0,21±0,01
Продолжительность респираторного цикла (ПРЦ), с.	15,34±0,72	17,75±1,17*
Коэффициент вариабельности ПРЦ, о.е.	0,19±0,01	0,19±0,01

Примечание: * – достоверность различий параметров, $p < 0,05$

У бульбоспинальных препаратов мозга новорожденных крыс опытной группы на фоне гиперкапнического воздействия также происходило изменение соотношения мощностей в спектре инспираторного разряда на 22,6 % относительно фоновых значений параметра (1,19 и 0,92 о.е. соответственно), причём так же как и в контрольной группе за счёт снижения мощности низкочастотного пика осцилляций относительно исходных значений параметра на 18,3 % (4,36 и 3,56 о.е. соответственно). Снижение амплитуды инспираторных разрядов было менее выражено, чем в контроле, но осталось достоверным (48,5 и 44,5 мкв. соответственно). Реакция на гиперкапнию бульбоспинальных препаратов мозга новорождённых крыс группы пассивного курения отличалась от реакции в контрольной группе отсутствием сокращения продолжительности респираторного цикла (рис. 1) и существенным смещением пика низкочастотного диапазона в сторону большей частоты (4,49 и 5,7 Гц. соответственно).

В нашем исследовании у бульбоспинальных препаратов мозга новорожденных крыс контрольной группы (0–1 сутки) не удалось четко выделить фазу аугментации в

гипоксических условиях. В исследовании были использованы препараты мозга, полученные от новорожденных крыс в первые сутки после рождения, в этот период фаза аугментации в условиях гипоксии или слабо выражена или отсутствует вовсе [6].

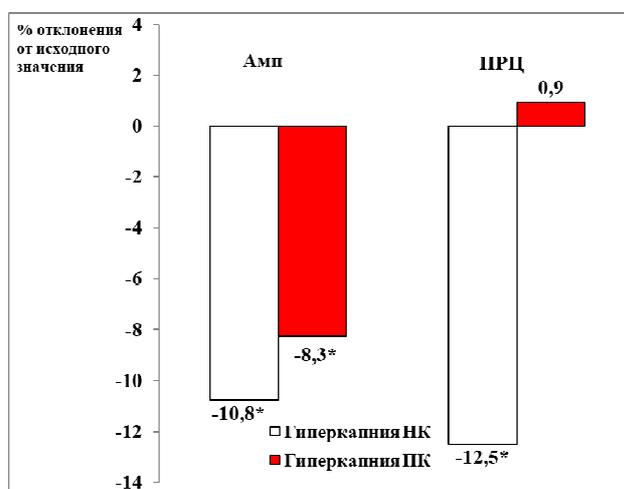


Рис. 1 Изменение амплитудно-временных параметров респираторной активности, регистрируемой с вентральных корешков С₃-С₄ БСП новорождённых крыс групп ПК и НК при гиперкапническом воздействии.

Примечание: * – достоверность различий параметров, $p < 0,05$

Депрессия респираторного ритма бульбоспинальных препаратов мозга новорождённых крыс контрольной группы достигала достоверной выраженности на 5 минуте в условиях гипоксии (рис. 2). Восстановление респираторного ритма до исходного уровня после прекращения гипоксического воздействия происходило через 10 минут. Одновременно с увеличением продолжительности респираторного цикла происходило значимое увеличение амплитуды инспираторных разрядов (рис. 2), которая не восстанавливалась до исходных значений в течение всего периода восстановления после гипоксического воздействия (15 минут). У препаратов контрольной группы на 10 минуте гипоксического воздействия достоверно уменьшалась продолжительность инспираторных разрядов (рис. 2), которая восстанавливалась через 10 минут после прекращения гипоксического воздействия. Достоверное увеличение соотношения мощности низкочастотных и среднечастотных осцилляций в контрольной группе наблюдалось на 15 минуте гипоксического воздействия, эти изменения сохранялись в течение первых 10 минут периода восстановления.

В группе пассивного курения, также как и в контрольной группе, у большинства бульбоспинальных препаратов на фоне гипоксического воздействия не удалось выделить фазу аугментации. При оценке влияния пренатального пассивного курения на динамику развития гипоксической депрессии респираторного ритма было отмечено, что значимое увеличение

ЗНАЧЕНИЕ ПРЕНАТАЛЬНОГО ПАССИВНОГО КУРЕНИЯ ДЛЯ...

продолжительности респираторного цикла в группе пассивного курения происходило позже, чем в контрольной группе (на 10 минуте воздействия) (рис. 2). При этом динамика восстановления респираторного ритма после гипоксического воздействия остается аналогичной той, что наблюдалась в контроле. У бульбоспинальных препаратов мозга новорожденных крыс группы пассивного курения достоверное увеличение амплитуды инспираторных разрядов происходило на 10 минуте гипоксического воздействия, в отличие от контрольной группы (рис. 2). Особенностью динамики изменения амплитуды инспираторных разрядов при гипоксическом воздействии в группе пассивного курения является не только более позднее развитие фазы увеличения, но и то, что в период восстановления она возвращается к исходному уровню на 10 минуте, а в контрольной группе оставалась повышенной до конца эксперимента (рис. 2).

В отличие от препаратов контрольной группы, в группе пассивного курения уменьшение продолжительности инспираторных разрядов и увеличение соотношения мощностей осцилляций низко- и среднечастотного диапазона наступало раньше – на 5 и 10 минуте гипоксического воздействия соответственно (рис. 2). После прекращения гипоксического воздействия в течение 15 минут оба этих параметра не пришли к исходному значению в обеих группах.

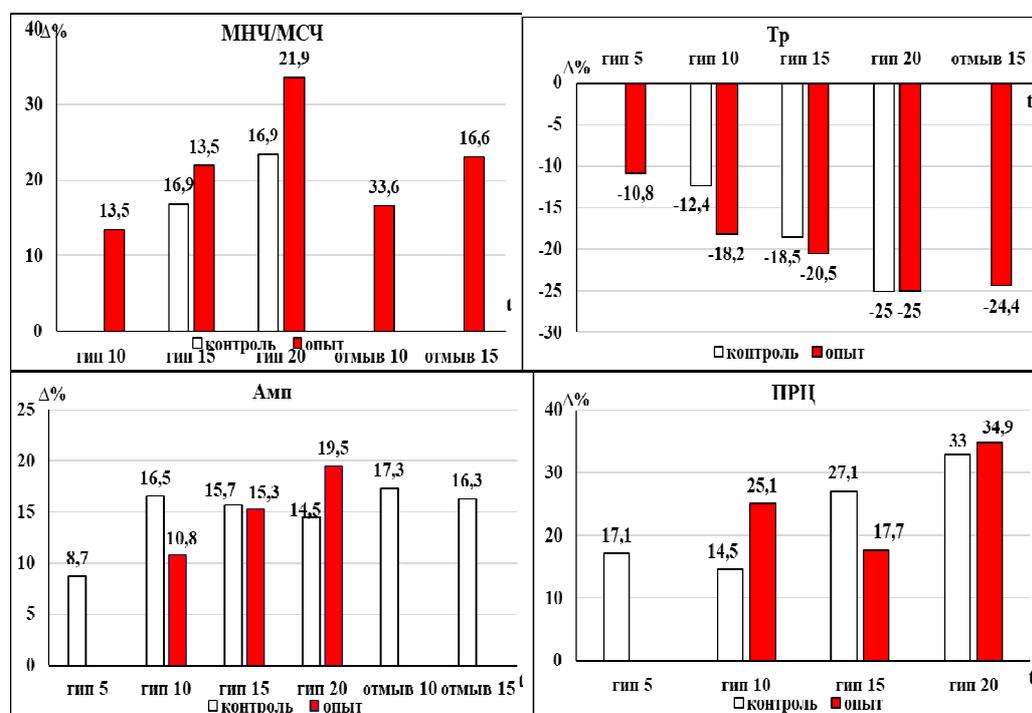


Рис. 2 Статистически значимые изменения параметров респираторной активности, регистрируемой с вентральных корешков С₃-С₄ БСП новорождённых крыс групп ПК и НК в условиях гипоксии.

Примечание: * – достоверность различий параметров, $p < 0,05$.

В результате проведённого исследования было установлено, что у новорождённых крыс, перенесших пренатальное пассивное курение наблюдается большая частота генерации инспираторных разрядов, смещение пиков спектральной плотности мощности респираторных разрядов обоих диапазонов в сторону низких частот, уменьшение их мощности, снижение амплитуды и меньшая продолжительность инспираторных разрядов в сравнении с интактными животными. Подобные изменения респираторного ритма и паттерна могут быть следствием модифицирующего влияния факторов пренатального пассивного курения, в частности никотина, на формирование структуры респираторных нейронных сетей, а также изменения свойств синаптического взаимодействия центральных респираторных нейронов [1, 7].

В данном исследовании показано, что особенностью реакции на гипоксию у новорождённых крыс, перенесших пренатальное пассивное курение, является позднее формирование фазы гипоксической депрессии респираторного ритма. В настоящее время накоплено достаточно много сведений о влиянии пренатального воздействия никотина на реакцию центральной респираторной нейронной системы на гипоксию у новорождённых, хотя они зачастую противоречивы [8, 9]. Существует мнение, что влияние табачного дыма может отличаться от действия никотина [10]. Так, например угарный газ CO, компонент табачного дыма, может приводить к фетальной гипоксии [11]. Таким образом обнаруженное нами изменение реакции на гипоксию у новорождённых крыс, перенесших пренатальное пассивное курение, заключающееся в более позднем наступлении фазы респираторной депрессии можно объяснить модифицирующим влиянием компонентов табачного дыма, вызывающих фетальную гемическую гипоксию, что может вызывать адаптацию дыхательного центра к низкому содержанию кислорода и снизить его чувствительность к изменению напряжения кислорода в ликворе в раннем постнатальном периоде. На ряду с этим нами установлено, что реакция на гиперкапнию бульбоспинальных препаратов мозга новорождённых крыс, перенесших пренатальное пассивное курение, отличалась отсутствием сокращения продолжительности респираторного цикла, что согласуется с более ранними исследованиями, в которых указано на снижение чувствительности дыхательного центра к изменению концентрации CO₂ в ликворе, а так же к изменению его рН, вызванное пренатальным воздействием никотина [4, 2, 12].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, выполненное нами исследование показывает, что пренатальное пассивное курение влияет на механизм формирования респираторного ритма и паттерна, а также модифицирует респираторный ответ на изменение парциального напряжения дыхательных газов в ликворе *in vitro*, что может быть следствием модифицирующего влияния компонентов табачного дыма на развивающиеся нейронные структуры, вовлечённые в процесс центральной регуляции респирации.

Список литературы

1. Jaiswal S. J. Developmental nicotine exposure enhances inhibitory synaptic transmission in motor neurons and interneurons critical for normal breathing / S. J. Jaiswal, L. Buls Wollman, C. M. Harrison, J. Q. Pilarski, R. F. Fregosi // *Developmental neurobiology*. – 2015.
2. Huang Y. H. Influence of prenatal nicotine exposure on development of the ventilatory response to hypoxia and hypercapnia in neonatal rats / Y. H. Huang, A. R. Brown, S. J. Cross, J. Cruz, A. Rice, J. Stuti, F. Ralph, J. Fregosi // *Appl Physiol*. – 2010. – 109 – P. 149–158.
3. Huang Z. G. Differential control of central cardiorespiratory interactions by hypercapnia and the effect of prenatal nicotine / Z. G. Huang, K. J. Griffioen, X. Wang, O. Dergacheva, H. Kamendi, C. Gorini, E. Bouairi, D. Mendelowitz // *J Neurosci*. – 2006. – 26(1). – P. 21–9.
4. Eugenin J. Prenatal to early postnatal nicotine exposure impairs central chemoreception and modifies breathing pattern in mouse neonates: a probable link to sudden infant death syndrome / J. Eugenin, M. Otarola, E. Bravo, C. Coddou // *Neurosci*. – 2008. – 28(51) – P. 13907–17.
5. Suzue T. Respiratory rhythm generation in the in vitro brain stem-spinal cord preparation of the neonatal rat/T. Suzue // *J Physiol*. – 1984 – 354 – P. 173–83.
6. Bissonnette J. M. Mechanisms regulating hypoxic respiratory depression during fetal and postnatal life / J. M. Bissonnette // *Am J Physiol Regul Integr Comp Physiol*. – 2000. – 278(6) – R1391–400.
7. Powell G. L. Developmental nicotine exposure disrupts dendritic arborization patterns of hypoglossalmotoneurons in the neonatal rat / G. L. Powell, J. Gaddy, F. Xu, R. F. Fregosi, R. B. Levine // *Dev Neurobiol*. – 2016. – 76(10) – P. 1125–37.
8. Cheung E. Compliance of the respiratory system in newborn and adult rats after gestation in hypoxia / E. Cheung, N. Wong, J. P. Mortola // *J. Comp. Physiol*. – 2000. – Vol. 170(3). – P. 193–199.
9. Hu H. Prenatal nicotine exposure alters the response of the mouse in vitro respiratory rhythm to hypoxia / H. Hu, A. Brahmabhatt, R. Upadhyaya, D. Vega, A. A. Hill // *Respir Physiol Neurobiol*. – 2012. – 181(2) – P. 234–47.
10. Pendlebury J. D. Respiratory control in neonatal rats exposed to prenatal cigarette smoke / J. D. Pendlebury, R. J. Wilson, S. Bano, K. J. Lumb, J. M. Schneider, S. U. Hasan // *American journal of respiratory and critical care medicine*. – 2008. – 177(11) – P. 1255–61.
11. Ekblad M. Smoking during pregnancy affects fo et. al brain development / M. Ekblad, J. Korkeila, L. Lehtonen // *ActaPaediatr*. – 2015. – 104(1) – P. 12–8.
12. Porzionato A. Central and peripheral chemoreceptors in sudden infant death syndrome / A. Porzionato, V. Macchi, R. De Caro // *J Physiol*. – 2018. – 596(15) – P. 3007–3019.

THE IMPORTANCE OF PRENATAL PASSIVE SMOKING FOR THE DEVELOPMENT OF CENTRAL RESPIRATORY REGULATION MECHANISM IN NEWBORN RATS IN VITRO

Bolychevsky S. E., Zinchenko E. A., Miroshnichenko I. V.

*Orenburg State Medical University, Orenburg, Russia
E-mail: singlsb@gmail.com*

In the prenatal period, neural networks undergo the most significant morphological changes and subsequent functional transformations. The influence of a combination of factors of passive tobacco smoking to the development of the central mechanisms of respiratory control in the prenatal period remains unexplored. The present study was

devoted to the study of the prenatal effect of passive smoking factors on the functioning of the central mechanisms of respiratory control in newborn rat. The study was carried out on 107 isolated brain stem-spinal cord preparations of the brain of newborn white outbred rats in vitro. Passive smoking was modeled by fumigating experimental animals with cigarette smoke. To simulate the hypercapnic effect, the bulbospinal preparations were perfused for 10 minutes with a solution of artificial cerebrospinal fluid with a saturated gas mixture, consisting of 10 % CO₂ and 90 % O₂; to simulate hypoxic exposure, the preparations were irrigated with a solution of artificial cerebrospinal fluid with a saturated gas mixture for 20 minutes 5 % CO₂ and 95 % N₂. As a result of the study, it was found that in newborn rats that underwent prenatal passive smoking, there is a high frequency of generation of inspiratory discharges, a shift in the spectral power density peaks of respiratory discharges in both ranges towards low frequencies, a decrease in their power, a decrease in the amplitude and a shorter duration of inspiratory discharges. in comparison with intact animals. A feature of the reaction to hypoxia in newborn rats who have undergone prenatal passive smoking is a late formation of the hypoxic depression of respiratory rhythm, reaction to hypercapnia characterized by no reduction in duration respiratory cycle. Thus performed by us research shows that prenatal secondhand smoke affects the mechanism of formation of the respiratory rhythm and pattern and also modifies the respiratory response to change in the partial tension of respiratory gases in cerebrospinal fluid in vitro.

Keywords: newborn rats, respiratory center, in vitro, passive smoking, brain stem-spinal cord preparations, hypoxia, hypercapnia.

References

1. Jaiswal S. J., Buls Wollman L., Harrison C. M., Pilarski J. Q., Fregosi R. F., Developmental nicotine exposure enhances inhibitory synaptic transmission in motor neurons and interneurons critical for normal breathing, *Developmental neurobiology*. (2015).
2. Huang Y. H., Brown A. R., Cross S. J., Cruz J., A.Rice J., Stuti, F. Ralph, J. Influence of prenatal nicotine exposure on development of the ventilatory response to hypoxia and hypercapnia in neonatal rats, *Appl Physiol.*, **109**, 149 (2010).
3. Huang Z. G., Griffioen K. J., Wang X, Dergacheva O., Kamendi H., Gorini C., Bouairi E., Mendelowitz D. Differential control of central cardiorespiratory interactions by hypercapnia and the effect of prenatal nicotine, *J Neurosci.*, **26(1)**, 21 (2006).
4. Eugenín J., Otarola M., Bravo E., Coddou C. Prenatal to early postnatal nicotine exposure impairs central chemoreception and modifies breathing pattern in mouse neonates: a probable link to sudden infant death syndrome, *Neurosci.*, **28(51)**, 13907 (2008).
5. Suzue T. Respiratory rhythm generation in the in vitro brain stem-spinal cord preparation of the neonatal rat, *J Physiol.*, **354**, 173 (1984).
6. Bissonnette J. M. Mechanisms regulating hypoxic respiratory depression during fetal and postnatal life, *Physiol Regul Integr Comp Physiol.*, **278(6)**, R1391 (2000).
7. Powell G. L. Gaddy J., Xu F., Fregosi R., Levin R. B. Developmental nicotine exposure disrupts dendritic arborization patterns of hypoglossal motoneurons in the neonatal rat, *Dev Neurobiol.*, **76(10)**, 1125 (2016).
8. Cheung E., Wong N., Mortola J. P. Compliance of the respiratory system in newborn and adult rats after gestation in hypoxia, *J. Comp. Physiol.*, **170(3)**, 193 (2000).
9. Hu H., Brahmabhatt A., Upadhyaya R., Vega D., Hill A. A. Prenatal nicotine exposure alters the response of the mouse in vitro respiratory rhythm to hypoxia, *Respir Physiol Neurobiol.*, **181(2)**, 234 (2012).

10. Pendlebury J. D., Wilson R. J., Bano S., Lumb K. J., Schneider J. M., Hasan S. U. Respiratory control in neonatal rats exposed to prenatal cigarette smoke, *American journal of respiratory and critical care medicine.*, **177(11)**, 1255 (2008).
11. Ekblad M., Korkeila J., Lehtonen L. Smoking during pregnancy affects fo et. al brain development, *ActaPaediatr.*, **104(1)**, 12 (2015).
12. Porzionato A., Macchi V., De Caro R. Central and peripheral chemoreceptors in sudden infant death syndrome, *J Physiol.*, **596(15)**, 3007 (2018).

УДК 574.34(58.009)

**ОНТОГЕНЕТИЧЕСКАЯ СТРУКТУРА ПОПУЛЯЦИЙ
PULSATILLA HALLERI (ALL.) WILLD. *SUBSP. TAURICA* (JUZ.) K. KRAUSE
В ФИТОЦЕНОЗАХ ГОРНОГО КРЫМА**

Вахрушева Л. П.

*Таврическая академия (структурное подразделение) ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет имени В. И. Вернадского», Симферополь, Республика Крым, Россия
E-mail: vakhl@inbox.ru*

В фитоценозах петрофитных степей, исследованных в Горном Крыму, эндемичный подвид *Pulsatilla halleri* (All.) Willd. *subsp. taurica* (Juz.), K. Krause. по фитоценотической роли – доминант или содоминант, развивает проективное покрытие 9–20 %, имеет коэффициент встречаемости 56–77 %; плотность особей в популяциях колеблется от $2,1 \pm 0,4$ (№2) до $5,2 \pm 0,6$ (№1) и $6,8 \pm 1,3$ (№3) на 1 м². Онтогенетические спектры популяции № 1 и № 3 – нормальные, полночленные, мономодальные; по «дельта-омега» популяция № 1 – молодая, приближающаяся к зреющей; № 3 – почти зрелая. Спектр популяции № 2 – неполночленный (отсутствуют проростки), бимодальный, по «дельта-омега» популяция – зреющая. Онтогенетические спектры всех популяций имеют левостороннюю тенденцию. **Ключевые слова:** *Pulsatilla halleri* (All.) Willd. *subsp. taurica* (Juz.), K. Krause, популяция, фитоценоз, доминант, содоминант, онтогенетический спектр.

ВВЕДЕНИЕ

Pulsatilla halleri (All.) Willd. *subsp. taurica* (Juz.), K. Krause – эндемичный подвид, спорадично распространенный на сухих каменистых склонах, по опушкам сосновых и дубовых лесов Горного Крыма [1, 2]. По основной биоморфе – травянистый поликарпик, по экоморфе – ксеромезофит, литофит, гелиофит [3]. Произрастает в нижнем, чаще – в среднем и верхнем поясах Горного Крыма и горно-луговых степях яйл [4]. В Республике Крым природоохранный статус *Pulsatilla halleri subsp. taurica* соответствует III категории и охраняется в Ялтинском горно-лесном, Карадагском природных заповедниках; национальном парке «Крымский» (в прошлом – природный заповедник), в государственных природных заказниках «Большой каньон Крыма», «Урочище Караби-яйла», «Горный карст Крыма» [4]. Однако наличие природоохранного статуса у таксона и, даже сочетание его с заповедным статусом мест произрастания, не является достаточным для сохранения исчезающих видов растений, т. к. внутривидовые процессы вносят постоянные изменения в состояние фитоценозов и произрастающих в них популяций. Главной угрозой для генофонда редких и исчезающих видов на сегодняшний день остается антропогенная трансформация окружающей среды и фрагментация местообитаний, приводящая к уменьшению объема и численности популяций, с последующей их изоляцией [5].

Для эффективной организации охраны редких видов растений необходимо выяснение реального состояния локальных популяций. Для эндемичных таксонов сокращение численности популяций приводит к невосполнимой утрате видового разнообразия, потере структурных признаков самой популяции, к нарушению ценотической регуляции. Таким таксоном является *Pulsatilla halleri* (All.) Willd. *subsp. taurica* (Juz.) K. Krause, произрастающий в уникальных, но, нередко, антропогенно трансформированных условиях Горного Крыма, особенно в его предгорной части. Исследование *Pulsatilla halleri* (All.) Willd. *subsp. taurica* (Juz.) K. Krause на популяционном уровне было начато в 2004 г. [6, 7], биолого-экологические данные о виде обобщены в очерках [4]. Основным угрожающим фактором продолжает оставаться антропогенный: высокодекоративные цветки прострелов уничтожаются при сборе на букеты, выкапываются с корневой системой с целью дальнейшей продажи, горно-склоновые местообитания сон-травы разрушаются при террасировании склонов и при строительстве карьеров [8]. Данные о современной численности популяций и сведения, в первую очередь, об особенностях их онтогенетической структуры необходимы для получения полной популяционной характеристики вида и принятия необходимых мер, в случае обнаружения признаков регресса в их состоянии. Цель данного исследования – провести геоботаническое изучение фитоценозов, в составе которых произрастает *Pulsatilla halleri* (All.) Willd. *subsp. taurica* (Juz.) K. Krause, определить ценотическую роль эндемичного субтаксона, установить численность, плотность и современную онтогенетическую структуру его популяций в фитоценозах Горного Крыма.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Объектом исследования являются три популяции *Pulsatilla halleri* (All.) Willd. *subsp. taurica* (Juz.): популяция № 1 – произрастает в южной части окрестностей г. Симферополь, на восточном склоне куэсты; популяция № 2 – на восточном склоне Долгоруковской яйлы; популяция № 3 – на вершине, переходящей в юго-восточный склон останца (окр. с. Дружное Белогорского района). Геоботаническое исследование фитоценозов включало выявление флористического состава, проективного покрытия, встречаемости [9]. Численность и плотность особей вида устанавливались по общепринятым методам [10, 11]. На основе качественно-количественных морфологических признаков [6] производился подсчет особей разных возрастных состояний *P.halleri subsp. taurica* в 3 популяциях. Полученные возрастные спектры популяций анализировались по известным методикам [12, 13], производился расчет возрастности (Δ) и эффективной плотности популяций (ω) [14].

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Фитоценозы, избранные для изучения, характеризуются произрастанием в них *P.halleri subsp. taurica* в значительной численности. Популяция № 1 исследовалась на восточном равнинно-волнистом склоне куэсты (крутизна 20–30°), в окрестностях г. Симферополь, на щебнистом черноземе (рис. 1). Площадь популяции составляет

927 м², численность *P.halleri subsp. taurica* – 4820 особей. В составе фитоценоза были обнаружены 50 видов из 14 семейств и 44 родов. Наиболее богаты видами семейства Роасеае (8 видов/16 %), Lamiaceae (8/16 %), Asteraceae (5/10 %). Проективное покрытие травостоя соответствует 70 %, из которых 15 % приходится на *P.halleri subsp. taurica*. Рангу содоминантов соответствуют *Teucrium chamaedrys* с проективным покрытием 14 %, а также *Festuca rupicola* и *Teucrium polium*, занимающие по 12 % площади. *P.halleri subsp. taurica* принадлежит ко II классу встречаемости (R=77 %). Следуя доминантной концепции синтаксономии, фитоценоз относится к ассоциации Pulsatilletum teucrieto-festucosum.



Рис.1. Популяция № 1 в составе асс. Pulsatilletum teucrieto-festucosum (Фото С. П. Иванова)

Популяция № 2 произрастает на скалисто-каменистой почве восточного склона крутизной 45°, на Долгоруковской яйле, занимая площадь 126 м² (рис. 2). Фитоценоз включает 53 вида цветковых растений из 11 семейств и 42 родов. В качестве доминирующих семейств выступают те же, что и в фитоценозе 1: Роасеае (11 видов/21 %), Lamiaceae (7/13 %), Asteraceae (6/11 %), а также Brassicaceae (6/11). Помимо травянистых растений, на участке встречаются карликовые деревья *Sorbus taurica* Zinserl., а по периферии пробной площади заросли кустарников из *Cotoneaster melanocarpus* Fisch.ex Blytt. и *Jasminum fruticans* L. На момент цветения прострела (февраль-середина апреля) поверхность почвы была свободна от большинства цветковых растений, но частично покрыта лишайниками из рода *Cladonia* L. и мхом *Tortula ruralis* (Hedw.) Crome. *Pulsatilla halleri subsp. taurica* относится к III классу встречаемости (R=56 %), общая численность особей в пределах популяции 265. Фитоценоз № 2 имеет проективное покрытие травостоя 72 %. Доминантную нишу в сообществе занимает *Festuca rupicola* с покрытием 14%, проективное покрытие *Teucrium chamaedrys* – 12 % и *P. halleri subsp. taurica* –

9 %, что позволяет отнести их к содоминантам и определить ассоциацию как *Festucetum teucrieto-pulsatillosum*.



Рис. 2. Популяция № 2 в составе асс. *Festucetum teucrieto-pulsatillosum* (Фото автора)

На вершине останца, расположенного к западу от Долгоруковской яйлы (административное положение – окр. с. Дружное Симферопольского района), изучалась популяция № 3 (рис. 3), занимающая площадь 280 м². Фитоценоз с этой популяцией объединяет 33 вида растений из 11 семейств и 29 родов. Преобладают по числу видов семейства: Poaceae (8 видов/24 %), Lamiaceae (7/21 %) и Fabaceae (4/12 %). Травостой достаточно однообразный, но с самыми высокими значениями проективного покрытия: общее – 93 %, *P. halleri subsp. taurica* достигает 20 % – наивысшее из всех 3-х изученных фитоценозов, *Festuca rupicola* и *Elytrigia stipifolia* имеют 16 и 15 %, соответственно, и 29 % – у *Carex humilis*. В 3-м, как и во 2-м фитоценозе доминирующей ценогической группой являются степанты: *Festuca rupicola*, *Elytrigia stipifolia*, *Koeleria cristata*, *Carex humilis*. Именно ценоморфа степантов обладает наиболее широким диапазоном экологической амплитуды, что позволяет этой группе выживать в суровых климатических условиях с сильными ветрами, сухостью и низким плодородием каменистых почв. Популяция *P. halleri subsp. taurica* в фитоценозе № 3 по значению коэффициента встречаемости ($R=74\%$) соответствует 2 классу, численность составляет 265 особей. Наряду с прострелом, в этот же класс входят *Festuca rupicola*, *Elytrigia stipifolia*, *Teucrium polium*, *Carex humilis*. На основании количественного участия видов в составе фитоценоза он отнесен к ассоциации *Pulsatilletum caricosum*.



Рис.3. Популяция № 3 в асс. Pulsatilletum caricosum (Фото автора)

Онтогенетическая структура популяций *P. halleri subsp. taurica*

Исследование возрастной структуры популяций *P. halleri subsp. taurica* проводилось в вегетационные сезоны 2019–20 г.г., что позволило установить следующие показатели плотности популяций и соотношения в них возрастных состояний (табл. 1).

Таблица 1

Демографические данные о популяциях *P. halleri subsp. taurica*

Номер популяции	Участие, %								Плотность особей, шт./м ²
	Возрастное состояние								
	<i>p</i>	<i>j</i>	<i>im</i>	<i>v</i>	<i>g₁</i>	<i>g₂</i>	<i>g₃</i>	<i>s</i>	
Популяция №1	5,5	4,5	17,3	16,0	43,6	9,0	1,8	2,3	5,2 ±0,6
Популяция №2	0,0	3,6	7,1	37,5	32,1	3,6	7,2	8,9	2,1 ±0,4
Популяция №3	3,6	6,4	25,5	21,8	9,1	30,0	1,8	1,8	6,8 ±1,3

Для получения интегральной характеристики возрастной структуры конкретной видовой популяции [13] были построены онтогенетические спектры для трех изученных популяций *P. halleri subsp. taurica* (рис. 4). Все популяции являются

нормальными, полночленными, за исключением популяции № 2, т.к. в ее составе отсутствуют проростки.

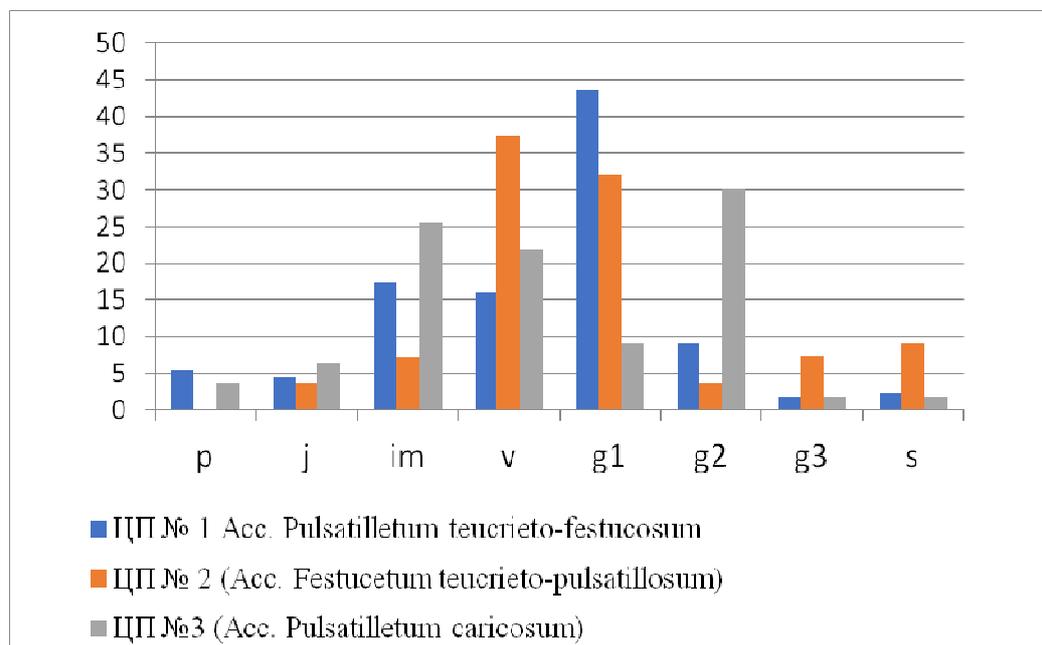


Рис. 4. Онтогенетические спектры популяций *P. halleri subsp. taurica* в составе 3-х ассоциаций.

Онтогенетический спектр популяции № 1 – мономодальный, с преобладанием генеративных особей, причем максимум приходится на молодые генеративные растения (рис. 4). Растений прегенеративного возраста также достаточно: в сумме их участие составляет 43 %, что говорит об оптимальности условий для успешности семенного возобновления и достаточной выживаемости молодых растений. По соотношению числа особей прегенеративных и генеративных возрастных состояний (1:1,3), возможно констатировать некоторую сбалансированность возрастной структуры данной популяции. Если таковой баланс сохранится в данном месте практически неизменным (до изменения условий существования), то популяцию № 1 есть основания отнести к дефинитивной.

Для популяции № 2 отмечается двувёршинный онтогенетический спектр, в котором абсолютный максимум приходится на особи виргинильного возраста, а также небольшой пик – на молодые генеративные растения (рис. 4). Установленная неполночленность популяции говорит о возможности ее самоподдержания в некоторые сезоны за счет вегетативного размножения. В таком случае положение абсолютного максимума зависит от наличия постоянного запаса зачатков в почве, а процессы самоподдержания популяции могут быть обеспечены только лишь при глубоком омоложении дочерних партикул, что у *P. halleri subsp. taurica* бывает

довольно редко. Количество атмосферных осадков в последние пять лет в Горном Крыму в среднем было ниже на 300 мм в год [15], чем в предыдущий, более влажный период. Это дает основания утверждать, что нарушены оптимальные условия для прорастания семян. Кроме того, полученный спектр также показывает, что популяция и в прошлом неоднократно переживала крайне неблагоприятные периоды своего существования, что обусловило малое число ювенильных и иматурных растений, а также своеобразный количественный «провал» особей зрелого возрастного состояния. Соотношение числа особей прегенеративных и генеративных возрастных состояний в популяции № 2 выглядит как 1:1 (без учета сенильных растений), т.е. вполне оптимистично для прогноза о ее будущем и свидетельствует, что *P. halleri subsp. taurica*, хотя и имеет в отдельные сезоны значительные потери особей различных возрастных состояний, но в целом хорошо адаптирована к экстремальному климату яйлы.

Популяция № 3 проявляет в онтогенетическом спектре заметную левостороннюю тенденцию и является, как и популяция № 1, полночленной (рис. 4). Четко выраженный пик отмечается на особях среднего генеративного возраста, менее выраженный на иматурных, которым в численности мало уступают и виргинильные растения. Наличие более двух максимумов в спектре свидетельствует о всплеске инспермации в некоторые периоды развития популяции, либо, наоборот, о ее кратковременном перерыве. Максимум на g_2 показывает хорошую вероятность как вегетативного, так и семенного возобновления, что и выразилось в полночленности онтогенетического спектра. Соотношение числа особей прегенеративных и генеративных возрастных состояний в популяции № 3 выглядит как 1,4:1 (без учета сенильных растений). Резкое уменьшение численности особей постгенеративного периода во всех популяциях *P. halleri subsp. taurica* связано с отмиранием большей их части в старом генеративном возрасте, особенно в засушливые годы.

На основе полученных онтогенетических спектров были рассчитаны коэффициенты возрастности (Δ), индексы эффективности (ω), а также изученные популяции *P. halleri subsp. taurica* классифицированы по критерию «дельта-омега» (табл. 2, рис. 5).

Небольшой диапазон коэффициента возрастности и его невысокие значения (табл. 2) свидетельствуют о заметной общей доле особей молодой части популяции. Полученные значения критерия «дельта-омега» позволяют в нашей выборке выделить 2 типа популяций: популяция № 1 – молодая, но по значениям «дельта-омега» близка к зреющей; популяции № 2 и № 3 по значению этого же критерия – зреющие, при этом популяция № 2 – уже близка к зрелым (табл. 2). Такое положение в классификации, вероятнее всего, объясняется заметным наличием во всех популяциях достаточного количества молодых особей, но при сохранении преобладающего числа генеративных растений.

Таблица 2

Характеристики популяций *P. halleri subsp. taurica* по онтогенетическим индексам

Номер популяции	Индекс возрастности (по А. А. Уранову)	Индекс эффективности (по Л. А. Животовскому)	Тип популяции по классификации «дельта-омега»
	Δ	ω	
Популяция №1	0,23	0,55	Молодая
Популяция №2	0,31	0,96	Зреющая
Популяция №3	0,26	0,61	Зреющая

Классификация «дельта-омега» дополняет характеристику популяций и показывает перспективу развития каждой из них (рис. 5).

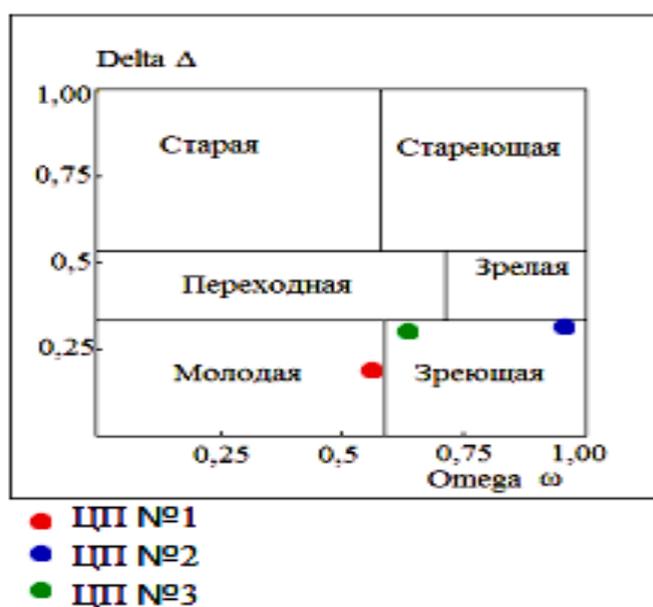


Рис. 5. Классификация популяций *P. halleri subsp. taurica* по критерию «дельта-омега»

В данном случае критерий «дельта-омега» подтвердил характеристику популяций, полученную по критериям, приведенным в табл. 2.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Изученные фитоценозы с произрастанием *Pulsatilla halleri subsp. taurica* занимают площади от 280 м² (№ 3) до 927 м² (№ 1) и популяции вида достигают следующей численности: № 1 – 4820 особей, № 2 – 265 особей и № 3 – 1904. Плотность особей колеблется от минимальной 2,1 ± 0,4 (№2) до 5,2 ± 0,6 (№ 1) и 6,8 ± 1,3 на 1 м².
2. *Pulsatilla halleri subsp. taurica* по фитоценотической роли в исследуемых сообществах является доминантом или содоминантом, развивая в каждом из фитоценозов проективное покрытие от 9 до 20 % и показывая достаточно равномерное распределение, поскольку принадлежит ко II и III классам встречаемости.
3. Онтогенетический спектр популяции № 1 – нормальный, полночленный, мономодальный; по классификации «дельта-омега» популяция молодая, приближающаяся к зреющей; спектр популяции № 2 – неполночленный (отсутствуют проростки), бимодальный (пики на виргинильных и молодых генеративных особях), по «дельта-омега» – зреющая. Спектр популяции № 3 – нормальный, полночленный, мономодальный с численным преобладанием имматурных и средневозрастных генеративных особей, по индексу возрастности – почти зрелая.
4. Наибольшая антропогенная угроза существует для популяции № 1, т.к. рядом с ней (на расстоянии 50 м), на плато куэсты, в 2019 г. появились участки под индивидуальную застройку территории. Популяция на Долгоруковской яйле произрастает в самых экстремальных экотопических условиях, поэтому ее развитие в будущем зависит от динамики структурно-функциональных и адаптивных реакций особей популяции. Возрастные спектры всех популяций имеют левостороннюю тенденцию, что дает надежду на их успешное существование, при малой вариабельности внешних условий.

Список литературы

1. Определитель высших растений Крыма / под ред. Рубцова Н. И. – Ленинград: изд-во Наука, 1972. – 549 с.
2. Ена Ан. В. Природная флора крымского полуострова / Ан. В. Ена. – Симферополь: изд-во Н. Орианда, 2012. – 231 с.
3. Голубев В. Н. Биологическая флора Крыма / В. Н. Голубев – Второе изд. – Ялта: ГНБС, 1996. – 96 с.
4. ККРК Красная книга Республики Крым: Растения, водоросли и грибы / Отв. ред. д.б.н., проф. А. В. Ена и к.б.н. А. В. Фатерыга. – Симферополь: ООО «ИТ «АРИАЛ», 2015. – 480 с.
5. Schnabel A. Conservation genetics and evolutionary history of *Gleditsia caspica*: Inferences from allozyme diversity in populations from Azerbaijan. / Schnabel A., Krutovskii K. V. // Conservation Genetics – 2004. – 5. – 195–204.
6. Вахрушева Л. П. Возрастная структура ценопопуляции *Pulsatilla taurica* на Долгоруковской яйле (Крым) // Л. П. Вахрушева, О. Л. Имрякова // Матер. III науч. Конф. «Заповедники Крыма. Биоразнообразие, экоразнообразие». Ч. 1, география, 2005. – С.151–154.

7. Вахрушева Л. П. Состояние ценопопуляций *Pulsatilla taurica* Juz. в условиях естественного и антропогенно преобразованного экотопа // Л. П. Вахрушева. // Междунар. научная конференция «Проблемы биологии, экологии, географии и образования: история и современность», Санкт-Петербург, 4–7 июля, 2008. – С. 22–25.
8. Флора восточной Европы / ред Н. Н. Цвелев. – С.-Петербург: Мир и семья – 95,1996. – Т. IX. – С. 315–316.
9. Шенников А. П. Введение в геоботанику. / Шенников А. П. – Л., 1964. – 447 с.
10. Работнов Т. А. Жизненный цикл многолетних травянистых растений в луговых ценозах / Т. А. Работнов // Труды БИН АН СССР; Сер. 3. Геоботаника. – М.; Л., 1950. – Вып. 6. – С. 179–196.
11. Злобин Ю. А. Популяционная экология растений: современное состояние, точки роста / Ю. А. Злобин. – Сумы: Университетская книга, 2009. – 266 с.
12. Уранов А. А. Возрастной спектр фитоценопопуляций как функция времени и энергетических волновых процессов / А. А. Уранов // Научные доклады высшей школы. Биологические науки. – 1975. – No 2. – С. 7–34.
13. Заугольнова Л. Б. Ценопопуляции растений (очерки популяционной биологии). / Заугольнова Л. Б., Жукова Л. А., Комаров А. С., Смирнова О. В. – М., 1988. – 184 с.
14. Животовский Л. А. Онтогенетические состояния, эффективная плотность и классификация популяций растений / Л. А. Животовский // Экология. – 2001. – № 1. – С. 3–7.
15. http://www.pogodaiklimat.ru/history/33958_2.htm

**ONTOGENETIC STRUCTURE OF *PULSATILLA HALLERI* (ALL.) WILLD.
SUBSP. TAURICA (JUZ.) K. KRAUSE POPULATIONS IN PHYTOCOENOSIS OF
CRIMEAN MOUNTAIN**

Vakhrusheva L. P.

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

Pulsatilla halleri (All.) Willd. subsp. *taurica* (Juz.), K. Krause – an endemic subspecies, sporadically distributed on dry rocky slopes, along the edges of pine and oak forests of Mountain Crimea. The purpose of this study is to conduct a geobotanical study of phytocoenosis in which *P. halleri* (All.) Willd. subsp. *taurica* (Juz.) K. Krause grows, to determine the coenotic role of the endemic subtaxon, to establish the number, density and modern ontogenetic structure of its populations in the phytocoenosis of the Mountainous Crimea.

The object of the study is three populations of *Pulsatilla halleri* (All.) Willd. subsp. *taurica* (Juz.). Population No. 1 was studied on the eastern flat-wavy slope of cuesta (steepness 20–30 °), near of Simferopol. The population area is 927 m², the abundance of *P. halleri* subsp. *taurica* – 4820 individuals. The phytocoenosis included 50 species from 14 families and 44 genus. The richest in species of the family Poaceae (8 species / 16 %), Lamiaceae (8/16 %), Asteraceae (5/10 %). The projective cover is 70 %, of which 15 % is *P. halleri* subsp. *taurica*. The rank of codominants corresponds to *Teucrium chamaedrys* with a projective cover of 14 %, as well as *Festuca rupicola* and *Teucrium polium*, each occupying 12 % of the area. *P. halleri* subsp. *taurica* belongs to the II class of occurrence

($R = 77\%$). Following the dominant concept of syntaxonomy, the phytocoenosis belongs to the *Pulsatilletum teucrietio-festucosum* association.

Population No. 2 grows on the rocky-stony soil of the eastern slope with a steepness of 45° , on the Dolgorukovskaya jaila, occupying an area of 126 m^2 (Fig. 2). The phytocoenosis includes 53 plant species from 11 families and 42 genus. Families predominate: Poaceae (11 species / 21%), Lamiaceae (7/13%), Asteraceae (6/11%), and Brassicaceae (6/11). *Pulsatilla halleri* subsp. *taurica* belongs to the III class of occurrence ($R = 56\%$), the total number of individuals in the population is 265. Phytocoenosis No. 2 has a projective cover of 72%. *Pulsatilla halleri* subsp. *taurica* – 9%, which makes it possible to classify them as codominants. Following the dominant concept of syntaxonomy the phytocoenosis belongs to the *Pulsatilletum teucrietio-festucosum* association.

At the top, located to the west of Dolgorukovskaya jaila (near village of Druzhnoe, Simferopol region), population No 3 was studied (Fig. 3), occupying an area of 280 m^2 . The phytocoenosis with this population unites 33 plant species from 11 families and 29 genus. Dominated by the number of species of the family: Poaceae (8 species / 24%), Lamiaceae (7/21%) and Fabaceae (4/12%). The grass stand is rather uniform, but with the highest projective cover values: total – 93%, *Pulsatilla halleri* subsp. *taurica* reaches 20% – the highest of all 3 studied phytocoenosis, *Festuca rupicola* and *Elytrigia stipifolia* have 16 and 15%, respectively, and 29% have *Carex humilis*. The *Pulsatilla halleri* subsp. *taurica* in phytocoenosis № 3 corresponds to class 2 in terms of the frequency of occurrence ($R = 74\%$), the number is 265 individuals. On the quantitative participation of species in the phytocoenosis, it was assigned to the *Pulsatilletum caricosum* association.

The ontogenetic spectrum of population No. 1 is monomodal, with a predominance of generative individuals (Fig. 4.). Plants of pregenerative age are sufficient: in total their participation is 43%. According to the ratio of the number of individuals of pregenerative and generative age states 1: 1,3.

Population No. 2 has a bimodal ontogenetic spectrum, in which the absolute maximum falls on individuals of virginal age, as well as a small peak – on young generative plants (Fig. 4.). There are few juvenile, immature and mature generative plants in the population.

The ratio of the number of individuals of pregenerative and generative age states in population No. 2 looks like 1: 1 (excluding senile plants), it is quite optimistic for the forecast of its future and indicates that *P. halleri* subsp. *taurica*, although it has significant losses in individual seasons of individuals of various age states, is generally well adapted to the extreme climate of the jaila.

Ontogenetic spectrum population No. 3 left-sided, full-member (Fig. 4.). The peak is observed in individuals of middle generative age, less pronounced on immature and virgin plants. The ratio of the number of individuals of pregenerative and generative age states in population No. 3 looks like 1.4: 1 (excluding senile plants)/

Age coefficients (Δ) and efficiency indices (ω) were calculated, as well as the studied populations of *P.halleri* subsp. *taurica* are classified according to the delta-omega criterion (table 2; Fig. 5). According to the "delta-omega" criterion, there are 2 types of populations in this sample: population No. 1 is young, according to the "delta-omega"

values, it is close to maturing; populations No. 2 and No. 3, according to the value of the same criterion, are maturing (table 2).

The greatest anthropogenic threat exists for population No. 1, because next to it (at a distance of 50 m), on the cuesta plateau, in 2019, plots for individual development of the territory appeared. The population on the Dolgorukovskaya jaila grows in the most extreme ecotopic conditions, therefore, the forecast of its development depends on the dynamics of the structural, functional and adaptive responses of individuals of the population. The age spectra of all populations have a left-sided tendency, which predicts their successful existence, with little variability of external conditions.

Keywords: *Pulsatilla halleri* (All.) Willd. subsp. *taurica* (Juz.), K. Krause, population, phytocenosis, dominant, codominant, ontogenetic spectrum.

References

1. Ed. Rubtsova N. I. *Key for higher plants of Crimea*, 549 p. (Publishing House of Science, Leningrad, 1972).
2. Yena A. V. *Spontaneous flora of the Crimean Peninsula*, 232 p. (N. Orianda, Simferopol, 2012).
3. Golubev V. N. *Biological flora of the Crimea*, 125 p (Yalta, NBS-NSC, 1996).
4. Ed. by Dr. Sci., Prof. Yena A. V. & Dr. Fateryg A. V., *Red book of the Republic of Crimea. Plants, algae and fungi*, 480 p (ARIAL LLC, Simferopol, 2015).
5. Schnabel A., Krutovskii, K. V. Conservation genetics and evolutionary history of *Gleditsia caspica*: Inferences from allozyme diversity in populations from Azerbaijan, *Conservation Genetics* **5**, 195 (2004).
6. Vakhrusheva L. P., Imrjakova O. L. Age structure of *Pulsatilla taurica* coenopopulation on Dolgorukovskaja jaila (Crimea), *III Scientific Conferense «Reserves of Crimea. Biodiversity, ecodiversity»*. P. 1, *geography*, 151 (2005).
7. Vakhrusheva L. P. State of *Pulsatilla taurica* Juz. coenopopulations in a natural and anthropogenically transformed, *International Scientific Conferense «Problems of biology, ecology, geography and education: history and modernity »*, 22 (St. Petersburg, July 4-7, 2008).
8. *Flora of Eastern Europe*, Ed. N. N. Tzvelev, **IX**, 315 (SPb .: Peace and Family-95, 1996).
9. Shennikov A. P. *Introduction to geobotany*, 447 p. (L., 1964).
10. Rabotnov T. A. The Life Cycle of Perennial Herbaceous Plants in Meadow Cenoses, *Works of BIN AN SSSR*, **3, 6, 7** (1950).
11. Zlobin Y. A., Sklyar V. G., Klimenko A. A. *Populations of rare plant species: theoretical foundations and research methods*, 263 p. (Universitetska kniga, Sumy, 2013)
12. Uranov A. A. Age range of coenopopulations as a function of time and energy wave processes, *Biological Sciences*, **2**, 7 (1975).
13. Zaugolnova L. B., Zhukova L. A., Komarov A. S., Smirnova O. V. *Coenopopulations of Plants (notes of population biology)*, 184 p. (M., 1988).
14. Zhivotovsky L. A. Ontogenetic states, effective density and classification of plant populations, *Ecology*, 21 (2001).
15. http://www.pogodaiklimat.ru/history/33958_2.htm

УДК 574

СИНАНТРОПНЫЙ КОМПОНЕНТ ЛУГОВОЙ ФЛОРЫ Г. КАЛУГИ

Евсеева А. А.

*ФГБОУ ВО «Калужский государственный университет им. К. Э. Циолковского», Калуга, Россия
E-mail: annahabarova@yandex.ru*

Одной из современных проблем изучения флоры, в частности городской, является процесс синантропизации, ведущий к ее обеднению, унификации. Данное явление опасно тем, что приводит к разрушению растительных сообществ и замена их малоустойчивыми растительными группировками, часто содержащими опасные виды растений. Исследование синантропного компонента луговых парциальных флор проходило в г. Калуге. В составе луговой флоры изученной территории Калуги порядка 26 % видов являются синантропными. Наиболее распространенным синантропом луговых местообитаний является *Artemisia vulgaris* L. Возможно, слабые связи луговых сообществ объясняются их спонтанным возникновением на территории города в нарушенных местообитаниях, где возникновение древесно-кустарниковой растительности затруднено в силу изменившихся гидрологических и прочих условий, и замещается антропогенными травяными сообществами. В растительных сообществах Калуги наибольшее обилие синантропных видов наблюдается на участках, популярных как рекреационные объекты и имеющих хорошую пешеходную доступность.

Ключевые слова: биологическое разнообразие, луговая флора, городские луговые сообщества, синантропизация флоры, ценофлора Калуги.

ВВЕДЕНИЕ

Флора города, как особой, максимально трансформированной антропогенной деятельностью экосистемы, и процессы, происходящие в ней, представляют отдельный интерес у флористов. С практической точки зрения этот вопрос также имеет большое значение, поскольку изменения, которые претерпевает аборигенная флора в условиях города, могут являться индикаторами качества и здоровья урбозекосистемы в целом, что важно для экологической оценки условий проживания людей [1, 2]. Растительность города при негативных процессах, протекающих в ней, не может качественно выполнять экосистемные функции и улучшать, таким образом, условия проживания людей [3]. Это делает актуальным вопрос изучения флористического состава городской флоры. Одной из современных проблем изучения флоры, в частности городской, является процесс синантропизации, ведущий к ее обеднению, унификации. Данное явление опасно тем, что приводит к разрушению растительных сообществ и замена их малоустойчивыми растительными группировками, часто содержащими опасные виды растений [4, 5].

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Исследование синантропного компонента луговых парциальных флор г. Калуги проходило в 2015 г. в рамках изучения флоры остаточных естественных растительных сообществ города. Было заложено 25 пробных площадок в разных частях города, их расположение представлено на рисунке 1.

Площадки посещались для исследования дважды за вегетационный сезон – в июне и августе, для более полного охвата произрастающей на них флоры. Весенние эфемероиды не учитывались, поскольку встречаются по территории города эпизодически, присутствуют не на всех площадках, выбранных для исследования, что затрудняет их анализ здесь с точки зрения синатропизации. Калуга находится в подзоне смешанных широколиственно-еловых лесов лесной зоны, это обуславливает небольшое распространение луговых экосистем в городе.

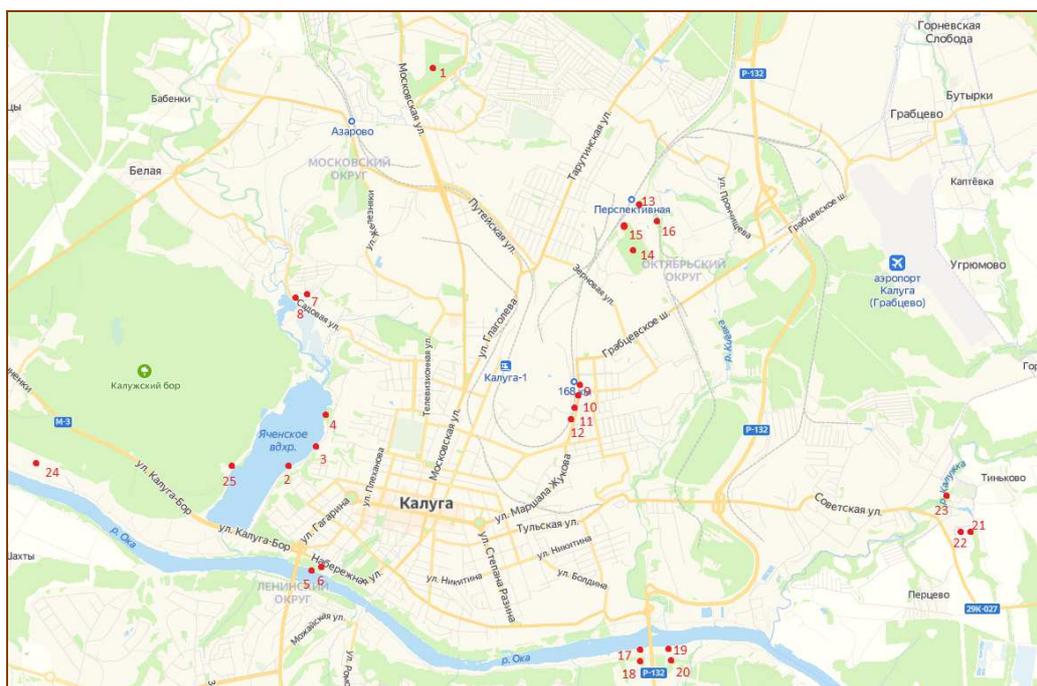


Рис. 1. Расположение площадок изучения луговых сообществ города Калуги.

Остаточные естественные пойменные луга в черте города распространены вдоль Оки, а также малых рек Калуги – Яченки и Калужки (площадки 4-7, 17-20, 23-25). Среди городских луговых сообществ, возникших спонтанно вследствие антропогенного изменения территории, можно выделить следующие типы местообитаний: олуговевшие неухоженные газоны, (площадки исследования 9-12), растительность, возникающая спонтанно на месте нарушенных антропогенной деятельностью участков городской территории (площадки исследования 2, 3, 8, 13-16), заброшенные сельскохозяйственные угодья (площадки 21-22 в микрорайоне

Ждамирово). Адвентивная фракция флоры установлена с помощью конспекта адвентивной флоры Калужской области А. В. Крылова [6, 7]. Обилие видов определялось классическими флористическими методами [8].

В целом, для городских флор характерны засухоустойчивые черты и олуговение [9], поэтому при количественном учете синантропного компонента был проведен сравнительный анализ луговых сообществ города с лесными (рис. 2).

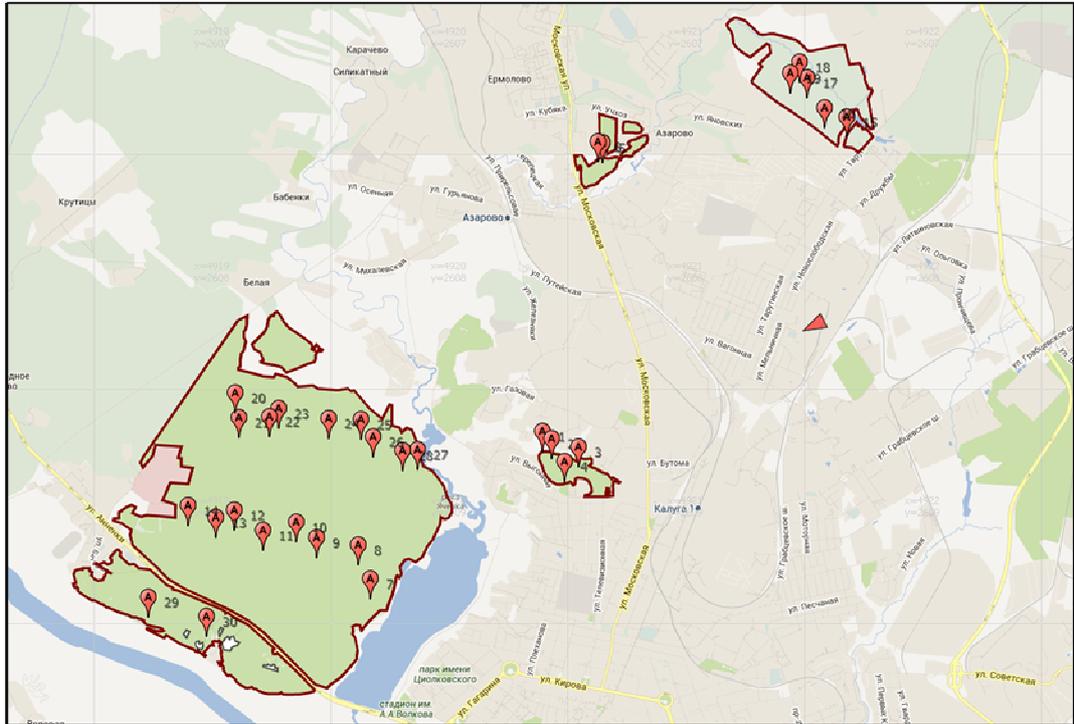


Рис. 2. Расположение площадок изучения лесных сообществ города Калуги.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

В составе луговой флоры изученной территории Калуги порядка 26 % – 69 видов из 266, – являются синантропными. Здесь выявлено 16 чужеродных видов флоры. Наиболее распространенным синантропным представителем луговых местообитаний является *Artemisia vulgaris* L. Достаточно высокую распространенность имеют следующие виды: *Artemisia absinthium* L., *Arctium tomentosum* Mill., *Carduus acanthoides* L., *Rumex confertus* Willd., *R. crispus* L., *Convolvulus arvensis* L., *Geum urbanum* L., *Plantago major* L., *Urtica dioica* L.

В травянистом ярусе лесных экосистем Калуги было выявлено всего 141 вид растений, из которых только 25 видов синантропных (17,7 %), включая 4 чужеродных (*Myosotis sylvatica* Ehrh. ex Hoffm., *Impatiens parviflora* DC., *I. glandulifera* Royle., *Viola odorata* L.). Наиболее распространенными из

СИНАНТРОПНЫЙ КОМПОНЕНТ ЛУГОВОЙ ФЛОРЫ Г. КАЛУГИ

синантропных здесь являются *Geum urbanum* L., *Urtica dioica* L., *Impatiens parviflora* DC., *Plantago major* L., *Chelidonium majus* L., *Taraxacum officinale* Wigg.

Выявленная разница может указывать на то, что лесные экосистемы, находясь в своей природной зоне, сдерживают распространение синантропных видов, не допускают их внедрение в лесные экосистемы. Сами же синантропные растения, тяготеют к интразональным засушливым, нарушенным местообитаниям, и охотнее распространяются в городских луговых экотопах. Меньшее содержание адвентивных видов в травянистом ярусе лесных экосистем может указывать на то, что они обладают более прочными внутривидовыми связями по сравнению с луговыми сообществами. Возможно, более слабые связи луговых сообществ объясняются их спонтанным возникновением на территории города в нарушенных местообитаниях, где возникновение древесно-кустарниковой растительности затруднено в силу изменившихся гидрологических и прочих условий, и замещается антропогенными травяными сообществами.

Количественное распространение синантропных видов на площадках в Калуге представлено на рисунках 3 и 4.

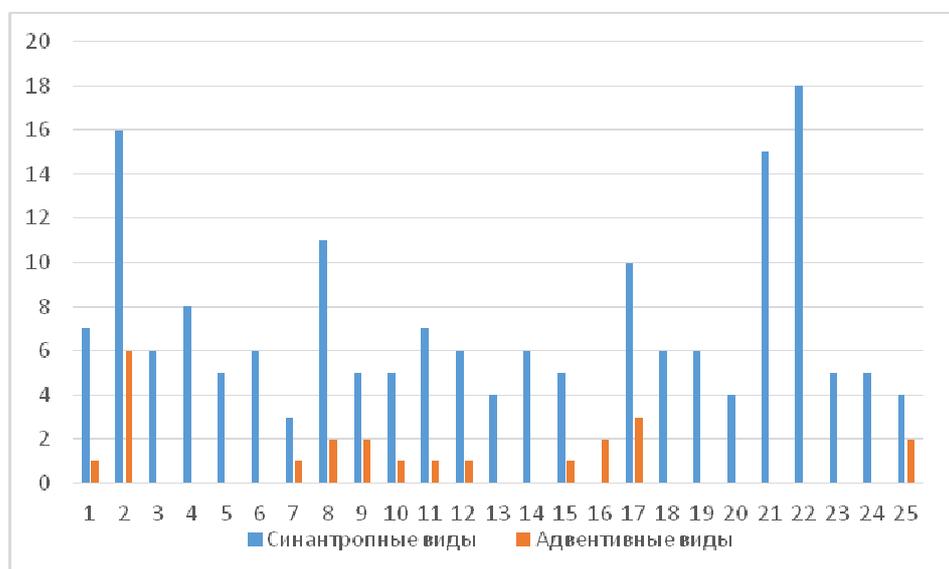


Рис. 3. Количество синантропных и адвентивных видов луговых экосистем в г. Калуге.

На гистограмме 3 выделяются площадки наибольшего содержания и синантропных, и адвентивных видов. Это площадки 2, 8, 17. Кроме того, высокое содержание сорных синантропных растений, но при отсутствии адвентивных, отмечается на площадках 21 и 22. Достаточно высокое содержание заносных видов также можно видеть на площадках 9 и 25, при относительно невысоком общем содержании синантропных растений. Площадка 2 имеет большую популярность у отдыхающих и как следствие высокую проходимость, что объясняет полученные

результаты. Площадка 8 примыкает к бытовой свалке, поэтому содержит большое количество видов нарушенных местообитаний, таких как *Tussilago farfara* L., *Taraxacum officinale* Wigg., *Plantago major* L., *Artemisia vulgaris* L., *Artemisia absinthium* L., *Rumex confertus* Willd. и др. Площадки 21 и 22 находятся в непосредственной близости к заброшенному сельскохозяйственному полю, поэтому включают большое число сорных растений, это *Erysimum cheiranthoides* L., *Berteroa incana* (L.) DC., *Ranunculus repens* L., *Chenopodium album* L. aggr., *Taraxacum officinale* Wigg., *Artemisia vulgaris* L., *Artemisia absinthium* L., *Rumex confertus* Willd., *Plantago major* L., *Capsella bursa-pastoris* (L.) Medik., *Barbarea arcuate* (Opiz ex J. et C. Presl) Reichenb., *Arcticum tomentosum* Mill., *Polygonum lapathifolium* L., *Thlaspi arvense* L.

Площадка 17 находится у уреза р. Оки, где естественная растительность довольно разреженная, возможно, поэтому здесь отмечается внедрение адвентивных видов (*Mentha x gentelis* L., *M. arvensis* x *M. aquatica*, *Xanthium albinum* (Widd.) H. Scholz, *Bidens frondosa* L.) которые могут проникать в данную экосистему по Оке («феномен Окской флоры» [10]). Площадка 9 примыкает к ж/д путям, известным местам распространения заносных видов, здесь отмечены *Bromopsis riparia* (Rehm.) Holub и *Solidago virgaurea* L. Площадка 25 располагается на суходольном лугу вблизи Яченского водохранилища, и, вероятно, так же как площадка 17, испытывает на себе феномен окской флоры. Здесь отмечены заносные *Oenothera biennis* L. и *Solidago virgaurea* L.

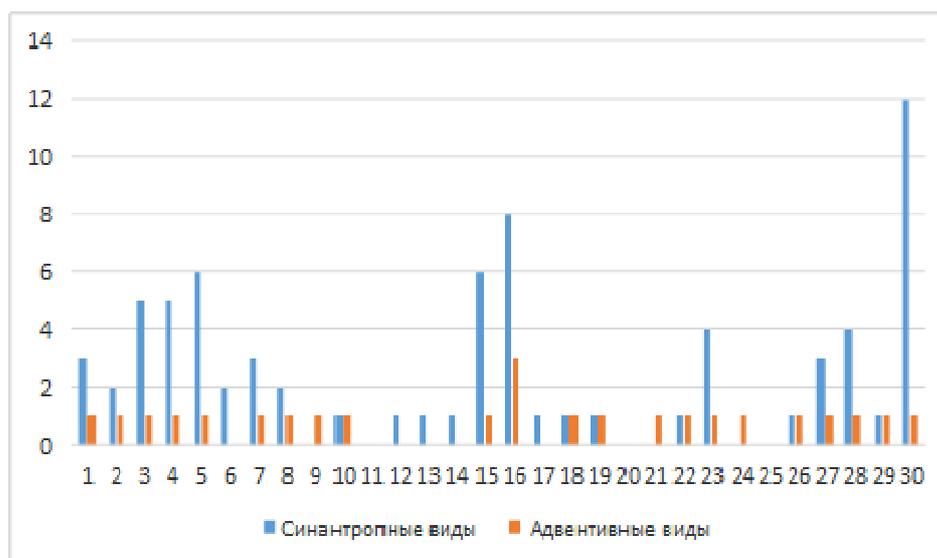


Рис. 4. Количество синантропных и адвентивных видов лесных экосистем в г. Калуге.

На гистограмме 4 видно площадки с наиболее высокими значениями присутствия синантропных видов (3-5, 15-16, 30). Все эти площадки исследования

располагаются в лесных объектах наиболее близко к жилым кварталам и имеют наибольшую пешеходную проходимость. Также на всех данных площадках присутствуют заносные виды. Другие же площадки наблюдений имеют значительно меньшее количество синантропных видов (17-19), а некоторые лишены адвентивных видов (площадка 17).

На площадках 11, 20 и 25 отсутствуют заносные виды. Эти площадки располагаются в Калужском городском бору, в глубине лесного массива.

В целом при сравнении гистограмм можно видеть большее количественное значение видов синантропных растений, отмечаемое на всех площадках луговых экотопов. Лесные экосистемы содержат меньшее количество синантропных растений, при чем некоторые площадки не содержат их в своем составе.

Обилие синантропной растительности в фитоценозах Калуги представлено на гистограммах рисунков 5 и 6. Площадки, имеющие максимальные значения по данному параметру (2-4), находятся в хорошей пешей доступности и пользуются популярностью, как рекреационные объекты. Площадка 8, как было сказано выше, находится вблизи свалки бытового мусора, что объясняет здесь высокое значение обилия синантропных растений. Высокое значение обилия синантропных видов также отмечается на площадках, расположенных у бывших сельскохозяйственных угодий (площадки 21 и 22).

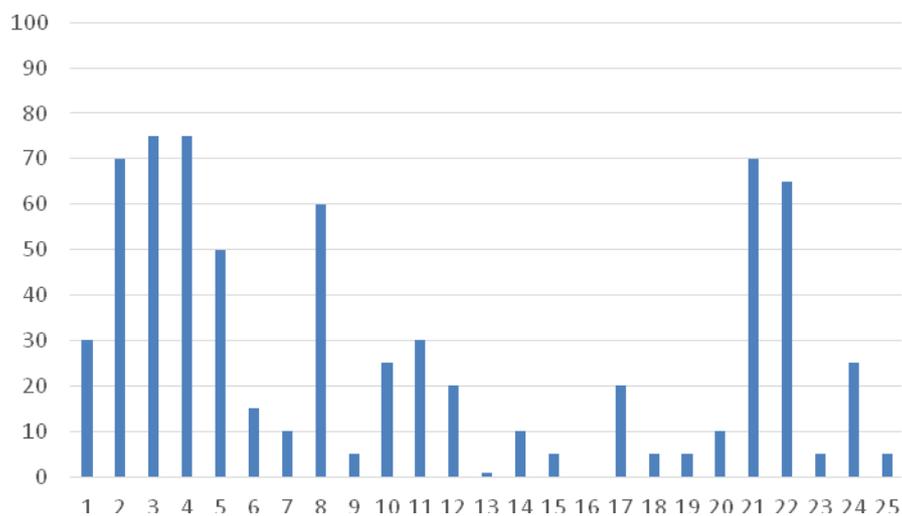


Рис. 5. Обилие синантропных видов луговых экосистем в г. Калуге, %.

При анализе обилия синантропных видов лесных экосистем в Калуге были выявлены участки леса, наиболее измененные синантропной растительностью (рис. 6). Площадки 1-4 располагаются в Комсомольской роще и имеют высокое обилие синантропных видов, что объясняется высокой популярностью рощи как зоны отдыха горожан. Данный объект относительно невелик, что не позволяет ему сохранять устойчивость и успешно сопротивляться рекреационной нагрузке. Все пики данного рисунка соответствуют площадкам с хорошей пешеходной

доступностью. Площадка 16 в лесу у микрорайона Ольговка находится в близости от дачных участков и испытывает высокую рекреационную нагрузку, что объясняет высокую синантропизацию ее флоры. Также высокие значения обилия синантропных видов отмечены на площадках 27, 28 и 30, располагающихся на участках Калужского городского бора, испытывающих высокую рекреационную нагрузку.

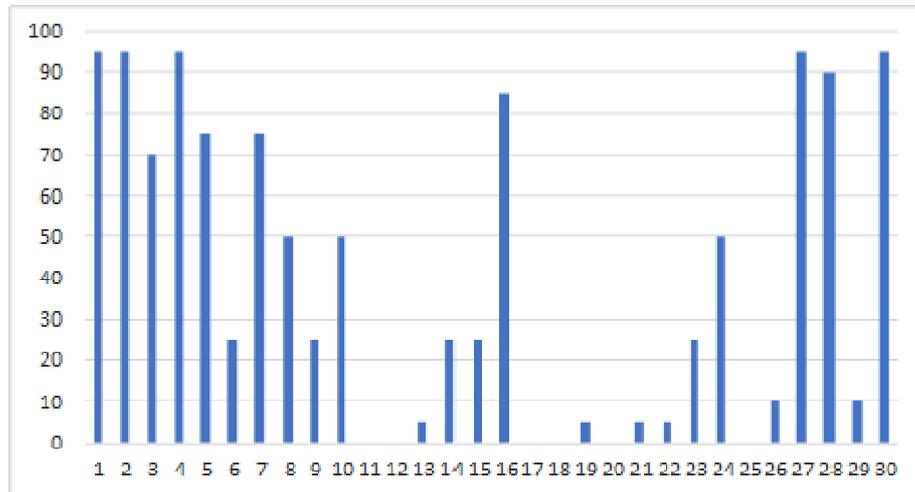


Рис. 6. Обилие синантропных видов лесных экосистем в г. Калуге, %.

На учетных площадках Калуги была выявлена корреляционная связь между количеством синантропных видов, в том числе адвентивных, и их обилием на площадках ($r_s = 0,773$, при $p \leq 0,01$).

Таким образом, и в лесных и в луговых растительных сообществах Калуги наибольшее обилие синантропных видов наблюдается на участках, популярных как рекреационные объекты и имеющих хорошую пешеходную доступность.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе настоящего исследования был установлен синантропный компонент луговой ценофлоры г. Калуги. Его анализ показал, что луговая растительность здесь имеет достаточно высокую степень синантропизации вследствие ее фитоценотической структуры и особенностей происхождения. При сравнительном анализе с синантропным компонентом лесных экосистем г. Калуги, обнаружилось значительно меньшее содержание его как по биоразнообразию, так и по обилию на площадках калужских городских лесов. Возможно, это объясняется тем, что исследованные лесные сообщества являются остаточными естественными, по сравнению со спонтанно возникшими олуговевшими городскими территориями, и уровень их сопротивления антропогенным процессам выше. Также пойменные остаточные естественные луга на городской территории отличаются флористическим составом, указывающим на их меньшую измененность. Кроме

того, в силу своих экологических условий, луговые экосистемы имеют более «южный характер», поэтому в них активнее распространяются заносные виды, что объясняет полученные результаты по более широкому распространению адвентивных видов в луговых экосистемах.

Список литературы

1. Инфантов А. А. Анализ флоры города Балашова / А. А. Инфантов // Вестник КрасГАУ. – 2009. – № 10 (37). – С. 72–77.
2. Стрельцов А. Б. Региональная система биологического мониторинга качества (здоровья) окружающей среды в Калужской области / А. Б. Стрельцов // Проблемы региональной экологии. – 2012. – №6. – С. 158–162.
3. Жигалов О. С. Мировые практики в сфере благоустройства и озеленения территорий и опыт по благоустройству и озеленения г. Москвы / О. С. Жигалов, И. А. Прохорова // Материалы Ивановских чтений. – 2017. – №1–1 (10). – С. 119–125.
4. Терехова Н. А. Синантропизация городской флоры как основная причина появления растений опасных для здоровья детей / Н. А. Терехова, А. А. Дерюгина // В сборнике: Новой школе – здоровые дети. Материалы VI Всероссийской научно-практической конференции. Отв. за выпуск Н. М. Кувшинова, И. В. Попков. – 2020. – С. 175–177.
5. Инфантов А. А. Особенности синантропной флоры города Балашова / А. А. Инфантов // Заметки ученого. – 2018. – № 8 (33). – С. 24–27.
6. Крылов А. В. Адвентивный компонент флоры Калужской области: натурализация видов / А. В. Крылов, Н. М. Решетникова // Ботанический журнал. – 2009. – Т. 94, №8. – С. 1126–1148.
7. Крылов А. В. Адвентивный компонент флоры Калужской области: динамика распространения видов / А. В. Крылов, Н. М. Решетникова // Ботанический журнал. – 2010. – Т. 95, №3. – С. 350–367.
8. Braun-Blanquet J. Pflanzensociologie. / Braun-Blanquet J. – Wien-N.Y., 1964. – 865 p.
9. Шадрин В. А. Особенности растительного покрова урбанизированной среды: флора / В. А. Шадрин // Наука Удмуртии. – 2018. – № 4 (86). – С. 106–115.
10. Решетникова Н. М. Калужская флора: аннотированный список сосудистых растений Калужской области / Н. М. Решетникова [и др.]. – М. : Товарищество науч. изданий КМК, 2010. – 549 с.

SYNANTHROPIC COMPONENT OF THE MEADOW FLORA OF KALUGA

Evseeva A. A.

*Kaluga State University named after K. E. Tsiolkovski, Kaluga, Russia
E-mail: annahabarova@yandex.ru*

One of the modern problems of studying flora, in particular urban flora, is the process of synanthropization, which leads to its impoverishment and unification. This phenomenon is dangerous because it leads to the destruction of plant communities and their replacement with low-resistant plant groups, often containing dangerous plant species. The study of the synanthropic component of meadow partial floras took place in Kaluga. The difference between the synanthropic component of meadow and forest urban ecosystems is revealed, indicating that forest ecosystems, being in their natural zone, restrain the spread of synanthropic species, do not allow their introduction into forest ecosystems. Forest ecosystems contain fewer synanthropic plants, and some sites do not contain them in their composition. The synanthropic plants themselves tend to be arid, disturbed habitats, and are more common in disturbed urban meadow ecotopes. The lower

content of adventitious species in the grassy layer of forest ecosystems may indicate that they have stronger intra-cenotic relationships compared to meadow communities. Perhaps, the weaker connections of meadow communities are explained by their spontaneous emergence on the territory of the city in disturbed habitats, where the emergence of tree and shrub vegetation is difficult due to changed hydrological and other conditions, and is replaced by anthropogenic grass communities. Both in the forest and meadow plant communities of Kaluga, the greatest abundance of synanthropic species is observed in areas that are popular as recreational facilities and have good pedestrian accessibility.

The analysis of the synanthropic component of the flora showed that the meadow vegetation of Kaluga has a fairly high degree of synanthropization due to its phytocenotic structure and features of origin. A comparative analysis with the synanthropic component of forest ecosystems revealed a significantly lower content of it both in terms of biodiversity and abundance on the sites of Kaluga urban forests. Also, the floodplain residual natural meadows in the urban area differ in their floral composition, indicating that they are less varied. In addition, due to their environmental conditions, meadow ecosystems have a more "southern character", so they are more actively distributed by introduced species, which explains the results obtained for a wider distribution of adventitious species in meadow ecosystems.

Keywords: biological diversity, meadow flora, urban meadow communities, synanthropization of flora, Kaluga coenoflora.

References

1. Infantov A. A. Analysis of the flora of the city of Balashov, *Vestnik KrasGAU [The Bulletin of KrasGAU]*, **10 (37)**, 72 (2009).
2. Streltsov A. B. Regional system of biological monitoring of environmental quality (health) in the Kaluga region, *Problemy regionalnoj ekologii [Problems of regional ecology]*, **6**, 158 (2012).
3. Zhigalov O. S. World practices in the field of landscaping and landscaping of territories and experience in landscaping and landscaping of Moscow, *Materialy Ivanovskix chtenij [Materials of the Ivanovo readings]*, **1-1 (10)**, 119 (2017).
4. Terekhova N. A., Deryugina A. A. Synanthropization of urban flora as the main reason for the appearance of plants dangerous for the health of children. *V sbornike: Novoj shkole - zdorovy'e deti. Materialy VI Vserossijskoj nauchno-prakticheskoj konferencii. Otv. za vy`pusk N.M. Kuvshinova, I.V. Popkov [In the collection: New school-healthy children. Materials of the VI All-Russian Scientific and Practical Conference. Rel. for the issue of N. M. Kuvshinov, I. V. Popkov]*, 175 (2020).
5. Infantov A. A. Features of the synanthropic flora of the city of Balashov, *Zametki uchenogo. [Notes of the scientist]*, **8 (33)**, 24 (2018).
6. Krylov A. V., Reshetnikova N. M. Adventive component of the flora of the Kaluga region: naturalization of species, *Botanicheskij zhurnal. [Botanical Journal]*, **94, 8**, 1126 (2009).
7. Krylov A. V., Reshetnikova N. M. Adventive component of the Kaluga region flora: dynamics of species distribution, *Botanicheskij zhurnal. [Botanical Journal]*, **95, 3**, 350 (2010).
8. Braun-Blanquet J. *Pflanzensociologie*, 865 p. (Wien-N.Y., 1964).
9. Shadrin V. A. Features of the vegetation cover of the urbanized environment: flora, *Nauka Udmurtii. [Science of Udmurtia]*, **4 (86)**, P. 106 (2018).
10. Reshetnikova N. M. *Kaluga flora: annotated list of vascular plants of the Kaluga region*, 549 p. (Partnership of scientists. KMC publications, Moscow, 2010).

УДК 619:615.357:636.22/.28

DOI 10.37279/2413-1725-2021-7-1-57-63

ДИНАМИКА КОРТИЗОЛА И ТЕСТОСТЕРОНА В КРОВИ НЕТЕЛЕЙ РАЗНЫХ ПОРОД

Еременко В. И.¹, Ротмистровская Е. Г.²

¹*Курская государственная сельскохозяйственная академия имени И. И. Иванова, Курск, Россия*

²*Курский государственный медицинский университет, Курск, Россия*

E-mail: rotmistrovskaya.lena@mail.ru

В работе приведены результаты исследования динамики тестостерона и кортизола у 40 нетелей разных пород (голландизированная черно-пестрая порода, симментальская порода, абердин-ангусская порода, помесные животные по 10 голов от каждой породы). Результаты проведенных исследований показали, что более выраженные межпородные различия наблюдались начиная с 6 месяца стельности до последнего месяца стельности. Межпородные различия по уровню тестостерона в крови подопытных животных говорят об особенностях тестостеронсинтезирующей системы различных пород, которая вполне вероятно на генном уровне детерминирована. Изменения концентрации кортизола были подобны изменениям тестостерона.

Ключевые слова: нетели, кортизол, тестостерон, голландизированная черно-пестрая порода, симментальская порода, абердин-ангусская порода, помесные животные.

ВВЕДЕНИЕ

Повышение мясной и молочной продуктивности животных одно из приоритетных направлений исследований в сельскохозяйственной физиологии. Тестостерон и кортизол оказывают большое влияние на формирование будущей молочной и мясной продуктивности животных [1–7].

Тестостерон влияет на синтез белка, рост мышц и скелета [8–11]. Также, этот гормон участвует в становлении беременности и реализации лактационного потенциала. Кортизол оказывает влияние на обмен углеводов, белков, жиров и нуклеиновых кислот, а также на минеральный обмен. Он усиливает процессы глюконеогенеза, вызывая увеличение в крови глюкозы. Этот гормон также формирует адаптационные реакции организма [12–14].

Кроме того, эти исследования не проводились в сравнительном аспекте на разных породах крупного рогатого скота, а работы, посвященные изучению уровня тестостерона в крови крупного рогатого скота в период стельности практически отсутствуют.

Целью настоящей работы было изучение динамики тестостерона и кортизола в крови у нетелей разных пород.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Исследования были проведены на нетелях голштинизированной черно-пестрой, симментальской, абердин-ангусской породах и полученные от них помесных нетелей (симментальская х абердин-ангусская).

Испытуемые группы нетелей были одного возраста, выращивались в одинаковых условиях, которые соответствовали зоотехническим нормам [15]. Кровь для проведения анализов у подопытных животных отбирали из хвостовой вены до первого утреннего кормления один раз в месяц в течение всего периода стельности. Концентрацию тестостерона и кортизола определяли иммуноферментным методом. Экспериментальные данные обрабатывали с использованием критерия Стьюдента в компьютерной программе Microsoft Office Excel.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Тестостерон

Концентрация тестостерона в крови нетелей представлен на рисунке 1. Данные, приведенные на рисунке 1, свидетельствуют о том, что уровень тестостерона в сыворотке крови нетелей разных пород перед осеменением несколько отличается. У группы животных черно-пестрой породы – $3,6 \pm 0,4$ нмоль/л, у симментальской – $4,2 \pm 0,5$ нмоль/л, у абердин-ангусской – $4,2 \pm 0,4$ нмоль/л, у помесных животных – $4,7 \pm 0,4$ нмоль/л. На первом месяце стельности уровень тестостерона несколько увеличился. До 3 месяца стельности уровень тестостерона существенно не изменялся. Значительные изменения его наблюдались на 5 месяце стельности. К 5 месяцу стельности концентрация тестостерона во всех подопытных группах увеличилась примерно в 2 раза. У нетелей черно-пестрой породы составлял $6,4 \pm 0,4$ нмоль/л, у симментальской – $6,0 \pm 0,5$ нмоль/л, у абердин-ангусской – $6,8 \pm 0,5$ нмоль/л, у помесных животных – $8,8 \pm 0,6$ нмоль/л. Между помесными животными, симментальской и черно-пестрой породами на 5 месяце стельности отмечается достоверная разница ($p < 0,05$).

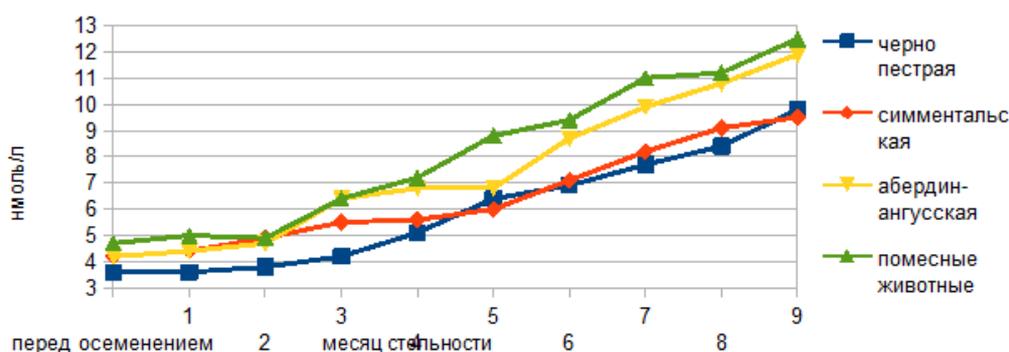


Рис. 1. Уровень тестостерона у нетелей разных пород.

Более выраженные межпородные различия наблюдались начиная с 6 месяца стельности до последнего месяца стельности. Уровень гормона в крови помесных животных во все периоды беременности превосходил черно-пестрых, симментальских и абердин-ангусских нетелей. На 6, 7, 8, 9 месяце стельности между черно-пестрыми нетелями и помесными животными уровень тестостерона был статистически достоверен ($p < 0,05$). Такие же различия на 7 и 9 месяце стельности сохранялись между симментальскими нетелями и помесными животными ($p < 0,05$).

Наиболее выраженные межпородные различия наблюдались в течение последнего месяца стельности. В этот период самые высокие концентрации гормона установлены у помесной группы $12,5 \pm 0,9$ нмоль/л. У абердин-ангусской породы этот показатель несколько ниже $11,9 \pm 0,8$ нмоль/л, а самой низкой концентрацией тестостерона отличались нетели симментальской породы $9,5 \pm 0,7$ нмоль/л. Между симментальской и черно-пестрой породами на последнем месяце до отела отмечается достоверная разница ($P < 0,05$). На 7,8,9 месяце стельности между черно-пестрыми нетелями и абердин-ангусскими животными уровень тестостерона был статистически достоверен ($p < 0,05$).

По отношению к не осемененным телкам уровень тестостерона на 9 месяце стельности у черно-пестрой породы увеличился в 2,7; у симментальской – в 2,3; у абердин-ангусской – в 2,8 раза, у помесных животных – 2,7. Максимальные значения этого показателя отмечены у помесных животных $12,5 \pm 0,9$ нмоль/л; симментальской $9,5 \pm 0,7$ нмоль/л; у абердин-ангусской $11,9 \pm 0,8$ нмоль/л., у черно-пестрой – $9,8 \pm 0,6$ нмоль/л.

Увеличение концентрации тестостерона в крови нетелей свидетельствуют о его участии в процессах формирования плода и реакции тестостеронсинтезирующей системы организма матери на протекание беременности. Различия по уровню тестостерона в крови черно-пестрой, симментальской, абердин-ангусской породы и помесных животных свидетельствует о породных особенностях тестостеронсинтезирующей системы, которая возможно на генном уровне детерминирована.

Кортизол

Уровень кортизола у нетелей представлен на рисунке 2. Из данных на рисунке 2 видно, что уровень кортизола в крови нетелей у подопытных пород подвержен значительным изменениям. До 3 месяца стельности уровень кортизола существенно не изменялся. Видимые изменения его наблюдались на 5 месяце стельности. У абердин-ангусской породы и помесных животных в это время произошло увеличение кортизола в крови. У нетелей черно-пестрой породы он составил $66,2 \pm 5,2$ нмоль/л, у симментальской – $67,4 \pm 4,9$ нмоль/л, у абердин-ангусской – $68,5 \pm 4,5$ нмоль/л, у помесных животных – $73,3 \pm 6,2$ нмоль/л.

На 7 месяце стельности у животных изучаемых пород кортизол увеличился и продолжал возрастать до конца стельности. Между симментальской, черно-пестрой породами и помесными животными на 7 месяце стельности отмечается статистически достоверные различия ($p < 0,05$).

К 9 месяцу у черно-пестрых телок концентрация кортизола увеличилась в 1,7; у симментальских – в 1,6; у абердин-ангусских – в 1,9 раза, у помесных – в 1,9 раза.

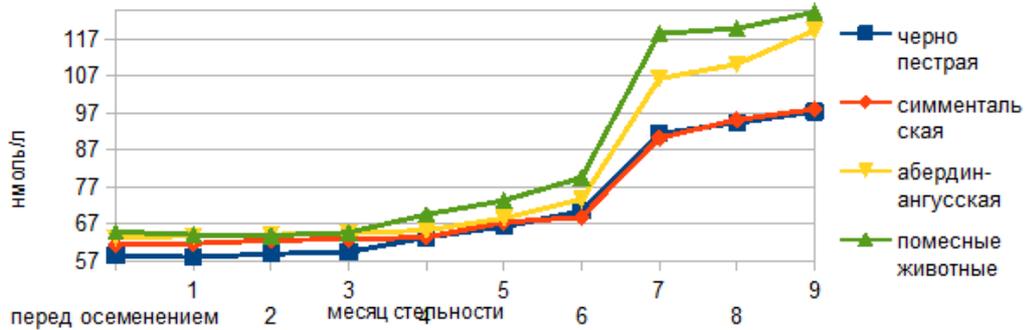


Рис. 2. Уровень кортизола у нетелей разных пород.

Следует отметить, что наиболее высокие уровни кортизола во второй половине стельности устойчиво сохранялись у помесных нетелей по отношению к черно-пестрой и симментальской пород. На 9 месяце стельности помесные нетели статистически достоверно превосходили черно-пестрых и симментальских ($p < 0,05$).

В период стельности уровень кортизола в крови нетелей имел неоднозначные показатели и зависел от месяца стельности и породной принадлежности животных. Повышение кортизола в крови во время беременности, очевидно связано с влиянием эстрогенов на организм самки.

Таким образом, мы считаем, что в результате беременности увеличивается синтез α -гликопротеида, который связывается с кортизолом, способствуя увеличению его жизни в крови и способствуют увеличению концентрации общего кортизола.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

С увеличением срока стельности концентрация тестостерона и кортизола в крови нетелей постепенно увеличивается. В период стельности уровень кортизола и тестостерона в крови нетелей зависел от месяца стельности и породной принадлежности животных. В период стельности более высокие концентрации тестостерона и кортизола имеют помесные нетели. В период стельности более низкие концентрации тестостерона и кортизола имеют черно-пестрые, симментальские и абердин-ангусские нетели.

Список литературы

1. Ерёменко В. И. Гормональный статус, показатели обмена веществ и резистентности у крупного рогатого скота разных пород в онтогенезе: Автореферат дисс... д-ра биол. наук 03.00.13 / Ерёменко В. И. – Сумы, 2001. – 19 с.

2. Ерёмченко В. И. Функциональные резервы некоторых желез внутренней секреции в период лактации у первотелок черно-пестрой, швицкой и Лебединской пород / Ерёмченко В. И. // Третья Международная конференция «Актуальные проблемы биологии в животноводстве», Боровск, 6–8 сент., 2000: тезисы докладов. – Боровск, 2000. – С. 287–289.
3. Ерёмченко В. И. Функциональные резервы эндокринной системы в прогнозировании молочной продуктивности / В. И. Еременко. – Курск: Издательство Курской государственной сельскохозяйственной академии, 2010. – 194 с.
4. Еременко В. И. Метаболический статус, неспецифическая резистентность и их коррекция у крупного рогатого скота / Еременко В. И., Сеин О. Б. – Курск : Деловая полиграфия, 2011. – 194 с
5. Радченков В. П. Определение гормонов в крови крупного рогатого скота, свиней и их гормональный статус. Методические указания. / Радченков В. П., Аверин В. С., Бутров Е. В. и др. – Боровск, 1985. – 75 с.
6. Радченков В. П. Наследуемость ответной реакции инсулярного аппарата и щитовидной железы коров и телок на функциональную нагрузку / Радченков В. П., Бутров Е. В., Аверин В. С., Еременко В. И. // Бюллет. ВНИИФБиП с.-х. животных. – Боровск, 1985. – Вып 2 (78). – С. 48–52.
7. Еременко В. И. Состояние тестостеронсинтезирующей системы и обмен веществ у лактирующих коров и телят / Еременко В. И., Меченков Д. А, Ротмистровская Е. Г. – Курск : Изд-во Курской гос. с.-х. акад., 2015. – 166 с.
8. Радченков В. П. Гормональный профиль и рост телок в возрасте от 7 до 12 месяцев / Радченков В. П., Бутров Е. В., Голенкевич Е. К. и др. // С.-х. биология. – 1984. – №7. – С. 91.
9. Солдатов А. П. Основы животноводства. Издание 3-е, переработанное и дополненное. / А. П. Солдатов. – Москва: Мир, 2012. – 146 с.
10. Ротмистровская Е. Г. Функциональные резервы щитовидной железы и тестостеронсинтезирующей системы у коров с разной молочной продуктивностью и их телят : автореферат дис. ... кандидата биологических наук. / Ротмистровская Елена Геннадьевна. – Курск, 2014 г.
11. Падучева А. Л. Гормональные препараты в животноводстве. / Падучева А. Л. – М.: Россельхозиздат, 1979. – 229 с.
12. Садовников Н. В. Особенности обмена углеводов у овец в различные фазы раннего постнатального периода в связи с кортикостероидной функцией надпочечников / Садовников Н. В. // Ученые записки Казанского ветеринарного института. – 1975. – № 20. – С. 130–133.
13. Чикалев А. И. Основы животноводства. Учебник / А. И. Чикалев, Ю. А. Юлдашбаев. – М.: Лань, 2015. – 210 с.
14. Berg R. T. Factors affecting muscle growth patterns / Berg R. T., Butterlied R. M. // New concepts of cattle growth. – Sydney University Press, 1976. – P. 99–142.
15. Ахметзянова Ф. К. Нормы кормления сельскохозяйственных животных и птицы. Состав и питательность кормов / Ф. К. Ахметзянова, А. Р. Кашаева, Д. Р. Шарипов, С. Ф. Шайдуллин – Казань, 2016. – 103 с.

DYNAMICS OF CORTISOL AND TESTOTERON IN THE BLOOD OF HEIFERS OF DIFFERENT BREEDS

Eremenko V. I.¹, Rotmistrovskaya E. G.²

¹*Kursk state agricultural Academy named after I. I. Ivanov, Kursk, Russia*

²*Kursk state medical University, Kursk, Russia*

E-mail: rotmistrovskaya.lena@mail.ru

The paper presents the results of a study of the dynamics of testosterone and cortisol in 40 heifers of different breeds (Holstein black-and-white breed, Simmental breed, Aberdeen-Angus breed, crossbred animals. 10 heads from each breed. All experimental

groups of heifers were analogous in age and term of pregnancy. The conditions for raising animals were the same and corresponded to their zootechnical feeding standards. The hormones cortisol and testosterone were determined by the enzyme immunoassay. The results of the conducted studies showed that before insemination, a slightly higher concentration of testosterone was observed in crossbred animals (Aberdeen-Angus x Simmental) and was 4.7 ± 0.4 nmol/l. This indicator was relatively lower in black – and-white heifers and was 3.6 ± 0.4 nmol/l. Significant changes in it were observed at 5 months of pregnancy. By the 5th month of pregnancy, the concentration of testosterone in all experimental groups increased approximately 2 times. There is a significant difference between crossbreeds, Simmental and black-and-white breeds at 5 months of pregnancy ($p < 0.05$). More pronounced interbreeding differences were observed from the 6th month of pregnancy to the last month of pregnancy. At 6, 7, 8, 9 months of pregnancy between black – and-white heifers and crossbred animals, the testosterone level was statistically significant ($p < 0.05$). Interbreed differences in the level of testosterone in the blood of experimental animals indicate the features of the testosterone-synthesizing system of different breeds, which is probably determined at the gene level. An increase in the concentration of testosterone in the blood of heifers indicates its participation in the processes of fetal formation and the reaction of the testosterone-synthesizing system of the mother's body to the course of pregnancy. Differences in the level of testosterone in the blood of Black-and-white, Simmental, Aberdeen-Angus breeds and crossbreeds indicate the breed characteristics of the testosterone-synthesizing system, which is possibly determined at the gene level.

Changes in cortisol concentration were similar to changes in testosterone. It should be noted that the highest levels of cortisol in the second half of pregnancy were consistently maintained in cross-bred heifers in relation to the black-and-white and Simmental breeds. At the 9th month of pregnancy, local weeks were statistically significantly higher than black-and-white and Simmental weeks ($p < 0.05$).

During pregnancy, the level of cortisol in the blood of heifers had ambiguous indicators and depended on the month of pregnancy and the breed affiliation of the animals. The increase in cortisol in the blood during pregnancy is obviously due to the effect of estrogens on the female body.

Thus, we believe that as a result of pregnancy, the synthesis of α -glycoprotein increases, which binds to cortisol, contributing to an increase in its life in the blood and contributing to an increase in the concentration of total cortisol.

Keywords: heifers, cortisol, testosterone, holstinized black-and-white breed, Simmental breed, Aberdeen-Angus breed, crossbred animals.

References

1. Eremenko V. I. *Hormonal status, indicators of metabolism and resistance in cattle of different breeds in ontogenesis*: Abstract of the dissertation of the Doctor of Biological Sciences 03.00.13, 19 p. (Sumy, 2001).
2. Eremenko V. I. *Functional reserves of some glands of internal secretion during lactation in first-calf black-and-white, Shvitskaya and Lebedinskaya breeds*, Third International Conference "Actual problems of biology in animal husbandry", Borovsk, 6-8 Sep., 2000: abstracts of reports, 287 (Borovsk, 2000).

3. Eremenko V. I. *Functional reserves of the endocrine system in predicting milk productivity*, 194 (Kursk: Publishing house of the Kursk State Agricultural Academy, 2010).
4. Eremenko V. I., Sein O. B. *Metabolic status, nonspecific resistance and their correction in cattle*, 194 (Kursk: Business Polygraphy, 2011).
5. Radchenkov V. P., Averin V. S., Butrov E. V. et al. *Determination of hormones in the blood of cattle, pigs and their hormonal status, Methodological guidelines*, 75 (Borovsk, 1985).
6. Radchenkov V. P., Butrov E. V., Averin V. S., Eremenko V. I. Heritability of the response of the insulin apparatus and the thyroid gland of cows and heifers to the functional load, *VNIIFBiP of agricultural animals*, **2 (78)**, 48 (Borovsk, 1985).
7. Eremenko V. I., Mechenkov D. A., Rotmistrovskaya E. G. *The state of the testosterone-synthesizing system and metabolism in lactating cows and calves*, 166 p. (Kursk: Publishing House of the Kursk State Agricultural Academy, 2015).
8. Radchenkov V. P., Butrov E. V., Golenkevich E. K. etc. Hormonal profile and growth of heifers aged from 7 to 12 months, *S. - kh. Biologiya*, **7**, 91 (1984).
9. Soldatov A. P. *Fundamentals of animal husbandry*. 3rd edition, revised and supplemented, 146 p. (Moscow: Mir, 2012).
10. Rotmistrovskaya Elena Gennadievna. *Functional reserves of the thyroid gland and the testosterone-synthesizing system in cows with different milk productivity and their calves*: abstract of the dissertation of the Candidate of Biological Sciences (Kursk, 2014).
11. Paducheva A. L. *Hormonal preparations in animal husbandry*, 229 p. (M.: Rosselkhoizdat, 1979).
12. Sadovnikov N. V. *Features of carbohydrate metabolism in sheep in various phases of the early postnatal period in connection with the corticosteroid function of the adrenal glands*, **20**, 130 (1975).
13. Chikalev A. I., Yuldashbayev Yu. A. *Fundamentals of animal husbandry. Textbook*, 210 p. (M.: Lan, 2015).
14. Berg R. T., Butterlied R. M. *Factors affecting muscle growth patterns, New concepts of cattle growth*, 99 (Sydney University Press, 1976).
15. Akhmetzyanova F. K., Kashaeva A. R., Sharipov D. R., Shaidullin S. F. *Norms for feeding farm animals and poultry. Composition and nutritional value of feed*, 103 p. (Kazan, 2016).

УДК 630*23; 630*231; 630*231.41

DOI 10.37279/2413-1725-2021-7-1-64-74

ЛЕСОРАСТИТЕЛЬНЫЕ УСЛОВИЯ И СОСТОЯНИЕ КУЛЬТУР *PINUS PALLASIANA* D. DON ВОСТОЧНОЙ ЧАСТИ ЮЖНОГО МАКРОСКЛОНА ГЛАВНОЙ ГРЯДЫ КРЫМСКИХ ГОР

Коба В. П., Никифоров А. Р., Папельбу В. В., Новицкий М. Л.

***Федеральное Государственное бюджетное учреждение науки «Никитский ботанический сад – Национальный научный центр РАН» Ялта, Республика Крым, Россия
E-mail: serb_84@mail.ru***

Установлено, что лесные культуры *P. pallasiana* в восточной части южного макросклона Главной гряды Крымских гор в нижнем поясе характеризуются невысокими таксационными показателями. С увеличением высоты местопроизрастания их состояние и интенсивность роста улучшаются. Динамика лесорастительных условий в изучаемом районе связана с увеличением сухости климата, уменьшением атмосферных осадков, количество которых сокращается в направлении от центральной к восточной части южного макросклона Главной гряды Крымских гор. В экотопах среднего пояса наблюдается уменьшение содержания гумуса в верхнем слое почвы, что связано с усилением эрозийных процессов на территории антропогенной деградации лесной растительности. Эдафические характеристики экотопов лесных культур *P. pallasiana* в нижнем и среднем поясе в районе проведения исследований соответствуют лесорастительным условиям – сухой сугруд, в верхнем поясе – свежий сугруд.

Ключевые слова: лесорастительные условия, лесные культуры, биоэкологические характеристики, почва, гумус, динамика.

ВВЕДЕНИЕ

Во второй половине XX века, в горной части Юго-Восточного Крыма активно проводились лесокультурные работы [1]. С использованием метода террасирования склонов, высаживали в основном хвойные растения, в большей части *P. pallasiana* [2]. При этом возникает вопрос: достаточно ли оправдано было проводить лесовосстановительные работы с использованием хвойных в экотопах коренных древостоев лиственных растений, в частности *Quercus pubescens* Willd. и *Quercus petraea* (Matt.) Liebl.? Безусловно, экономический эффект и более высокие биоэкологические характеристики на первых этапах роста культур хвойных растений в сравнении с автохтонными видами дуба, позволяли положительно оценить проводимые фитомелиоративные работы. Однако при этом не учитывался долговременный результат взаимодействия растений с факторами внешней среды, их биоэкологические возможности успешно адаптироваться за пределами естественного ареала к новым условиям произрастания. В настоящее время эта проблема в значительной степени усиливается в связи с устойчивой тенденцией глобальных климатических изменений. По оценке некоторых исследователей, в

ближайшие десятилетия сухость климата в Крыму будет повышаться [3]. Экотопы горной части Юго-Восточного Крыма характеризуются достаточно низким уровнем увлажненности [4]. В этих условиях стрессовые явления, связанные с уменьшением количества атмосферных осадков, увеличением дефицита влаги в почве, могут оказать негативное воздействие на состояние лесных культур в регионе, существенно ограничить возможности формирования полноценных лесных насаждений *P. pallasiana* [5]. Поэтому актуальное значение приобретает оценка специфики лесорастительных условий на территории произрастания искусственно созданных насаждений, анализ динамики лимитирующих факторов, определяющих особенности роста и развития лесообразующих древесных растений.

Целью исследований являлось изучение лесорастительных условий, состояния и таксационных характеристик лесных культур *P. pallasiana* в восточной части южного макросклона Главной гряды Крымских гор, оценка особенностей их произрастания в связи с высотной поясностью и динамикой почвенных характеристик.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Объектами исследований являлись лесные культуры *P. pallasiana*, созданные в конце XX в. на значительных площадях от Алушты до Судака. По гипсометрическому профилю на высотах 100 м, 300 м и 600 м н. у. м. от п. Лазурное до п. Малореченское были заложены пробные площади (ПП), на которых изучали таксационные характеристики, жизненное состояние, типологическую структуру искусственных насаждений *P. pallasiana* [6]. Координаты и высотное положение пробных площадей определяли с использованием GPS навигатора Garmin OREGON 650 (рис. 1).

Почву изучали с использованием почвенных разрезов по профилю на глубинах 0–10 см, 10–20 см, 20–30 см, 30–40 см и 40–50 см. В качестве основы при типологической классификации фитоценозов использовали экотопическую сетку Горного Крыма [2, 7]. Физические и водно-физические свойства почв определяли по методам, изложенным в руководстве «Агрофизические методы исследования почв» [8]. Полевую влажность определяли термовесовым методом, содержание гумуса оценивали по Тюрину [9], pH водной суспензии – потенциометрически [9]. Влажность завядания определяли расчётным методом [10]. Анализ экологических групп видов растений по отношению к режиму увлажнения выполняли, применяя систему оценки экоморф В. Н. Голубева [11]. С использованием данных космического зондирования спутниковой системы Landsat 8 анализировали особенности территориального распределения лесных насаждений в восточной части южного макросклона Главной гряды Крымских гор [12, 13].

При оценке динамики погодных условий использовали данные метеорологических станций, расположенных в г. Ялта, пгт Никита, г. Алушта, г. Судак и на Ангарском перевале. Статистические материалы результатов наблюдений обрабатывали, применяя методы биометрии [14].

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

С использованием материалов космического зондирования спутниковой системы Landsat 8 было определено, что в настоящее время хвойные насаждения на южном макросклоне Главной гряды Крымских гор от Алушты до Судака занимают площадь 2323,5 га, или 21,1 % лесопокрытой территории (11005,7 га) данного района.



Рис. 1. Схема территориального размещения пробных площадей (ПП).

Изучение биоэкологических характеристик лесных культур *P. pallasiana* на пробных площадях, показало, что в нижнем поясе на высоте 100 м н. у. м. они характеризуются сравнительно невысокими таксационными показателями (табл. 1). В возрасте 40 лет средняя высота стволов деревьев составила 5,7 м, средний диаметр – 9,4 см, что на 35 % ниже в сравнении с растениями *P. pallasiana* естественных насаждений на высоте 600 м н. у. м. в центральной части южного макросклона Главной гряды Крымских гор [15].

Таблица 1
Таксационные характеристики лесных культур *P. pallasiana*

Высота, н. у. м.	Возраст, лет	Высота, м	Диаметр, см	Усыхающая хвоя, %	Индекс состояния
		М ± s	М ± s	М ± s	
100	40	5,7 ± 0,1	9,4 ± 0,2	12,4 ± 1,2	2,3 ± 0,1
300	40	7,0 ± 0,1	18,3 ± 0,4	11,3 ± 1,6	2,1 ± 0,1
600	40	12,9 ± 0,1	26,3 ± 0,5	5,7 ± 0,5	2,0 ± 0,1

Примечание: М – средний показатель; s – ошибка среднего показателя

Снижение интенсивности роста *P. pallasiana* в восточной части данного региона в наибольшей степени связано с увеличением сухости климата, уменьшением осадков, количество которых достаточно четко сокращается в направлении от центральной к восточной части южного макросклона Главной гряды Крымских гор. В Ялте среднегодовое количество осадков составляет 610 мм, в Никите – 580 мм, в Алуште – 530 мм, в Судакe – 320 мм. Таким образом, уровень влагообеспечения в пределах территории произрастания лесных культур в Юго-Восточной части Горного Крыма снижается почти в два раза по сравнению с лесорастительными условиями центральной части массива естественных лесов *P. pallasiana* южного макросклона Главной гряды Крымских гор. Низкая увлажненность в изучаемом районе связана не только с незначительным количеством осадков, но и высокой температурой в летние месяцы, большой величиной испарения влаги, до 800-1000 мм с поверхности почвы [16]. На уровень влагообеспечения растений оказывают также орографические условия. Крутые склоны и изрезанность рельефа способствуют тому, что большая часть атмосферных осадков в горных ландшафтах Юго-Восточного Крыма переходит в поверхностный сток, слабо насыщая почву влагой.

В горной местности с подъемом по высоте количество выпадающих осадков увеличивается. В районе проведения исследований на Ангарском перевале, который находится на высоте 770 м н. у. м., среднегодовое количество осадков составляет 750 мм. Улучшение лесорастительных условий по фактору увлажненности влияет на продуктивность лесных культур *P. pallasiana*. На высоте 300 м н. у. м. средняя длина стволов деревьев в сравнении с нижним поясом возросла на 22,8 %, а диаметр увеличился почти в два раза. На высоте 600 м н. у. м. таксационные показатели лесных культур сосны крымской увеличились более значительно. По характеристике жизненного состояния лесные культуры *P. pallasiana* на высоте 100 м н. у. м. имели наиболее худшие показатели, средняя величина индекса состояния насаждений здесь составила 2,3 единицы. С продвижением вверх по макросклону состояние культур улучшается.

При изучении лесных сообществ, особенностей их формирования и развития, важное значение имеет анализ почвенных условий [3]. В районе проведения исследований качественные характеристики почвы имели существенные различия, как по гипсометрическому профилю, так и в почвенных горизонтах. В целом, плодородие почвы в восточной части южного макросклона Главной гряды Крымских гор характеризуется невысокими показателями (табл. 2). На высоте 100 м н. у. м. среднее содержания гумуса в верхнем слое почвы составило 4,8 %, на высоте 300 м и 600 м н. у. м. данный показатель имел значения 3,8 % и 7,2 %, соответственно. Некоторое уменьшение содержания гумуса в экотопах среднего пояса, очевидно, связано с усилением эрозионных процессов, которые в наибольшей степени оказывают деструктивное воздействие на верхний почвенный слой.

Содержания гумуса по профилю разрезов характеризуется достаточно четко выраженной связью с глубиной залегания почвенного слоя. На высоте 100 м н. у. м. коэффициент корреляции изменения содержания гумуса по профилю почвенного

разреза составил -0,846, в среднем и верхнем поясе этот показатель имел значения -0,970 и -0,987. При этом следует отметить, что в нижнем поясе наиболее высокий градиент снижения содержания гумуса наблюдается на глубине 10–20 см, в среднем поясе на уровне 40–50 см. В верхнем поясе содержание гумуса изменяется более плавно с максимальным перепадом на глубине 20–30 см. Очевидно, данные вариации отражают специфику формирования почвы в связи с зональной динамикой условий произрастания, спецификой эрозионных и демулационных процессов.

Таблица 2
Характеристика почвенных условий лесных культур *P. pallasiana*

Высота н.у.м., м	Слой почвы, см				
	0...10	10...20	20...30	30...40	40...50
	M ± s	M ± s	M ± s	M ± s	M ± s
Содержание гумуса, %					
100	4,8 ± 0,3	2,0 ± 0,1	1,6 ± 0,1	1,3 ± 0,1	1,1 ± 0,1
300	3,8 ± 0,2	2,6 ± 0,2	2,0 ± 0,2	1,8 ± 0,1	1,0 ± 0,1
600	7,2 ± 0,5	6,2 ± 0,4	4,2 ± 0,3	2,7 ± 0,2	2,1 ± 0,2
Содержание влаги, %					
100	11,8 ± 0,7	10,4 ± 0,6	9,8 ± 0,4	8,4 ± 0,4	6,5 ± 0,3
300	6,5 ± 0,4	7,2 ± 0,4	6,6 ± 0,3	6,3 ± 0,3	7,2 ± 0,3
600	13,1 ± 0,8	11,8 ± 0,7	10,4 ± 0,5	9,8 ± 0,4	8,4 ± 0,4
Влажность завядания, %					
100	7,1 ± 0,4	5,7 ± 0,3	4,2 ± 0,2	3,2 ± 0,2	3,1 ± 0,2
300	6,8 ± 0,3	4,8 ± 0,2	3,9 ± 0,2	3,3 ± 0,2	3,5 ± 0,2
600	7,7 ± 0,4	6,9 ± 0,3	5,1 ± 0,3	4,5 ± 0,2	4,3 ± 0,2
Реакция почвенной среды, pH					
100	6,7 ± 0,3	6,5 ± 0,3	6,4 ± 0,3	6,6 ± 0,3	6,7 ± 0,3
300	6,9 ± 0,3	7,1 ± 0,4	7,2 ± 0,3	7,0 ± 0,3	7,2 ± 0,3
600	7,3 ± 0,4	7,6 ± 0,4	7,7 ± 0,4	7,8 ± 0,4	7,9 ± 0,4

Примечание: M – среднее значение; s – ошибка среднего значения

В нижнем поясе накопление питательных веществ в почве в основном связано с развитием травяной растительности, которая в условиях горного рельефа с высокой интенсивностью эрозионных процессов способна обеспечить формирование в основном слаборазвитых почв [3]. В среднем поясе в зоне распространения в недавнем прошлом лесных формаций, на участках, лишенных лесной растительности, уровень трансформации структуры и состава почвы определяется ее типом, временем с момента начала деградации лесного сообщества и интенсивностью эрозионных процессов. Ликвидация древесного яруса в фитоценозах среднего пояса определила усиление сукцессионных процессов, снижение продуктивности данных сообществ, что повлияло на интенсивность

накопления гумуса в почве в первую очередь в поверхностном слое. На высоте 600 м н. у. м. в зоне благоприятных по увлажненности лесорастительных условий, где в структуре лесных сообществ в той или иной степени сохранилось преобладание видов эдификаторов лесных сообществ, формирование почвы имеет более устойчивый характер, что связано с объемом поступления опада и снижением эрозионных процессов под пологом древесного яруса.

Увлажненность экотопов изучаемых лесных культур *P. pallasiana* в целом характеризовалась не высокими показателями. При этом отмечалась достаточно устойчивая тенденция уменьшения влажности почвы по профилю почвенного разреза. В районе проведения исследований, по данным Алуштинской метеорологической станции, количество осадков в 2018 г. составило 472 мм, в летний период – 34 мм. В 2019 г. их было 373 мм, в летние месяцы – 36 мм. С начала 2020 г. по август выпало всего 183 мм. И, хотя летом этого года количество осадков (82 мм) было в пределах многолетней нормы, негативный эффект двухлетнего увеличения дефицита влаги определил значительное снижение ее содержания в почве на глубине 30–50 см, в зоне формирования корневой системы древесных растений. Наиболее критическая ситуация наблюдалась в почвенных разрезах на высоте 300 м н. у. м. Здесь средняя влажность верхнего слоя почвы в конце лета 2020 г. была 6,5 %, что почти в 2 раза ниже в сравнении с верхним и нижним поясами и меньше на 0,3 % показателя влажности завядания. Высокая сезонная динамика и нестабильность осадков по годам, особенно в летний период вегетации, погодные условия которого в значительной степени определяют реализацию процессов роста и развития, снижают стабильность структуры и состава растительных сообществ, формируют негативный экологический фон, определяющий снижение жизненного состояния лесных культур *P. pallasiana* [17]. В этой связи следует отметить, что у *Q. pubescens* формируется более объемная корневая система, особенно у великовозрастных растений, в сравнении с *P. pallasiana*, что обеспечивает возможности произрастания в экотопах с низкой увлажненностью [18].

Специфику лесорастительных условий оценивали, анализируя состав и экологические характеристики видов, формирующих растительные сообщества. В нижнем поясе было отмечено 11 видов растений. В структуре фитоценоза преобладали мезоксерофиты – 45,4 %, ксерофиты составляли 18,2 %, ксеромезофиты – 27,3 %, мезофиты – 9,1 % (рис. 2). По отношению к световому режиму в данных экотопах большая часть растений относилась к экологической группе гелиофиты – 45,5 %, доля сциогелиофитов составляет 36,4 %, гелиосциофитов – 18,1 %, соответственно (рис. 3). Эдафические характеристики лесных культур *P. pallasiana* в нижнем поясе восточной части южного макросклона Главной гряды Крымских гор соответствуют лесорастительным условиям – сухой сугруд (C_1), что отражает относительно богатое плодородие и невысокую увлажненность почвы.

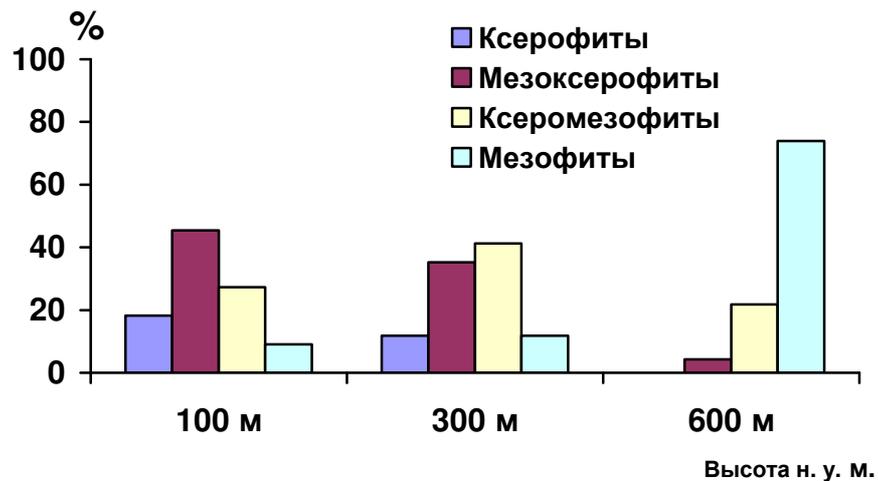


Рис. 2. Соотношение экологических групп растений по отношению к влаге, %

На высоте 300 м н. у. м. при некотором увеличении видового разнообразия было отмечено снижение представленности засухоустойчивых растений, ксерофиты здесь составляют 11,8 %. По отношению к световому режиму иерархическая структура фитоценоза изменилась незначительно, как и в нижнем поясе преобладают гелиофиты – 52,9 %, далее по убывающей сциогелиофиты – 23,8 %, гелиосциофиты – 23,5 %. Лесорастительные условия, эдафотоп среднего пояса также относится к сухим сугрудам (C_1).

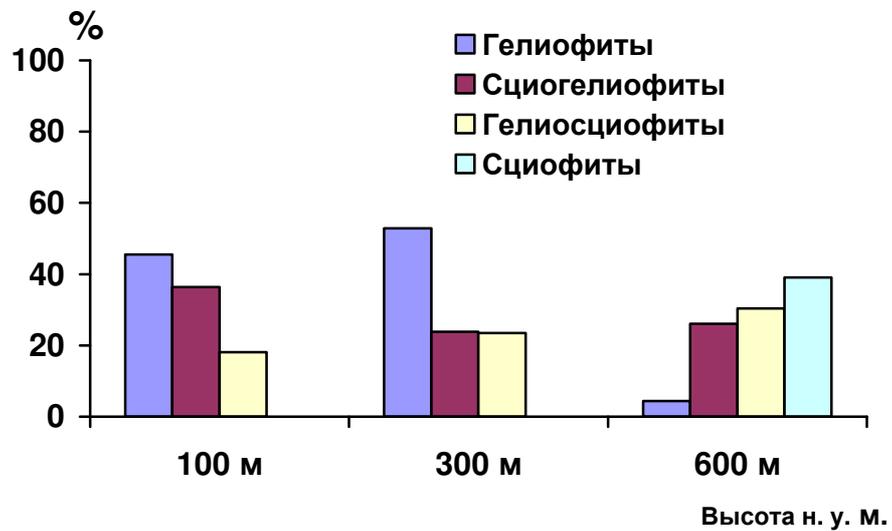


Рис. 3. Соотношение экологических групп растений по отношению к свету, %

На высоте 600 м н. у. м. наблюдалось существенное увеличение видового разнообразия в искусственных насаждениях *P. pallasiana*. Флористический состав здесь представлен 23 видами травяного яруса. По отношению к влаге преобладают мезофиты – 73,9 % и ксеромезофиты – 21,8 %, мезоксерофиты составляют 4,3 %. В экологическом спектре видового состава в значительной степени возросла доля сциофитов – 39,1 % и гелиосциофитов – 30,4 %, сциогелиофиты составили 26,1 %, гелиофит – 4,4 %. Эдафические показатели трофотопов соответствуют лесорастительным условиям – сугруд (С) с тенденцией перехода в более богатые условия произрастания – груд. По классификации лесорастительных условий данный эдафотоп относится к свежим сугрудам (С₂).

В целом с повышением высоты местопроизрастания в восточной части южного макросклона Главной гряды Крымских гор наблюдается улучшение типа лесорастительных условий. Некоторые виды – *Lepidium campestre* (L.) R. Br. и *Prospero autumnale* (L.) Speta, которые ранее не учитывали при оценке лесорастительных условий, по нашему мнению, можно использовать в качестве индикаторов специфики экологического фона в сухих сугрудах (С₁), а *Euonymus europaeus* L., *Ornithogalum ponticum* Zahar., *Ranunculus oxyspermus* Willd. и *Ulmus glabra* Huds. – в условиях сухого и свежего сугрудка и груды (С₁₋₂; D₁₋₂).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Лесные культуры *P. pallasiana* в восточной части южного макросклона Главной гряды Крымских гор в нижнем поясе характеризуются невысокими таксационными показателями. С увеличением высоты местопроизрастания их состояние и интенсивность роста улучшаются. Динамика лесорастительных условий в изучаемом районе связана с увеличением сухости климата, уменьшением атмосферных осадков, количество которых сокращается в направлении от центральной к восточной части южного макросклона Главной гряды Крымских гор.

Высокая сезонная изменчивость и нестабильность осадков по годам, особенно в летний период вегетации, погодные условия которого в значительной степени определяют реализацию процессов роста и развития, снижают стабильность структуры и состава растительных сообществ, формируют негативный экологический фон, определяющий ухудшение жизненного состояния лесных культур *P. pallasiana*.

Специфика лесорастительных условий на территории проведения фитомелиоративных работ определяются высотной зональностью почвенного плодородия. Содержание гумуса в почве в восточной части южного макросклона Главной гряды Крымских гор характеризуется невысокими показателями. В экотопах среднего пояса выявлено уменьшение содержания гумуса в верхнем слое почвы, что связано с усилением эрозионных процессов на территории антропогенной деградации лесной растительности.

Эдафические характеристики экотопов лесных культур *P. pallasiana* в нижнем и среднем поясе восточной части южного макросклона Главной гряды Крымских гор соответствуют лесорастительным условиям – сухой сугруд (С₁), что отражает относительно богатое плодородие и невысокую увлажненность почвы.

Экологические показатели эдафотопы в верхнем поясе соответствуют лесорастительным условиям – сугруд (С) с тенденцией перехода в более богатые условия произрастания.

Список литературы

1. Коба В. П. История и некоторые итоги формирования лесных культур на яйлах Горного Крыма / В. П. Коба, И.А. Крестьянишин, Ю.П. Швец [и др.] // East European Scientific Journal. – 2016. – № 12. – С. 27–33.
2. Плугатарь Ю. В. Типология и экология лесов Крыма / Ю. В. Плугатарь, В. В. Корженевский // Сб. научных трудов ГНБС. – 2016. – Том 143. – С. 164–173.
3. Горичев Ю. П. Почвеннолесорастительные условия западной части Южно-Уральского заповедника / Ю. П. Горичев, А. Н. Давыдычев, А. Ю. Кулагин [и др.] // Вестник Оренбургского государственного университета. – 2009. – № 6 (100). – С. 565–567.
4. Плугатарь Ю. В. Высотная зональность почвенных условий горных ландшафтов Юго-Восточного Крыма / Ю. В. Плугатарь, В. П. Коба, М. Л. Новицкий [и др.] // Земледелие. – 2020. – № 8. – С. 10–15. doi: 10.24411/0044-3913-2020-10802.
5. Сапанов М. К. Климатогенные факторы внезапного изменения хода роста дерева / М. К. Сапанов // Поволжский экологический журнал. – 2019. – № 2. – С. 253–263. <https://doi.org/10.35885/1684-7318-2019-2-253-263>.
6. Анучин Н. П. Лесная таксация. Учебник для ВУЗов, 5-е издание. / Анучин Н. П. – М.: Лесная промышленность, 1982. – 552 с.
7. Поляков А. Ф. Лесные формации Крыма и их экологическая роль / А. Ф. Поляков, Ю. В. Плугатарь – Харьков: Новое слово, 2009. – 326 с.
8. Агрофизические методы исследования почв [Текст] / [Отв. ред. д-р с.-х. наук С. И. Долгов]; Почв. ин-т им. В. В. Докучаева. – Москва: Наука, 1966. – 259 с.
9. Аринушкина Е. В. Руководство по химическому анализу почв / Е. В. Аринушкина ... перераб. и доп. – М.: Издательство Московского университета. – 1970. – 488 с.
10. Терпелец В. И. Учебно-методическое пособие по изучению агрофизических и агрохимических методов исследования почв / В. И. Терпелец, В. Н. Слюсарев. – Краснодар: КубГАУ, 2010. – 65 с.
11. Голубев В. Н. Биологическая флора Крыма. / Голубев В. Н. – Ялта: НБС-ННЦ, 1996. – 2-е изд. – 126 с.
12. Рожков Ю. Ф. Оценка динамики восстановления лесов после пожаров в Олекминском заповеднике (Россия) по космическим снимкам Landsat / Ю. Ф. Рожков, М. Ю. Кондакова // Nature Conservation Research. Заповедная наука. – 2019. – №4. – С.1–10.
13. Ховратович Т. С. Метод детектирования изменений лесов по подпиксельной оценке проективного покрытия древесного полога по разновременным спутниковым изображениям / Т. С. Ховратович, С. А. Барталев, А. Б. Кашницкий // Современные проблемы дистанционного зондирования из космоса. – 2019. – Том 16, № 4. – С. 102–110. ISSN: 2070-7401e ISSN: 2411-0280.
14. Лакин Г. Ф. Биометрия [Текст]: [учеб. пособие для биол. спец. вузов] / Г. Ф. Лакин. – 4-е изд., перераб. и доп. – М.: Высшая школа, 1990. – 351 с.
15. Коба В. П. Состояние и экологическая структура популяций *Pinus pallasiana* D. Доп нижнего пояса Южного макросклона Главной гряды Крымских гор / В. П. Коба, А. Ф. Хромов, Т. М. Сахно // Ученые записки Крымского федерального университета имени В. И. Вернадского Биология. Химия. – 2020. – Том 6 (72), № 2. – С. 75–84. DOI 10.37279/2413-1725-2020-6-2-75-84.
16. Корсакова С. П. Оценка экологического режима местообитаний растений в условиях изменения климата / С. П. Корсакова, В. В. Корженевский // Труды Карадагской научной станции им. Т. И. Вяземского – Природного Заповедника РАН. – 2018. – Выпуск 4 (8). – С. 26–33.
17. Плугатарь Ю. В. Динамика насаждений сосны крымской (*Pinus pallasiana* L.) в горном Крыму / Ю. В. Плугатарь, И. А. Трофименко, Ю. П. Швец [и др.] // Лісівництво і агролісомеліорація. – Харьков: УкрНДІЛГА. – 2008. – № 114. – С. 80–84.
18. Di Iorio A. Root System Architecture of *Quercus pubescens* Trees Growing on Different Sloping Conditions. / Di Iorio A., Lasserre B., Scippa G. S., Chiatante D. – 2005. – Annals of Botany 95(2). – P. 351–361.

FOREST GROWING CONDITIONS OF *PINUS PALLASIANA* D. DON IN THE EASTERN PART OF THE SOUTHERN SLOPE OF THE MAIN RIDGE OF THE CRIMEAN MOUNTAINS

Koba V. P., Nikiforov R. A., Papelbu V. V., Novitsky M. L.

*Federal State Funded Institution of Science «The Nikita botanical gardens – National scientific center of the RAS», Yalta, Crimea, Russian Federation
E-mail: serb_84@mail.ru*

The objective of the research was to study the forest conditions and forest inventory characteristics of *P. pallasiana* in the eastern part of the southern slope of the Main ridge of the Crimean Mountains, the evaluation of its growth in connection with high-rise zoning and dynamics of soil properties. The studies were carried out using the methods of laying hypsometric profiles. Soil characteristics were studied in soil sections in five layers with an interval of 10 cm. The ecotopic grid of the Mountainous Crimea was used for the typological classification of phytocenoses. The features of the territorial distribution of artificial coniferous stands in the study area were analyzed using the data of space sensing of Landsat 8 satellite system. As a result of the conducted studies, it was found that the forest crops of *P. pallasiana* in the eastern part of the southern macroslope of the Main Ridge of the Crimean Mountains in the lower belt are characterized by low taxation indicators. With an increase in the height of the growing area, their state and growth intensity improve. Dynamics of forests conditions in the study area is associated with increasing dryness of the climate, a decrease in precipitation, the number of which decreases in the direction from the central to the eastern part of the southern slopes of the Main ridge of the Crimean Mountains. The high-altitude zoning of soil fertility is revealed. In the ecotopes of the middle belt, there is a decrease in the content of humus in the upper layer of the soil, which is associated with increased erosion processes in the territory of anthropogenic degradation of forest vegetation. High seasonal variability and instability of precipitation over the years, especially in the summer growing season, the weather conditions of which largely determine the implementation of growth and development processes, reduce the stability of the structure and composition of plant communities, form a negative ecological background, which determines the deterioration of the life state of *P. pallasiana* forest cultures. In the research area edaphic characteristics of forest crop ecotopes of *P. pallasiana* in the lower and middle belt correspond to forest-growing conditions such as dry sudubrava, and in the upper belt – fresh sudubrava.

Keywords: forest growing conditions, forest crops, bioecological characteristics, soil, humus, dynamics.

References

1. Koba V. P., Krestyanishin I. A., Shvets Yu. P., Yarysh V. L. History and some results of the formation of forest cultures on the mountain yayls of the Crimean Mountains, *East European Scientific Journal*, **12**, 27 (2016).

2. Plugatar Yu. V., Korzhenevsky V. V. Typology and ecology of Crimean forests, *Coll. scientific works of GNBS*, **143**, 164 (2016).
3. Gorichev Yu. P., Davydychev A. N., Kulagin A. Yu., Suleimanov P. P. Soil-forest conditions of the western part of the South Ural reserve, *Bulletin of the Orenburg State University*, **6 (100)**, 565 (2009).
4. Plugatar Yu. V., Koba V. P., Novitsky M. L., et al. [Altitudinal zonality of soil conditions in mountain landscapes of the South-Eastern Crimea], *Zemledelie*, 8, 10 (2000) doi: 10.24411/0044-3913-2020-10802.
5. Sapanov M. K. Climatogenic factors of sudden changes in the course of tree growth. *Povolzhskiy ecological journal*, **2**, 253 (2019) <https://doi.org/10.35885/1684-7318-2019-2-253-263>.
6. Anuchin N. P. *Forest taxation*. University textbook, 5th edition, 552 p. (M.: Lesnaya promyshlennost, 1982).
7. Polyakov A. F., Plugatar Yu. V. *Forest formations of Crimea and their ecological role*, 326 p. (Kharkov: New Word, 2009).
8. *Agrophysical methods of soil research* [Text] / [Otv. ed. Dr. S.-kh. Sciences SI Dolgov]; Soil. in-t them. V. V. Dokuchaeva, 259 p. (Moscow: Nauka, 1966).
9. Arinushkina E. V. *Manual on chemical analysis of soils*. rev. and add, 488 p. (M.: Publishing house of Moscow University, 1970).
10. Terpelets V. I., Slyusarev V. N. *Teaching aid for the study of agrophysical and agrochemical methods of soil research*, 65 p. (Krasnodar: KubGAU, 2010).
11. Golubev V. N. *Biological flora of the Crimea*, 2nd ed., 126 p. (Yalta: NBS-NNC, 1996).
12. Rozhkov Yu. F., Kondakova M. Yu. Assessment of the dynamics of forest restoration after fires in the Olekminsky Reserve (Russia) using Landsat satellite images, *Nature Conservation Research. Conservation science*, **4**, 1 (2019).
13. Khovratovich T. S., Bartalev S. A., Kashnitsky A. B. A method for detecting forest changes by subpixel assessment of the projective cover of a tree canopy using multi-temporal satellite images, *Modern problems of remote sensing from space*, **16 (4)**, 102 (2019) ISSN: 2070-7401e ISSN: 2411-0280.
14. Lakin G. F. *Biometrics* [Text]: [textbook. manual for biol. specialist. universities], 4th ed., Rev. and add., 351 p. (M.: Higher school, 1990).
15. Koba V. P., Khromov A. F., Sakhno T. M. State and ecological structure of *Pinus pallasiana* D. Don populations in the lower belt of the Southern macroslope of the Main ridge of the Crimean Mountains. *Scientific Notes of V.I. Vernadsky Crimean Federal University Biology. Chemistry*, **6 (72)**, **2**, 75 (2020) DOI 10.37279 / 2413-1725-2020-6-2-75-84.
16. Korsakova S. P., Korzhenevsky V. V. Assessment of the ecological regime of plant habitats under conditions of climate change, *Proceedings of the Karadag Scientific Station named after T. I. Vyazemsky - Natural Reserve of the Russian Academy of Sciences*, **4 (8)**, 26 (2018).
17. Plugatar Yu. V., Trofimenko I. A., Shvets Yu. P., Semenyuk S. A. Dynamics of Crimean pine (*Pinus pallasiana* L.) plantations in the mountainous Crimea, *Forestry and agroforestry*, **114**, 80 (Kharkiv: UkrNDILGA, 2008).
18. Di Iorio A.; Lasserre, B.; Scippa, G.S.; Chiatante, D. Root System Architecture of *Quercus pubescens* Trees Growing on Different Sloping Conditions, *Annals of Botany*, **95(2)**, 351 (February 2005).

УДК 572.087

МОРФОФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ ОСОБЕННОСТИ МАЛЬЧИКОВ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ СОМАТОТИПА

Козлова А. П., Суботялов М. А.

*ФГБОУ ВО «Новосибирский государственный педагогический университет», Новосибирск,
Россия*

E-mail: anna-gajdarova@yandex.ru

Целью данной работы явился анализ морфофункциональных показателей у лиц подросткового возраста мужского пола Новосибирска в зависимости от соматотипа. Приводятся данные исследования морфофункциональных показателей у мальчиков 13–14 лет (152 подростка, распределенные по соматотипам: микросоматический, мезосоматический и макросоматический). Изучали следующие морфофункциональные показатели: длина и масса тела, обхват грудной клетки. Осуществлялся расчёт индексов: индекс Кердо, индекс Кетле, индекс Пинье, индекс Эрисмана, двойное произведение. Для оценки реакции сердечно-сосудистой системы на нагрузку проводили пробу Руфье, для оценки функциональных резервов дыхательной системы – пробу Штанге. По результатам исследования сформирован морфофункциональный индивидуально-типологический «портрет» каждого типа.

Ключевые слова: подростки, соматотип, морфофункциональный индивидуально-типологический «портрет».

ВВЕДЕНИЕ

Снижение показателей физического здоровья молодежи в нашей стране диктует необходимость проведения научно-аналитических работ по вопросам медицинской антропологии. В связи с этим для интегративной оценки морфофункциональных свойств организма в различные периоды онтогенеза возникает потребность применения конституционального (индивидуально-типологического) подхода, который позволяет объективно объяснить биохронологическое разнообразие, возникающее в процессе роста и созревания организма [1–4].

Актуальность конституционального подхода в комплексном исследовании организма человека является сегодня научно обоснованной и востребованной [5–7]. Данный подход находит свое применение в спорте и физической культуре [8, 9], а также в медицине [10]. Известно, что при патологических процессах тип конституции в существенной мере определяет границы клинической вариабельности и полиморфизма проявлений болезней человека [11, 12].

Работы, посвященные выяснению роли конституциональных морфофункциональных особенностей, могут расширить такого рода представления. Это необходимо не только для выявления индивидуально-типологических особенностей роста и созревания, темпа и гармоничности развития, факторов благополучия и уровня здоровья, но и может явиться диагностическим ключом к своевременному решению вопроса о показаниях к углубленному специализированному

обследованию, выбору профилактических мер, а также использоваться в психолого-педагогической деятельности, спортивной ориентации и отборе.

Целью работы явился анализ морфофункциональных показателей у лиц подросткового возраста мужского пола Новосибирска в зависимости от соматотипа.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В исследовании приняли участие 152 здоровых мальчика 13–14 лет, которые являлись учащимися СОШ № 82 г. Новосибирска (6–7 класс). Все обследуемые имели сходный уровень физической подготовки; подростков, серьезно занимающихся спортом, в обследование не включали. На проведение исследования получено разрешение этического комитета Новосибирского государственного педагогического университета (№ 34 от 24.04.2019 г.). Для проведения обследования было получено информированное добровольное согласие.

Антропометрические показатели измеряли по унифицированным методикам [13]. Для определения физического развития использовали следующие показатели: длина тела (ДТ), масса тела (МТ), обхват грудной клетки (ОГК) с дальнейшей их оценкой по центильным таблицам и определением соматотипа по схеме Р. К. Дорохова и И. И. Бахраха с выделением микро-, мезо- и макросоматического типов [14]. Осуществляли расчет индексов: индекс Кетле [$ИК = МТ (кг) / ДТ (м^2)$]; индекс Пинье [$ИП = ДТ (см) - (МТ (кг) + ОГК (см))$]; индекс Эрисмана [$ИЭ = ОГК (см) - ДТ (см) / 2$]; индекс Кердо [$ЧСС (уд. / мин.) / ДД (мм рт. ст.) \times 100$]; двойное произведение [$ДП = (ЧСС (уд. / мин.) \times САД (мм рт. ст.)) / 100$]. Для оценки реакции сердечно-сосудистой системы на нагрузку проводили пробу Руфье, для оценки функциональных резервов дыхательной системы – пробу Штанге.

Отбор обследуемых проводили сплошной выборкой среди здоровых подростков мужского пола после получения согласия на участие в исследовании. Статистическая обработка данных включала вычисление среднеарифметического значения, его ошибки. О значимости различий судили по величине t-критерия Стьюдента и считали их значимыми при $p \leq 0,05$. Нормальное распределение подтверждали правилом трёх сигм.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Сравнительный анализ морфофункциональных параметров мальчиков-подростков в зависимости от соматотипа выявил значимые различия по исследуемым показателям (табл. 1). ДТ, как показатель, характеризующий состояние пластических процессов в организме, статистически значимо увеличивается в ряду от микросоматического к макросоматическому типу.

МТ, как показатель, характеризующий конституциональные особенности развития костной и мышечной систем организма, является более лабильным параметром. В нашем исследовании МТ, ОГК также значимо увеличивались от микросоматического к макросоматическому типу, что свидетельствует об увеличении плотности телосложения в данном ряду. Данный факт подтверждает анализ индексов

Эрисмана, Пинье и Кетле. Индексы Кетле и Эрисмана увеличивались в ряду «Ми-Ме-Ма», индекс Пинье изменялся инверсионно в ряду «Ми-Ме-Ма».

Наряду с различием морфологических показателей, у мальчиков в данный период онтогенеза существуют различия и в функциональных показателях между представителями разных соматотипов.

Функциональное состояние сердечно-сосудистой системы мальчиков микро- и мезосоматического типа характеризовалось меньшим уровнем ДАД по сравнению с аналогичным показателем мальчиков макросоматического типа. Анализ САД и ЧСС не выявил статистически значимых отличий между разными соматотипами.

Основными гемодинамическими факторами, определяющими уровень АД, являются сердечный выброс, общее периферическое сопротивление сосудов, упругое напряжение аорты и ее крупных ветвей, а результирующей взаимодействия ударного объема сердца и факторов артериальной системы является пульсовое АД (ПД) [15, 16]. Максимальный показатель ПД выявлен у мальчиков микросоматического типа, у подростков макросоматического типа ПД имело минимальное значение.

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

Сердечно-сосудистая система, участвуя в процессах адаптации, подвергается существенному влиянию автономной нервной системы. Оценка соотношения вегетативных влияний на функциональное состояние миокарда осуществлялась по индексу Кердо. Анализ позволил выявить, что у микросоматиков данный показатель был статистически выше по сравнению с другими типами, что свидетельствует о большем преобладании симпатических влияний в деятельности вегетативной нервной системы.

Для оценки функциональных способностей дыхательной системы проводилась проба с произвольной задержкой дыхания. Результаты пробы Штанге статистически значимо меньше у мальчиков с мезосоматическим типом по сравнению с аналогичным показателем у мальчиков микро- и макросоматического типа. Выявленная особенность свидетельствует о меньшей степени адаптации дыхательного центра к гипоксии и гипоксемии и меньших функциональных резервах респираторной системы.

Функциональные возможности организма раскрываются наиболее полно при физических нагрузках и в условиях повышенных требований к нему. Функциональные пробы позволяют оценить общее состояние организма, его резервные возможности, особенности адаптации различных систем к физической нагрузке. В связи с этим была проведена проба Руфье. Было показано, что у

мальчиков макросоматического типа данный показатель был выше, чем в других группах, что свидетельствует о худшей реакции на физическую нагрузку по сравнению с другими соматотипами.

Таблица 1
Морфофункциональные особенности мальчиков 13–14 лет в зависимости от соматотипа (n = 152) (M±m)

<i>Показатель</i>	<i>Микросоматический тип (n = 52; 34 %)</i>	<i>Мезосоматический тип (n = 70; 46 %)</i>	<i>Макросоматический тип (n = 30; 20 %)</i>	<i>Достоверность</i>
Длина тела, см	153,7±1,3	159,3±0,8	161,8±1,1	Ми-Ме**, Ми-Ма***
Масса тела, кг	40,2±0,9	49,5±1,0	57,1±1,3	Ми-Ме***, Ми-Ма***, Ме-Ма***
ОГК, см	70,4±0,5	75,9±0,5	82,3±1,0	Ми-Ме***, Ми-Ма***, Ме-Ма***
Индекс Кетле, баллы	13,0±0,2	15,5±0,3	17,7±0,4	Ми-Ме***, Ми-Ма***, Ме-Ма***
Индекс Пинье, баллы	43,1±0,2	33,9±0,7	22,4±1,2	Ми-Ме***, Ми-Ма***, Ме-Ма***
Индекс Эрисмана, баллы	-6,4±0,1	-3,7±0,1	1,4±0,4	Ми-Ме***, Ми-Ма***, Ме-Ма***
ЧСС, уд в мин.	86,8±1,6	89,9±1,4	89,1±2,3	
САД, мм рт. ст.	108,0±1,2	111,5±1,1	108,6±1,8	
ДАД, мм рт. ст.	61,7±1,1	68,7±1,1	71,4±1,7	Ми-Ма***
ПД (пульсовое давление), мм рт. ст.	46,3±1,5	42,8±1,2	37,1±1,4	Ми-Ме**, Ме-Ма**, Ми-Ма***
ДП (двойное произведение) (индекс Робинсона), у.е.	93,8±1,1	99,2±2,1	96,7±3,2	Ми-Ме*
Штанге, сек	50,9±2,3	43,8±2,1	50,9±2,9	Ми-Ме*, Ме-Ма*
Индекс Кердо, у.е.	22,7±1,7	10,8±1,3	10,3±2,2	Ми-Ме***, Ми-Ма***
Руфье, баллы	6,3±0,8	7,8±0,4	9,8±0,5	Ми-Ма**, Ме-Ма**

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

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате исследования выявлены значимые морфофункциональные различия у мальчиков 13–14 лет в зависимости от соматотипа, что позволило сформировать морфофункциональный индивидуально-типологический «портрет» (табл. 2), позволяющий охарактеризовать особенности физического здоровья представителей каждого соматотипа. Полученные данные могут быть использованы в прикладных профессиональных сферах: профориентация, спортивный отбор, психолого-педагогическая и лечебно-профилактическая деятельность.

Таблица 2

Морфофункциональный индивидуально-типологический «портрет» мальчиков 13-14 лет а в зависимости от соматотипа

Показатель	Соматотип		
	Микросоматический тип	Мезосоматический тип	Макросоматический тип
Морфологический статус	Низкие показатели длины тела, массы тела, обхвата грудной клетки. Минимальная крепость (плотность) телосложения.	Средние показатели массы тела, обхвата грудной клетки. Средняя крепость (плотность) телосложения.	Высокие показатели длины тела, массы тела, обхвата грудной клетки. Максимальная крепость (плотность) телосложения.
Функциональный статус	Тенденция к низкому диастолическому и высокому пульсовому давлению. Средний показатель физической работоспособности. Высокий показатель функциональных резервов дыхательной системы и экономичности деятельности сердечно-сосудистой системы. Преобладание симпатических влияний в деятельности вегетативной нервной системы.	Средний показатель пульсового давления. Средний показатель физической работоспособности. Низкий уровень функциональных резервов респираторной системы и экономичности деятельности сердечно-сосудистой системы.	Тенденция к низкому пульсовому давлению. Удовлетворительный показатель физической работоспособности. Высокий показатель функциональных резервов дыхательной системы.

Список литературы

1. Кучиева М. Б. Жировой компонент массы тела у здоровых юношей и девушек 16–20 лет по данным биоимпедансометрии и антропометрии / М. Б. Кучиева, Е. В. Чаплыгина // Валеология. – 2016. – №3. – С. 5–12.
2. Мартиросов Э. Г. Технологии и методы определения состава тела человека / Э. Г. Мартиросов, Д. В. Николаев, С. Г. Руднев. – М.: Наука, 2006. – 248 с.
3. Никитюк Д. Б. Антропометрический метод и клиническая медицина / Д. Б. Никитюк, В. Н. Николенко, Р. М. Хайруллин, Т. Ш. Миннибаев, С. В. Чава, Н. Т. Алексеева // Журнал анатомии и гистопатологии. – 2013. – №2. – С. 10–15.
4. Николаев В. Г. Этнические особенности параметров биоимпедансометрии в юношеском возрасте / В. Г. Николаев, Л. В. Андреева, Р. Д. Юсупов, А. И. Кобежилов. // Biomedical and Biosocial Anthropology. – 2010. – №14. – С. 12–15.
5. Жвавый Н. Ф. Медицинская антропология – наука о человеке / Н. Ф. Жвавый, П. Г. Койносов, С. А. Орлов // Морфология. – 2008. – Т. 133, № 3. – С. 42–43.
6. Николаев В. Г. Методы оценки индивидуально-типологических особенностей физического развития человека / В. Г. Николаев, Е. П. Шарайкина, Л. В. Синдеева, В. П. Ефремова, В. А. Сапожников. – Красноярск: Изд-во КрасГМА, 2005. – 111 с.
7. Панасюк Т. В. Конституциональная принадлежность как основа прогноза роста и развития детей от 3 до 17 лет / Т. В. Панасюк // Автореф. дис. соискание ученой степени д-ра биол. наук. – СПб. 2008. – 30 с.
8. Калмыков С. В. Индивидуально-типологические особенности спортсменов Бурятии / С. В. Калмыков, А. С. Сагалеев, А. С. Цыбиков // Теория и практика физической культуры. – 2016. – № 4. – С. 59–61.
9. Almeida A. H. S. Somatotype analysis of physically active individuals / A. H. S. Almeida, S. A. Santos, P. J. P. Castro // J. Sports Med. Phys. Fitn. – 2013. – Vol. 53. – P. 268–273.
10. Чуян Е. Н. Индивидуально-типологический подход к исследованию процессов микроциркуляции крови / Е. Н. Чуян, М. Н. Ананченко // Ученые записки Крымского федерального университета имени В. И. Вернадского. Биология. Химия. – 2009. – №3(61). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/individualno-tipologicheskij-podhod-k-issledovaniyu-protsessov-mikrotsirkulyatsii-krovi> (дата обращения: 31.01.2021).
11. Николенко В. Н. Отечественная конституциональная анатомия в аспекте персонифицированной медицины / В. Н. Николенко, Д. Б. Никитюк, С. В. Чава // Сеченовский вестник. – 2013. – №4 (14). – С. 9–17.
12. Чаплыгина Е. В. Соматотипологическая характеристика жителей Ростовской области в возрастном аспекте / Е. В. Чаплыгина, Т. М. Сикоренко, Д. П. Осипов, Е. С. Елизарова // Медицинский вестник Северного Кавказа. – 2010. – №4 – С. 55–58.
13. Ставицкая А. Б. Методика исследования физического развития детей и подростков / А. Б. Ставицкая, Д. И. Арон. – М.: Медгиз, 1959. – 250 с.
14. Хрущев С. В. Детская спортивная медицина: руководство для врачей: 2-е изд., перераб. и доп. / С. В. Хрущев, С. Б. Тихнинский. – М.: Медицина, 1991. – 560 с.
15. Kelly R. Effect of reduced aortic compliance on left ventricular contractile function and energetics in vivo / R. Kelly, R. Tunin, D. Kass // Circ. Res. – 1992. – 71. – P. 490–502.
16. Zachariah J. P. Temporal Trends in Pulse Pressure and Mean Arterial Pressure During the Rise of Pediatric Obesity in US Children / J. P. Zachariah, D. A. Graham, S. D. de Ferranti, R. S. Vasan, J. W. Newburger, G.F. Mitchell // J. Am. Heart Assoc. – 2014. – 3. – e000725.
17. Суботялов М. А. Морфофункциональные и психофизиологические особенности юношей г. Новосибирска в зависимости от типа конституции / М. А. Суботялов // Морфология. – 2020. – Т. 158, № 4–5. – С. 87–92.

MORPHOFUNCTIONAL FEATURES OF BOYS DEPENDING ON THE SOMATOTYPE

Kozlova A. P., Subotyalov M. A.

*FSBEI of HE "Novosibirsk state pedagogical University", Novosibirsk, Russia
E-mail: anna-gajdarova@yandex.ru*

The aim of this work was to analyze the morphofunctional parameters in adolescent males of Novosibirsk, depending on the somatotype.

The data of the study of morphofunctional indicators in boys aged 13–14 years, students of secondary school № 82 in Novosibirsk (152 adolescents, distributed by somatotypes: microsomatic, mesosomatic and macrosomatic) are presented. All subjects had a similar level of physical fitness; adolescents who were seriously engaged in sports were not included in the survey.

Anthropometric indicators were measured using standardized methods. To determine physical development, the following indicators were used: body length, body weight, chest circumference, with their further assessment by centile tables and determination of the somatotype according to the scheme of R. K. Dorokhov and I. I. Bahrakh, with the allocation of micro -, meso- and macrosomatic types.

The following indices were calculated: Quetelet index; Pinier index; Erisman index; Kerdo index; double product. To evaluate the responsiveness of the cardiovascular system to the load test was carried out Rufe, to assess the functional reserves of the respiratory system – Stange's test.

The selection of subjects was carried out by a continuous sample among healthy male adolescents after obtaining consent to participate in the study. Statistical data processing included the calculation of the arithmetic mean and its error. The significance of the differences was judged by the Student's t-test and considered significant at $p < 0.05$. The normal distribution was confirmed by the three sigma rule.

The study revealed significant morphological differences in boys 13–14 years old depending on the somatotype, which allowed to form a morphological individual-typological portrait that characterizes the physical health of each somatotype.

Thus, for microsomatic boys, the following features are characteristic: low indicators of body length, body weight, chest girth, minimal strength (density) of the physique; a tendency to low diastolic and high pulse pressure; an average indicator of physical performance; a high indicator of the functional reserves of the respiratory system and the efficiency of the cardiovascular system; the predominance of sympathetic influences in the activity of the autonomic nervous system.

Boys belonging to the mesosomatic type are characterized by average indicators of body weight, chest girth, average strength (density) of the body; average indicators of pulse pressure, physical performance; low level of functional reserves of the respiratory system and efficiency of the cardiovascular system.

Macrosomatic boys are characterized by high indicators of body length, body weight, chest girth, maximum strength (density) of the body; a tendency to low pulse pressure; a

satisfactory indicator of physical performance; a high indicator of the functional reserves of the respiratory system.

The obtained data can be used in applied professional areas: career guidance, sports selection, psychological and pedagogical and therapeutic and preventive activities.

Keywords: adolescents, somatotype, morphofunctional individual-typological «portrait».

References

1. Kuchieva M. B., Chaplygina E. V. Fat component of body mass in healthy boys and girls aged 16-20 years according to bioimpedance and anthropometry data, *Valeologiya*, **3**, 5 (2016).
2. Martirosov E. G., Nikolaev D. V., Rudnev S. G. *Technologies and methods for determining the composition of the human body* (Moscow: Nauka, 2006).
3. Nikityuk D. B., Nikolenko V. N., Khairullin R. M., Minnibayev T. Sh., Chava S. V., Alekseeva N. T. Anthropometric method and clinical medicine, *Journal of Anatomy and Histopathology*, **2**, 10 (2013).
4. Nikolaev V. G., Andreeva L. V., Yusupov R. D., Kobezhikov A. I. Ethnic features of bioimpedance parameters in the youth age, *Biomedical and Biosocial Antropology*, **14**, 12 (2010).
5. Zhvavy N. F., Koinosov P. G., Orlov S. A. *Meditsinskaya antropologiya-nauka o cheloveka, Morphologiya*, **133 (3)**, 42 (2008).
6. Nikolaev V. G., Sharaikina E. P., Sineeveva L. V., Efremova V. P., Sapozhnikov V. A. *Methods of evaluation of individual-typological features of physical development of a person* (Krasnoyarsk: Publishing house of KRASMA, 2005).
7. Panasyuk T. V. Constitutional affiliation as the basis for the forecast of growth and development of children from 3 to 17 years, Autoref. dis. application for the degree of Doctor of Biological Sciences (St. Petersburg, 2008), p. 30.
8. Kalmykov S. V., Sagaleev A. S., Tsybikov A. S. Individual-typological features of athletes of Buryatia, *Theory and practice of physical culture*, **4**, 59 (2016).
9. Almeida A. H. S., Santos S. A., Castro P. J. P. Somatotype analysis of physically active individuals, *J. Sports Med. Phys. Fitn.*, **53**, 268 (2013).
10. Chuyan E. N., Ananchenko M. N. Individual-typological approach to the study of blood microcirculation processes, *Scientific Notes of V.I. Vernadsky Crimean Federal University*, **3 (61)**, 249 (2009).
11. Nikolenko V. N., Nikityuk D. B., Chava S. V. Domestic constitutional anatomy in the aspect of personalized medicine, *Sechenovsky vestnik*, **4 (14)**, 9 (2013).
12. Chaplygina E. V., Sidorenko D. P., Osipov E. S., Elizarova T. M. Somatotypological characteristics of residents of the Rostov region in the age aspect, *Medical Bulletin of the North Caucasus*, **4**, 55 (2010).
13. Stavitskaya A. B., Aron D. I. *Methodology of research of physical development of children and adolescents* (Moscow: Medgiz, 1959).
14. Khrushchev S. V., Tehniski S. B. *Children's sports medicine: a guide for doctors: 2nd ed., reprint. and EXT.* (M.: Medicine, 1991).
15. Kelly R., Tunin R., Kass D. Effect of reduced aortic compliance on left ventricular contractile function and energetics in vivo, *Circ. Res.*, **71**, 490 (1992).
16. Zachariah J. P., Graham D. A., De Ferranti S. D., Vasan R. S., Newburger J. W., Mitchell G. F. Temporal Trends in Pulse Pressure and Mean Arterial Pressure During the Rise of Pediatric Obesity in US Children, *J. Am. Heart Assoc.*, **3**:e000725 (2014).
17. Subotyaylov M. A. Morphofunctional and psychophysiological characteristics of young people in Novosibirsk, depending on the type of constitution, *Morphology*, **158(4-5)**, 87 (2020).

УДК 577.112:612

ОКИСЛИТЕЛЬНАЯ МОДИФИКАЦИЯ ПРОТЕИНОВ И АНТИОКСИДАНТНАЯ АКТИВНОСТЬ В ЭРИТРОЦИТАХ ПРИ ЦИРРОЗЕ ПЕЧЕНИ

Коношенко С. В.¹, Елкина Н. М.², Варданян А. Г.¹, Большакова А. А.¹

¹*Таврическая академия (структурное подразделение) ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет имени В. И. Вернадского», Симферополь, Республика Крым, Россия*

²*Медицинская академия им. С. И. Георгиевского (структурное подразделение) ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет имени В. И. Вернадского», Симферополь, Республика Крым, Россия*

E-mail: svkonoshenko@inbox.ru

Показано, что при циррозе печени в эритроцитах существенно возрастает интенсивность процессов окислительной модификации протеинов. Более выраженное образование продуктов окислительной модификации протеинов наблюдается в мембранах эритроцитов по сравнению с их цитозольной фракцией. Интенсификация окислительной модификации протеинов в эритроцитах больных сочетается с изменениями активности отдельных антиоксидантных ферментов. В цитозольной фракции эритроцитов наблюдается снижение активности глутатионредуктазы и существенное повышение активности каталазы.

Ключевые слова: эритроциты, окислительная модификация протеинов, антиоксидантная активность, глутатионредуктаза, каталаза, патология, цирроз печени.

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время известно, что при многих заболеваниях нарушается прооксидантно-антиоксидантное равновесие, усиливается генерирование активных форм кислорода (АФК), развивается т.н. окислительный стресс [1–4]. Под действием АФК усиливаются деструктивные процессы, о чём свидетельствует интенсификация перекисного окисления липидов к окислительной модификации протеинов [5–7].

Как правило, эти процессы приобретают цепной, лавинообразный характер и ведут к ещё большему генерированию АФК. Интересным является тот факт, что независимо от локализации патологического процесса в него вовлекаются эритроциты, отвечая изменениями своего метаболического состояния [6–9]. Представляется важным понять характер и направленность изменений в клетках разного типа, в частности, в эритроцитах, в условиях патологии и окислительного стресса; выяснить какие из происходящих изменений имеют деструктивный характер и какие из них могут иметь компенсаторно-адаптивное значение.

В связи с этим, целью настоящей работы являлось изучение окислительной модификации протеинов и антиоксидантной активности в эритроцитах при циррозе печени.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Материалом для исследований служили эритроциты практически здоровых людей (20 человек в возрасте от 35 до 45 лет) и больных циррозом печени (15 человек в возрасте от 45 до 60 лет). Кровь здоровых людей брали на базе ГБУЗ РК «Центр крови», г. Симферополь, кровь больных – на базе ГБУЗ РК «Клиническая больница № 7», г. Симферополь. Кровь больных брали при поступлении в стационар, перед началом лечения.

Эритроциты гемолизировали по методу, описанному в литературе [10]. Мембраны отделяли от гемолизата последовательным отмыванием суспензии физраствором и дистиллированной водой.

В мембранах и гемолизате эритроцитов определяли содержание продуктов окислительной модификации протеинов (ОМП), используя спектрофотометрический метод [11]. Альдегидные и кетонные продукты модификации протеинов нейтрального характера идентифицировали при 356 нм и 370 нм, альдегидные и кетонные продукты основного характера идентифицировали при 430 нм и 530 нм. В гемолизате эритроцитов определяли также активность глутатионредуктазы [12] и каталазы [13].

Полученные данные обрабатывали статистически с применением t-критерия Стьюдента.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Как показали результаты исследований, в эритроцитах больных циррозом печени наблюдается существенная интенсификация процессов окислительной модификации протеинов. Так, в гемолизате эритроцитов больных (табл. 1) содержание продуктов окислительной модификации протеинов нейтрального характера возрастало в 4,2 раза (альдегиды) и в 4,5 раза (кетоны); содержание продуктов модификации основного характера увеличивалось в 3,6 раза (альдегиды) и в 5,9 раза (кетоны) по сравнению с контрольной группой. При этом заметно более выраженное преобладание содержания кетонных продуктов окислительной модификации протеинов, как основного, так и нейтрального характера.

В мембранах эритроцитов больных также отмечено увеличение уровня продуктов ОМП по сравнению с контрольной группой (табл. 2). Содержание альдегидных продуктов ОМП нейтрального характера увеличивалось в 11,7 раза, содержание кетонных продуктов нейтрального характера возрастало в 7,4 раза; содержание продуктов ОМП основного характера увеличивалось в 3,0 и в 1,7 раза (альдегиды и кетоны, соответственно). Прослеживается существенное увеличение содержания в мембранах эритроцитов больных продуктов ОМП нейтрального характера.

В целом, в мембранах эритроцитов больных отмечена более выраженная интенсификация процессов окислительной модификации протеинов по сравнению с

гемолизатом. Как известно из литературы [4], клеточные мембраны являются одной из первых мишеней для АФК, осуществляющих, в частности, процессы перекисного окисления липидов. Очевидно, что мембранные протеины, наряду с липидами, вовлекаются в окислительные процессы, ведущие к модификации отдельных аминокислотных остатков и в дальнейшем к более глубоким структурным изменениям белковых молекул.

Усиление процессов окислительной модификации протеинов в эритроцитах больных циррозом печени сочеталось с изменениями в активности двух антиоксидантных ферментов – каталазы и глутатионредуктазы (табл. 3). Так, активность глутатионредуктазы в гемолизате эритроцитов больных была в 1,6 раза ниже уровня контрольной группы, что может быть неблагоприятным фактором в процессах поддержания оптимального уровня, восстановленного глутатиона.

Таблица 1
Содержание продуктов окислительной модификации протеинов (ОМП) в гемолизате эритроцитов больных циррозом печени (M±m)

Обследованные группы	Содержание продуктов ОМП, ед. опт.пл. • мл ⁻¹			
	продукты нейтрального характера		продукты основного характера	
	альдегиды, 356 нм	кетоны, 370 нм	альдегиды, 430 нм	кетоны, 530 нм
Контрольная группа	0,208 ± 0,007	0,235 ± 0,009	0,260 ± 0,01	0,058 ± 0,004
Больные циррозом печени	0,868 ± 0,140 *	1,054 ± 0,170 *	0,927 ± 0,176 *	0,344 ± 0,063 *

Примечание: * x – достоверность различия показателя по сравнению с контрольной группой (p<0,05).

Таблица 2
Содержание продуктов окислительной модификации протеинов (ОМП) в мембранах эритроцитов больных циррозом печени (M±m)

Обследованные группы	Содержание продуктов ОМП, ед. опт.пл. • мл ⁻¹			
	продукты нейтрального характера		продукты основного характера	
	альдегиды, 356 нм	кетоны, 370 нм	альдегиды, 430 нм	кетоны, 530 нм
Контрольная группа	0,115 ± 0,008	0,142 ± 0,009	0,153 ± 0,012	0,026 ± 0,003
Больные циррозом печени	1,340 ± 0,176 *	1,050 ± 0,094 *	0,464 ± 0,063 *	0,045 ± 0,007 *

Примечание: * – достоверность различия показателя по сравнению с контрольной группой (p<0,05).

Таблица 3

**Активность глутатионредуктазы и каталазы в гемолизате эритроцитов
больных циррозом печени (M±m)**

Обследованные группы	Активность каталазы, ммоль. с ⁻¹ . л ⁻¹	Активность глутатионредуктазы, нмоль. мин ⁻¹ . мл ⁻¹ .
Контрольная группа	0,065 ± 0,006	0,590 ± 0,026
Больные циррозом печени	0,228 ± 0,015 *	0,360 ± 0,022 *

Примечание: * – достоверность различия показателя по сравнению с контрольной группой (p<0,05).

Вместе с этим, наблюдается увеличение активности каталазы: в 3,5 раза по сравнению с контрольной группой. Вполне вероятно, что увеличение активности каталазы в эритроцитах больных циррозом печени может иметь компенсаторное значение.

Этот факт представляет определенный интерес, так как пероксид водорода является ключевым «проводником» основных путей генерирования активных форм кислорода [5] и его бесконтрольное накопление в эритроцитах может привести к «взрыву» окислительных реакций, ведущих к деструктивным изменениям не только белков и липидов, но и других органических соединений.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На основании результатов исследований можно сделать следующие выводы:

1. В эритроцитах больных циррозом печени возрастает интенсивность окислительной модификации протеинов, о чём свидетельствует более выраженное образование альдегидных и кетонных продуктов модификации как нейтрального, так и основного характера.
2. По сравнению с цитозольной фракцией в мембранах эритроцитов больных прослеживается более интенсивное образование альдегидных и кетонных продуктов окислительной модификации протеинов нейтрального характера.
3. В цитозольной фракции эритроцитов больных циррозом печени изменяется активность антиоксидантных ферментов: снижается активность глутатионредуктазы и возрастает активность каталазы.
4. Повышение активности каталазы в эритроцитах в условиях интенсификации окислительных реакций деструктивного характера может иметь компенсаторное значение.

Список литературы

1. Азизова О. А. Взаимосвязь маркеров окислительного стресса с клиническим течением хронической ишемии мозга / О. А. Азизова // Журнал неврологии и психиатрии им. С. С. Корсакова. – 2013. – №9. – С. 21–27.

2. Курашова Н. А. Особенности окислительного стресса при различных патологических состояниях у мужчин репродуктивного возраста / Н. А. Курашова // Бюлл. Восточно – Сибирского научного центра СО РАМН. – 2012. – №2 (2). – С. 31–35.
3. Луцкий М. А. Формирование окислительного стресса как одного из звеньев сложного патогенеза социально-значимых заболеваний нервной системы: инсульта и рассеянного склероза / М. А. Луцкий, А. М. Земсков, М. А. Смелянец и др. // Фундаментальные исследования. – 2014. – №10. – С. 27–32.
4. Владимиров Ю. А. Активные формы кислорода и азота: значение для диагностики, профилактики и терапии / Ю. А. Владимиров // Биохимия. – 2004. – Т. 69, Вып.1. – С. 5–7.
5. Дубинина Е. Е. Окислительная модификация белков: окисление триптофана и образование битирозина в очищенных белках с использованием системы Фентона / Е. Е. Дубинина, С. В. Гавровская, Е. В. Кузьмич и др. // Биохимия. – 2002. – Т. 67, Вып. 3. – С. 413–421.
6. Елкина Н. М. Липидный состав и пероксидация липидов в эритроцитах при железодефицитной анемии / Н. М. Елкина, С. В. Коношенко // Уч. записки Крымского федерального университета им. В. И. Вернадского. – 2015. – Т. 1(67), №1. – С. 25–29.
7. Елкина Н. М. Процессы пероксидации липидов и генерирование активных форм кислорода в эритроцитах больных кардиомиопатией / Н. М. Елкина, С. В. Коношенко // Уч. записки Крымского федерального университета им. В. И. Вернадского. – 2015. – Т. 1(67), №1. – С. 30–35.
8. Новицкий В. В. Белковый спектр мембран эритроцитов у больных раком лёгкого и с опухолями головы и шеи / В. В. Новицкий, К. Г. Корешкова, Е. А. Степовая и др. // Бюл. экспер. биол. и медицины. – 1999. – Т. 127. – Прил. 1. – С. 18–20.
9. Йолкіна Н. М. Стан процесів пероксидації ліпідів, розпаду білків та активність окремих антиоксидантних ферментів в еритроцитах при ішемічній хворобі серця і кардіоміопатії / Н. М. Йолкіна, С. В. Коношенко, Іліас Шашуа, Е. С. Крутіков, З. М. Мірмуїнова // Експериментальна та клінічна фізіологія і біохімія. – 2011. – №4. – С. 52–56.
10. Drabkin D. A simplified technique for large scale crystallization myoglobin and hemoglobin in the crystalline / D. Drabkin // Arch. Biochem. – 1959. – V. 21. – P. 224–226.
11. Дубинина Е. Е. Окислительная модификация белков сыворотки крови человека, метод её определения / Е. Е. Дубинина, С. О. Бурмистров, Д. А. Ходов и др. // Вопр. медицинской химии. – 1996. – Т. 41, №1. – С. 24–26.
12. Агабели Р. А. Антиоксиданты и антиоксидантные ферменты / Р. А. Агабели // Баку. – 1989. – 120 с.
13. Королюк М. А. Метод определения активности каталазы / М. А. Королюк, Л. И. Иванова, И. Г. Майорова, В. Е. Токарев // Лаб. дело. – 1988. – №1. – С. 16–19.

OXIDATIVE MODIFICATION OF PROTEINS AND ANTIOXIDATIVE ACTIVITY IN ERYTHROCYTES WHEN CIRRHOSIS OF LIVER

Konoshenko S. V., Elkina N. M., Vardanjan A. G., Bolshakova A. A.

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

It is known, that under different diseases the balance in prooxidative and antioxidative processes is destroyed and oxidative stress is realized. These processes are connected with productive of oxygen active forms that leads to change of molecular and cellular structures [1–4]. Today we have many dates about that under some diseases with oxidative stress erythrocytes are involved in pathological processes as demonstrated by biochemical changes occurring in them [5–9]. In this regard, it is interest to examine the

state of the processes of protein oxidative modification and antioxidative activity in erythrocytes when cirrhosis of liver.

The materials for the study were the erythrocytes of healthy subjects (20 persons at 35–45 years old) and erythrocytes of 15 persons with cirrhosis of liver (at 45–60 years old). The erythrocytes were hemolysated by distilled water. Membranes of erythrocytes were separated from hemolysate (cytosol fraction) by method of centrifugation [10]. In membranes and hemolysate of erythrocytes the content of proteins oxidative modification products was determined [11]. In hemolysates of erythrocytes the activity of glutathione-reductase [12] and catalase [13] were determined. It has been shown that under cirrhosis of liver in cytosol fraction and membranes of erythrocytes the processes of proteins oxidative modification are intensified. So, in hemolysate of erythrocyte of patients the content of neutral products was raised at 4,2 times (aldehydes) and at 4,5 times (ketons); the content of basic products was raised at 3,6 time and 5,9 time (aldehydes and ketons, accordingly) as compared with control group.

In membranes of erythrocytes of patients the content of basic products was raised at 3,0 and 1,7 time (aldehydes and ketons), the content of neutral products was raised at 11,7 time (aldehydes) and at 7,4 time (ketons).

At the same time, the activity of antioxidative enzymes was changed also: the activity of glutathione-reductase was lowered at 1,6 time as compared with the control group and the activity of catalase was raised at 3,5 time.

The obtained data evidence about intensification of destructive processes in erythrocytes when cirrhosis of liver and about possibility of development of compensatory processes in erythrocytes under this pathology.

Keywords: erythrocytes, proteins oxidative modification, antioxidative activity, glutathione-reductase, catalase, pathology, cirrhosis of liver.

References

1. Azizova O. A., Interaction of markers of oxidative stress with clinical proceed of chronic brain ischemia, *J. Neurology and psychiatry*, **9**, 21 (2013).
2. Kurashova N. A., Peculiarities of oxidative stress under different state of man in reproductive age, *Bull. East-Siberian scientific centre SD RAMN*, **2(2)**, 31 (2012).
3. Lutskij M. A., Zemskov A. M., Formation of oxidative stress as one from links of difficult pathogenesis of social diseases of nervous system-insult and diffuse cerebral sclerosis, *Fundam. researches*, **10**, 27 (2014).
4. Vladimirov U. A., The active forms of oxygen and nitrogen: significance for diagnostic, prophylactic and therapeutics, *Biochemistry*, **69**, **1**, 5 (2004).
5. Dubinina E. E., Govrovskaja S. V., Kuzmich E. V. et al., Oxidative modification of proteins: oxidative of tryptophane and bityrosine in purified proteins with using Fenton system, *Biochemistry*, **67**, **3**, 413 (2002).
6. Yolkina N. M., Konoshenko S. V., Lipids composition and lipids peroxidation in erythrocytes under iron-deficiency anemia, *Sc. notes of V. I. Vernadsky Crimean Federal University*, **1(67)**, **1**, 25 (2015).
7. Yolkina N. M., Konoshenko S. V., Processes of lipids peroxidation and oxygen active forms formation in erythrocytes of patients with cardiomyopathy, *Sc. notes of V. I. VernadskyTaurida University, Biology and Chemistry*, **1(67)**, **1**, 30 (2015).
8. Novitsky V. V., Koreshkova K. G., Stepovaja E. A. et al, Protein spectre of erythrocytes membranes of patients with lung cancer and tumor of head and neck, *Bul. experiment. biology and medicine*, **127**, **1**, 18 (1999).

9. Yolkina N. M., Konoshenko S. V., Shashua Ilias, Krutikov E. S., Mirmuminova Z. M., The state of processes of lipids peroxidation, proteins destruction and activity of antioxidative enzymes in erythrocytes of patients with ischemic heart disease and cardiomyopathy, *Experiment. and clinical physiology and biochemistry*, **4**, 52 (2011).
10. Drabkin D., A simplified technique for large scale crystallization myoglobin and haemoglobin in the crystalline, *Arch. Biochem.*, **21**, 224 (1959).
11. Dubinina E. E., Burmistrev S. O., Hodov D. A. et al, Oxidative modification of proteins of human blood serum, the method of their determination, *Voprosi medical chem.*, **41**, **1**, 24 (1996).
12. Agabeli R. A., Antioxidants and antioxidative enzymes, 120 (Bacu, 1989).
13. Koroljuk M. A., Jvanova L. I., Majorova I. G. et al, Method of studing of catalase activity, *Lab. delo*, **1**, 16 (1988).

УДК 631.461

DOI 10.37279/2413-1725-2021-7-1-90-102

ПРОВЕРКА НАБОРА ПАРАМЕТРОВ ДЛЯ ИНТЕГРАЛЬНОЙ ОЦЕНКИ ЭКОЛОГО-БИОЛОГИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ПОЧВ ПРИ ОРГАНИЧЕСКОМ ЗЕМЛЕДЕЛИИ

*Кулагина В. И., Сунгатуллина Л. М., Рязанов С. С., Хайруллина А. М.,
Шагидуллин Р. Р., Рупова Э. Х.*

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

Изучены возможности интегрального показателя, рассчитанного на основе численности трофических групп микроорганизмов и эколого-трофических индексов, содержания азота и гумуса, для выявления значимых отличий эколого-биологического состояния почв при органическом и традиционном земледелии. Исследования выполнены на серых лесных почвах в Республике Татарстан. Показано, что из 10 исследованных параметров наиболее информативными являлись численность амилотических микроорганизмов, актиномицетов и аммонифицирующих микроорганизмов, наименее информативными – трофические индексы. Интегральный показатель биологического состояния почв (ИПБС) закономерно изменялся в зависимости от уровня антропогенной нагрузки на почвы при использовании для его расчета как 3 самых информативных параметров, так и большего их количества, в том числе и всех 10 исследованных параметров.

Ключевые слова: почва, органическое земледелие, эколого-биологическая оценка, численность микроорганизмов, трофические группы микроорганизмов.

ВВЕДЕНИЕ

Со вступлением в силу с 1 января 2020 г. Федерального закона "Об органической продукции..." ожидается, что органическое земледелие в России начнет развиваться ускоренными темпами [1]. Предназначение органического земледелия заключается не только в том, чтобы обеспечивать население органическими продуктами. Еще одна задача органического сельского хозяйства, изначальная концепция которого подразумевала своеобразную альтернативу традиционному – улучшение и сохранение состояния экосистемы, плодородия почвы, экологических циклов и биоразнообразия.

В связи с предполагаемым ростом количества хозяйств, сертифицируемых как органические согласно российским нормативным документам, поиск способов объективной оценки эколого-биологического состояния почв становится все более актуальной задачей. В настоящий момент четко сформулированные требования к эколого-биологическому состоянию почв, используемых в органическом земледелии, отсутствуют. Соответствующий ГОСТ все еще находится в разработке.

К. Ш. Казеев, В. Ф. Вальков и С. И. Колесников предложили использовать для

оценки эколого-биологического состояния почв при разных видах антропогенного воздействия интегральный показатель биологического состояния почв (ИПБС), при расчете которого используется несколько параметров [2, 3]. Набор параметров может изменяться в зависимости от целей и условий исследования [2].

Исследований по использованию ИПБС для оценки воздействия органического земледелия на почвы в настоящее время очень мало [4]. Набор наиболее подходящих параметров для расчета ИПБС для выявления изменения состояния почв при переходе от традиционного земледелия к органическому также не определен. Поэтому была сделана попытка рассмотреть возможность использования микробиологических и других связанных с ними параметров для оценки эколого-биологического состояния почв при органическом земледелии.

Целью работы было оценить возможности интегрального показателя, рассчитанного на основе численности трофических групп микроорганизмов и эколого-трофических индексов, содержания азота и гумуса, для выявления значимых отличий эколого-биологического состояния почв при традиционном и органическом земледелии.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Объектами исследования являлись серые лесные почвы двух фермерских хозяйств Республики Татарстан. Отбор смешанных образцов почв проведен в 2019 г. с полей с традиционной и органической (3–5 лет непрерывной практики) системами земледелия, а также с соседних необрабатываемых фоновых участков. Каждый смешанный образец составлен из 20–40 точечных проб с элементарного участка. Список всех обследованных полей и участков представлен в таблице 1.

Содержание гумуса и общего азота определяли общепринятыми методами.

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

- 1) аммонифицирующих – на мясо-пептонный агар (МПА);
- 2) амилолитических – на крахмал-аммиачный агар (КАА);
- 3) актиномицетов – посев также на КАА, но подсчитывались отдельно;
- 4) педотрофных микроорганизмов – на почвенный агар;
- 5) целлюлозоразрушающих микроорганизмов – на агаризованную среду

Гетчинсона;

- 6) микроскопических грибов (микромикетов) – на среду Чапека.

В качестве эколого-трофических индексов были выбраны: 1) коэффициент минерализации и иммобилизации по Е. Н. Мишустину [5]; 2) индекс педотрофности по Никитину [6].

Расчет ИПБС производился по методике, предложенной В. Ф. Вальковым, К. Ш. Казеевым и С. И. Колесниковым [2, 3].

Достоверность разницы между органическими, традиционными полями и фоновыми участками оценивали с помощью теста Данна, $p < 0,05$.

Таблица 1

Перечень обследованных полей

Обозн.	Описание и история
Мамадышский район, близ с. Березовая Поляна	
МЗ16	Органическое. Садовая земляника сорт «Клери». Посадка 2016 года. Без рыхления. Биопрепараты и биогумус фирмы «Сотка зелени».
МЗ17	Органическое. Садовая земляника сорт «Клери». Посадка 2017 года. В 2018 году обработка препаратами «Фитотрикс» + «Фитотонус». Обработка микроудобрением «Биополимик». В 2019 году внесен биогумус.
МТ	Традиционное. Озимая пшеница. Интенсивно применялись гербициды, в последнее время начали применять и бактериальные препараты.
МФ	Фоновый участок на склоне. Луговая растительность, кустарники.
Высокогорский район, близ с. Большие Ковали	
ВТ1	Традиционное. 2015 – картофель, 200-250 кг/га диаммофоски; 2016 – яровая пшеница, 100 кг азофоски при посеве; 2017 – гречиха, 80 кг диаммофоски; 2018 – ячмень, 80 кг азофоски, с подсевом клевера; 2019 – запахан зеленый пар.
ВО1	Органическое. 2015 – картофель; 2016 – гречиха; 2017 – овес с подсевом клевера; 2018 – клевер на сидерат запахан; 2019 – озимая рожь.
ВТ2	Традиционное. 2016–2018 люцерна; 80 кг/га азофоски при посеве; 2018–2019 – озимая рожь, корневая подкормка 120–150 кг аммиачной селитры.
ВО2	Органическое. 2016–2018 люцерна; 2019 – озимая рожь.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Показатели для расчета ИПБС должны соответствовать нескольким критериям: чувствительность, информативность, незначительная переменчивость и незначительная трудоемкость и др. [2]. Однако частью критериев можно пренебречь, если показатель является информативным.

Определение численности трофических групп микроорганизмов методом посева на твердые среды считается трудоемким анализом. В то же время численность трофических групп микроорганизмов, несомненно, является чувствительным параметром, очень быстро реагирующим на изменение внешних условий.

Параметр считается информативным, если коррелирует с уровнем антропогенной нагрузки. В данном случае информативные параметры должны закономерно изменяться в ряду: фоновые участки – органические поля – поля с традиционным земледелием. Желательно, чтобы разница численности микроорганизмов данной трофической группы отличалась на органических и

традиционных полях статистически значимо. Или необходимо выбрать такие группы микроорганизмов, чтобы рассчитанный на их основе интегральный показатель эколого-биологического состояния почв был наиболее информативным.

Проведенные исследования показали, что численность разных трофических групп микроорганизмов по-разному распределяется на органических и традиционных полях.

Численность основных групп микроорганизмов по результатам посева на питательные среды приведена в таблице 2.

Аммонификаторы. В образцах почв, отобранных в Мамадышском районе, наибольшие значения численности аммонификаторов наблюдались для участка с земляникой садовой 2016 г. посадки (МЗ16) – на этом поле численность аммонифицирующих микроорганизмов в 5,5 раз выше, чем на фоновом участке (МФ). По этой причине численность аммонификаторов на поле МЗ16 не использовалось для расчёта интегрального показателя, так как такой всплеск численности, очевидно, является кратковременным ответом на внесение биопрепаратов. Схожий эффект от внесения биопрепаратов отмечался и другими авторами [7, 8].

Таблица 2
Численность групп микроорганизмов в почвах исследованных полей
(среднее ± стандартное отклонение)

	Аммонификаторы 10 ⁶ КОЕ/г	Педотрофы 10 ⁶ КОЕ/г	Амилотитики 10 ⁶ КОЕ/г	Актиномицеты 10 ⁶ КОЕ/г	Целлюлозоразрушающие 10 ⁴ КОЕ/г	Грибы 10 ⁴ КОЕ/г
МЗ16	243,0±56,6	62,2±13,8	20,8±4,3	6,6±3,3	15,8±0,8	15,4±2,9
МЗ17	36,8±3,1	59,2±7,9	16,4±4,7	6,2±1,5	17,5±7,2	8,2±0,2
МТ	28,2±17,1	92,7±25,9	9,5±1,4	6,0±1,7	25,1±7,1	5,7±0,5
МФ	45,8±10,5	25,3±4,1	24,2±0,1	12,7±1,4	5,4±0,6	19,6±3,2
ВТ1	12,2±2,5	18,2±2,5	12,2±0,4	3,7±0,6	10,6±5,0	5,9±5,0
ВО1	24,3±5,9	47,9±0,8	19,5±0,9	6,5±0,9	11,2±4,2	11,8±6,7
ВТ2	23,8±1,8	31,9±8,0	9,9±0,3	3,9±0,7	3,1±2,7	26,3±10,6
ВО2	26,6±3,6	20,9±2,7	17,9±0,3	5,6±1,1	4,4±0,9	13,9±7,2

По сравнению с остальными полями фоновый участок (МФ) характеризуется высоким значением численности аммонифицирующих микроорганизмов (табл. 2). Это согласуется с данными Т.Н. Ажогиной с соавторами, которые также отмечали максимальную численность аммонификаторов при низкой антропогенной нагрузке [9].

Традиционное поле (МТ) характеризовалось в полтора раза более низкой численностью аммонифицирующих микроорганизмов в сравнении с МФ. Участок с

земляникой садовой 2017 г. посадки (МЗ17), возделываемый по принципам органического земледелия, обладал промежуточными значениями между фоном МФ и традиционным полем МТ. То есть, если отбросить данные для поля МЗ16, то средняя численность аммонификаторов в серых лесных почвах фермерского хозяйства Мамадышского района последовательно уменьшалась в ряду: целинный участок – органическое поле – поле с традиционным земледелием. Однако, различия между почвами Мамадышского района по численности аммонификаторов, оказались статистически не значимыми (тест Данна, $p < 0,05$).

Почвы полей Высокогорского района показали более высокую численность аммонификаторов при органическом земледелии без применения минеральных удобрений (ВО1 и ВО2), чем соседние участки с традиционным земледелием (ВТ1 и ВТ2). Обработка результатов также не подтвердила статистической значимости отличий. Возможно, из-за вариабельности параметра. Коэффициент вариации в пределах одного поля колебался от 7,4 % (слабое варьирование) до 60 % (значительное варьирование), хотя чаще всего находился в пределах 20–24 % (среднее варьирование) [10].

Педотрофы. Педотрофные микроорганизмы играют важную роль в круговороте углерода, участвуют в разложении органического вещества в почвах [6]. Высокая численность педотрофных микроорганизмов «может косвенно указывать на активные процессы деструкции гумуса» [11]. На необрабатываемых участках их численность обычно бывает ниже. В частности, О. Л. Тонха с соавторами отмечал, что численность педотрофных микроорганизмов убывает в ряду: пашня – целина [12].

Проведенные нами исследования показали, что в серых лесных почвах Мамадышского района численность педотрофных микроорганизмов закономерно убывает в ряду: традиционное поле – органические поля – фоновый целинный участок. Статистическая обработка результатов показала наличие значимых отличий по численности педотрофов только между органическими полями и целинным фоновым участком.

В почвах Высокогорского района численность данной группы микроорганизмов не показала зависимости от типа земледелия (табл. 2).

Коэффициент вариации численности педотрофов в пределах одного поля в большинстве случаев свидетельствует о среднем варьировании признака и колеблется от 12,8 % до 24,9 %, хотя на традиционном поле МТ варьирование сильное, коэффициент вариации составляет 27,9 %.

Амилолитики. Амилолитические микроорганизмы способны использовать минеральный азот почвы, тем самым способствуя его иммобилизации.

В серых лесных почвах Мамадышского района минимальная численность амилолитических микроорганизмов выявлена на поле с традиционным земледелием (МТ), максимальная – на целинном участке (МФ), почвы органических полей занимают промежуточное положение по численности амилолитиков. Достоверных отличий по численности амилолитических микроорганизмов между участками с органическим и традиционным земледелием не выявлено. Зато фоновый участок МФ и поле МТ отличались по этому показателю статистически значимо (тест

Данна, $p < 0,05$). Коэффициент вариации колебался от 14,5 % до 28,9 %, что свидетельствует о средней и высокой вариации признака.

В Высокогорском районе статистическая обработка результатов показала наличие значимых отличий по численности амилитических микроорганизмов между полями с традиционным и органическим земледелием (согласно попарному сравнению по тесту Данна, $p < 0,001$). При этом численность амилитических микроорганизмов на органических полях была выше. Вариация признака слабая, коэффициент вариации находился в пределах 1,5–4,7 %.

Актиномицеты. В серых лесных почвах Мамадышского района численность актиномицетов на полях с традиционным и органическим земледелием статистически значимо ниже численности на целинном участке ($p < 0,05$). Это согласуется с данными Churkina et. al., которые также отмечали, что численность актиномицетов выше на необрабатываемых участках [13]. При этом в Мамадышском районе не было выявлено статистически значимых отличий по численности актиномицетов между обрабатываемыми полями с разными системами земледелия. Коэффициент вариации признака колеблется от 11,1 % до 50,3 %

Почвы Высокогорского района характеризовались статистически более высокой численностью актиномицетов при органическом земледелии в сравнении с полями с традиционным земледелием. Коэффициент вариации от 14,2 % до 19,3 %, что свидетельствует о среднем варьировании.

Целлюлозоразрушающие. В Мамадышском районе самая низкая численность целлюлозоразрушающих микроорганизмов наблюдалась в почве на необрабатываемом участке МФ – в 5 раз ниже, чем на участке с традиционным земледелием МТ и в 3 раза меньше, чем на органических полях с земляникой садовой М316 и М317. Различия между целинным участком МФ и полями значимы при $p < 0,05$. Коэффициент вариации от 5,1 % до 40,1 %.

Поля фермерских хозяйств Высокогорского района по численности целлюлозоразрушающих микроорганизмов статистически значимо друг от друга не отличались. По-видимому, из-за высокой вариабельности признака. Коэффициент вариации от 20,2 % до 84,8 %. Самый высокий отмечен на поле с традиционным земледелием.

Поскольку численность целлюлозоразрушающих и педотрофных микроорганизмов, в отличие от всех остальных параметров, имела обратную корреляцию с уменьшением уровня антропогенной нагрузки, то для расчета ИПБС было решено использовать не просто балл, полученный по численности данных групп микроорганизмов, а инвертированную величину «100 – балл».

Микромицеты. Микромицеты являются активными деструкторами органических остатков, но при этом чувствительны к недостатку кислорода в почвах [14].

В почвах Мамадышского района численность микроскопических грибов последовательно возрастала в ряду: МТ < М317 < М316 < МФ. То есть численность микромицетов при возделывании ягодных культур по органической технологии способствует приближению показателя к значениям фона. Причем различия между традиционными и органическими полями по численности микромицетов

статистически значимы, также как между ними и целинным фоновым участком. Коэффициент вариации от 2,4 % до 19,2 %.

Сравнение численности микромицетов на органических и традиционных полях с зерновыми культурами Высокогорского района не выявило ни четкой закономерности, ни статистически значимой разницы. Коэффициент вариации признака от 40,4 % до 84,8 %, что говорит о значительном варьировании.

Коэффициент минерализации/иммобилизации. Коэффициент минерализации-иммобилизации рассчитывается как соотношение численности амилотических и аммонифицирующих почвенных микроорганизмов [5]. В исследованных почвах Мамадышского района коэффициент минерализации/иммобилизации возрастал в ряду МЗ16 < МТ < МЗ17 < МФ, что не позволяет говорить о какой-либо четкой закономерности (рис. 1). В почвах Высокогорского района также не наблюдается закономерности в распределении величины коэффициента минерализации по полям с органическим и традиционным земледелием, коэффициент возрастает в ряду: ВТ2 < ВО2 < ВО1 < ВТ1.

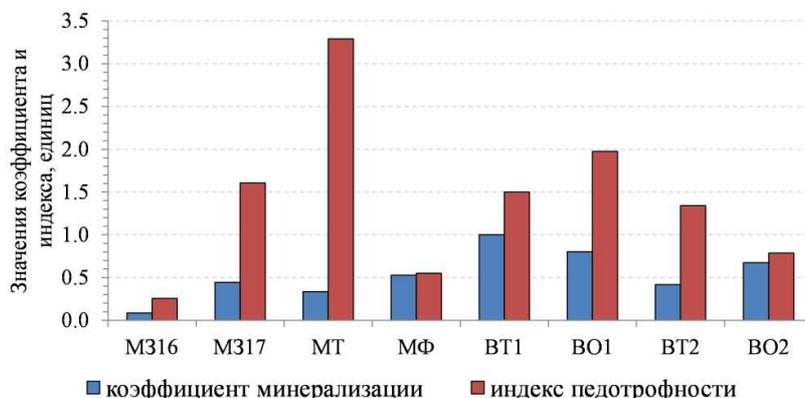


Рис. 1. Коэффициент минерализации и индекс педотрофности.

Индекс педотрофности. Индекс педотрофности по Никитину показывает соотношение педотрофных и аммонифицирующих микроорганизмов. Считается, что, чем он больше, тем больше приближена почва к состоянию естественного биогеоценоза [6]. При этом на обследованных полях данный индекс показал противоречивую картину. На полях Мамадышского района он возрастал в ряду: МЗ16 < МФ < МЗ17 < МТ. На полях Высокогорского района: ВО2 < ВТ2 < ВТ1 < ВО1.

Содержание гумуса и общего азота редко используются для расчета интегрального показателя эколого-биологического состояния почв, но все же используются, поскольку они напрямую связаны с деятельностью живых организмов почвы, и их содержание принимается во внимание при оценке ее благополучия и уровня плодородия.

Гумус. Содержание гумуса в исследованных серых лесных почвах Высокогорского и Мамадышского районов РТ колеблется от 1,8 до 4,5 %, то есть

согласно агрохимической группировке от очень низкого до высокого, при среднем значении 3,1 % (рис. 2).

Переход к органической системе земледелия со временем должен приводить к стабилизации эколого-биологического состояния агроэкосистемы, и постепенному накоплению гумуса в верхнем горизонте. Через 16 лет применения органической системы земледелия содержание гумуса в пахотных почвах приближается к показателям фоновых почв [4]. Но через 3–4 года использования органической системы земледелия в исследованных нами хозяйствах нет достоверной разницы по содержанию гумуса между участками с органическим и традиционным земледелием (тест Данна, $p < 0,05$).

Азот общий. Содержание общего азота в целом повторяет закономерности распределения гумуса (рис. 2). Коэффициент корреляции по Пирсону между этими параметрами равен 0,78. Содержание общего азота в почвах Мамадышского района статистически значимо выше на целинном участке в сравнении с обрабатываемыми полями МЗ16, МЗ17 и МТ. В почвах обоих районов разница по содержанию общего азота между органическими и традиционными полями статистически незначима.

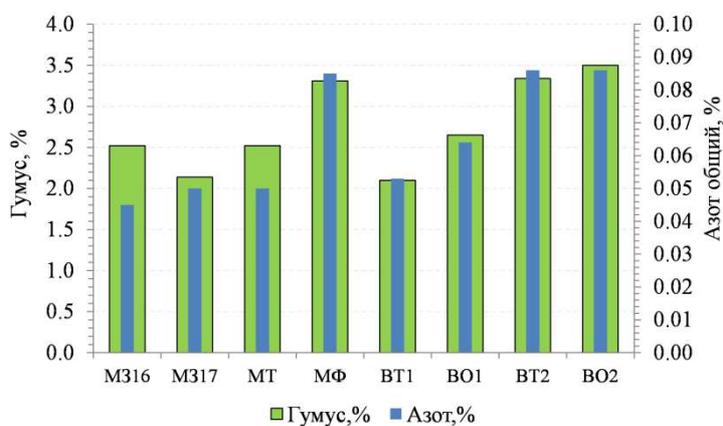


Рис. 2. Содержание гумуса и азота.

При проверке исследованного нами набора параметров для расчета ИПБС мы исходили из гипотезы, что при органическом земледелии эколого-биологическое состояние почвы постепенно улучшается и приближается к состоянию естественных (фоновых) почв. То есть микробиологические и связанные с ними параметры закономерно изменяются в ряду: целинные участки – органические поля – традиционные поля. Такая закономерность прослеживалась для серых лесных почв фермерских хозяйств обоих районов РТ для трех трофических групп микроорганизмов: аммонифицирующих, амилолитических и актиномицетов. Численность педотрофов, целлюлозоразрушающих микроорганизмов и микромицетов закономерно изменялась в почвах Мамадышского района, но не было обнаружено закономерности в их распределении на органических и традиционных полях Высокогорского района.

Эколого-трофические индексы оказались не информативны для разделения почв полей с органическим и традиционным земледелием. Чуть лучше проявили себя такие параметры как содержание гумуса и общего азота.

Проведенные исследования показали, что микробиологические и связанные с ними параметры по информативности разделения органических и традиционных полей можно расположить в следующий ряд: численность амилोलитиков и актиномицетов > численность аммонификаторов > численность целлюлозоразрушающих микроорганизмов, педотрофов, микромицетов > содержание гумуса, общего азота > индекс педотрофности, коэффициент минерализации/иммобилизации.

Интегральный показатель. Интегральный показатель биологического состояния почвы (ИПБС) первоначально был рассчитан по всем десяти исследованным параметрам (табл. 3). Далее мы постепенно убрали наименее информативные. Сначала индекс педотрофности и коэффициент минерализации, затем содержание гумуса и азота и так далее.

При использовании всех 10 параметров интегральный показатель (ИПБС) закономерно изменялся в ряду: целинный фоновый участок – органические поля – традиционные поля. Максимальное значение интегрального показателя биологического состояния наблюдалось на целинном участке, который отличается самым лучшим биологическим состоянием почв, на органических полях значения интегрального показателя ниже, а на традиционных полях – самые низкие. При последовательном уменьшении количества параметров эта закономерность не изменяется. Самые высокие значения интегрального показателя всегда наблюдаются на целинном участке – 100 %. Самые низкие – в почвах полей с традиционным земледелием. Обработка результатов показала, что отличия почв органических и традиционных полей по ИПБС статистически значимы в Мамадышском районе при использовании 8 параметров, в Высокогорском – 3 параметров для расчета ИПБС.

Таблица 3

**Значения интегрального показателя эколого-биологического состояния для
серых лесных почв Республики Татарстан (среднее ± ошибка среднего)**

	По 10 параметрам	По 8 параметрам	По 6 параметрам	По 3 параметрам
МФ	100,0±0,7	100,0±0,9	100,0±1,8	100,0±9,8
МТ	59,9±1,3	47,1±3,4	39,6±4,5	49,2±15,4
М317	67,3±2,3	61,0±2,9	60,7±4,6	65,6±6,8
М316	60,3±2,9	64,8±3,3	64,7±6,5	68,9±8,6
ВТ1	67,7±2,2	55,7±0,1	53,0±0,1	35,4±0,8
ВО1	79,9±5,9	69,1±3,1	65,9±4,2	61,4±0,4
ВО2	85,8±2,6	82,0±3,7	74,2±5,0	58,7±3,6
ВТ2	81,9±2,9	78,3±2,7	69,9±3,6	41,2±2,5

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Исследуемые параметры располагались в следующий ряд по информативности для разделения почв органических и традиционных полей: численность амилolitikов и актиномицетов > численность аммонификаторов > численность целлюлозоразрушающих микроорганизмов, педотрофов, микромицетов > содержание гумуса, общего азота > индекс педотрофности, коэффициент минерализации/иммобилизации.

Вариабельность численности трофических групп микроорганизмов в основном средняя и высокая, что согласуется с данными К. Ш. Казеева с соавторами [2].

Значения исследуемых параметров, кроме численности педотрофных и целлюлозоразрушающих микроорганизмов, увеличивались в ряду: почвы традиционных полей < почвы органических полей < целинные почвы. Численность педотрофов и целлюлозоразрушающих микроорганизмов, наоборот, уменьшалась от традиционных полей к целинным участкам.

ИПБС отражал уровень антропогенной нагрузки на почвы при использовании для его расчета как 3 самых информативных параметров, так и большего их количества, в том числе и всех 10 исследованных параметров. Статистически значимые отличия интегрального показателя наблюдались для почв органических и традиционных полей Мамадышского района при использовании 8 наиболее информативных параметров, для почв Высокогорского района – 3 параметров.

Таким образом, для выявления изменений в биологическом состоянии почв при переходе от традиционного земледелия к органическому уже через 3–5 лет практики достаточно 3–8 наиболее информативных микробиологических и агрохимических параметров. Тем не менее, поиск менее трудоемких и менее вариабельных параметров для расчета ИПБС должен быть продолжен.

Список литературы

1. Федеральный закон "Об органической продукции и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации" от 03.08.2018 N 280-ФЗ.
2. 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.
3. Казеев К. Ш. Биологическая диагностика и индикация почв: методология и методы исследований / К. Ш. Казеев, С. И. Колесников, В. Ф. Вальков – Ростов-на-Дону: Изд-во РГУ, 2003. – 216 с.
4. Кольцова Т. Г. Сравнительная характеристика свойств выщелоченного чернозема при конверсионном и органическом земледелии / Т. Г. Кольцова, А. А. Андреева, Л. М. Сунгатулина, К. Е. Лемазин // Российский журнал прикладной экологии. – 2015. – № 1. – С. 44–48.
5. Мишустин Е. Н. Микроорганизмы и плодородие почвы / Е. Н. Мишустин – М.: Изд-во АН СССР, 1956. – 342 с.
6. Титова В. И. Методы оценки функционирования микробиоценоза почвы, участвующего в трансформации органического вещества / В. И. Титова, А. В. Козлов. – Нижний Новгород: Нижегородская с.-х академия, 2012. – 64 с.
7. Дайнеко Н. М. Численность микроорганизмов при использовании биопрепарата Полибакт на пожнивных остатках кукурузы / Н. М. Дайнеко, И. И. Концевая, С. Ф. Тимофеев, М. С. Козел // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. – 2019. – № 11. – С. 12–16.
8. Подковырова К. С. Микрофлора почвы под козлятником восточным третьего года жизни / К. С. Подковырова, Н. Н. Наплекова // Плодоводство и ягодоводство России. – 2012. – Т. 30. – С. 300–307.

9. Ажогина Т. Н. Численность основных физиологических групп микроорганизмов в почвах рекреационных зон / Т. Н. Ажогина, М. В. Долженко, Л. Н. Илюшкина // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. – 2017. – № 6–2. – С. 253–256.
10. Лакин Г. Ф. Биометрия / Г. Ф. Лакин. – М.: Высш.шк., 1990. – 352 с.
11. Горовцов А. В. Показатели структуры микробиоценоза почв г. Ростова-на-Дону как инструмент мониторинга состояния антропогенно преобразованных почв / А. В. Горовцов, А. В. Полякова, В. В. Внуков // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. – 2013. – № 89. – С. 303–315.
12. Тонха О. Л. Микробная трансформация органического вещества черноземов лесостепи и степи Украины при различном их использовании / О. Л. Тонха, А. Д. Балаев, В. Н. Недбаев // Вестник Курской государственной сельскохозяйственной академии. – 2014. – № 4. – С. 50–54.
13. Churkina G. The taxonomic composition of soil microorganisms in the ecosystems of southern chernozems of Northern Kazakhstan / G. Churkina, K. Kunanbayev, G. Akhmetova // Applied Innovations and Technologies. – 2012. – V. 8. – № 3. – P. 13–19.
14. Кулагина В. И. Выбор микробиологических показателей для выполнения интегральной эколого-биологической оценки почв при переувлажнении / В. И. Кулагина, Л. М. Сунгатуллина, Р. М. Тагиров, С. С. Рязанов, А. М. Хисамова // Принципы экологии. – 2019. – № 4. – С. 45–56.

ASSESSMENT OF THE SET OF PARAMETERS FOR AN INTEGRAL EVALUATION OF AN ECOLOGICAL AND BIOLOGICAL STATE OF SOILS IN ORGANIC AGRICULTURE

***Kulagina V. I., Sungatullina L. M., Ryazanov S. S., Khayrullina A. M.,
Shagidullin R. R., Rupova E. H.***

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

Organic farming is designed to maintain soil fertility and to assist biodiversity restoration. Developing of methods for assessment of ecological and biological state of soil under organic agriculture is becoming an increasingly urgent task. The purpose of the current work is to evaluate the capabilities of an integrated indicator to identify significant differences in ecological and biological soil states under organic and traditional farming management. The proposed integral indices were calculated on the basis of the number of trophic groups of microorganisms, ecological and trophic indices, and nitrogen and humus soil content.

The studies were performed on gray forest soils of the two farms located in the Mamadyshsky and Vysokogorsky districts of the Republic of Tatarstan. The soils of fields with traditional farming and fields where the organic farming system has been used for 3–5 years were compared. In the samples taken in 2019, the following parameters were determined: the content of humus and total nitrogen, the number of 6 trophic groups of microorganisms, the coefficient of mineralization, and the index of pedotrophy.

The studied parameters were ranked in the following order of informativeness for separating soils of organic and traditional fields: the number of amylolytics and

actinomycetes > the number of ammonifiers > the number of cellulose-decomposing microorganisms, pedotrophs, micromycetes > the content of humus, total nitrogen > the index of pedotrophy, the coefficient of mineralization / immobilization. The variability in the number of trophic groups of microorganisms is generally medium and high. The values of the studied parameters, in addition to the number of pedotrophic and cellulose-destroying microorganisms, increased in the following order: soils of traditional fields < soils of organic fields < virgin soils. The number of pedotrophs and cellulose-destroying microorganisms, on the contrary, decreased from traditional fields to virgin areas, therefore, to calculate the integral indicator of the biological state of soils (IPBS), it was decided to use not just the point obtained from the number of these groups of microorganisms, but the inverted value "100 – point".

The calculation of the integral indicator of the biological state of soils was carried out first using all 10 studied parameters, and then 8, 6, and 3 of the most informative ones. The least informative ones were excluded from the calculation. It was shown that the IGBP reflected the level of anthropogenic loads in all cases.

When all 10 parameters were used, the integral indicator changed naturally in the following order: virgin background area – organic fields – traditional fields. The maximum value of the integral indicator of the biological state was observed in the virgin area, which is distinguished by the best biological state of soils, in organic fields the values of the integral indicator are lower, and in traditional fields – the lowest. With a sequential decrease in the number of parameters, this pattern does not change. The highest values of the integral indicator are always observed in the virgin area – 100 %. The lowest are found in the soils of fields with traditional farming. The processing of the results showed that the differences between the soils of organic and traditional fields according to the IPBS were statistically significant in the Mamadyshsky district using 8 parameters, in Vysokogorsky – 3 parameters for calculating the IPBS.

Thus, in order to identify changes in the biological state of soils during the transition from traditional to organic farming after 3–5 years of practice, 3–8 of the most informative microbiological and agrochemical parameters are sufficient. Nevertheless, the search for less labor-consuming and less variable parameters for calculating the IPBS should be continued.

Keywords: soil, organic farming, ecological and biological assessment, the number of microorganisms, trophic groups of microorganisms.

References

1. Federal Law «On Organic Products and on Amending Certain Legislative Acts of the Russian Federation» dated 03.08.2018 N 280-ФЗ.
2. Kazeev K. Sh., Kolesnikov S. I. *Biодiagnostics of soils: methodology and research methods*. 260. (Publishing House of the Southern Federal University, 2012).
3. Kazeev K. Sh., Kolesnikov S. I., Valkov V. F. *Biological diagnostics and indication of soils: methodology and research methods*. 216. (Publishing House of the RSU, 2003).
4. Koltsova T. G., Andreeva A. A., Sungatullina L. M., Lemazin K. E. Comparative characteristics of the properties of leached chernozem in conversion and organic farming, *Russian Journal of Applied Ecology*, **1**, 44 (2015).
5. Mishustin E. N. *Microorganisms and soil fertility*, 342. (Publishing House of the USSR Academy of Sciences, 1956).

6. Titova V. I., Kozlov A. V. *Methods for assessing the functioning of soil microbiocenosis involved in the transformation of organic matter*, 64. (Nizhny Novgorod Agricultural Academy, 2012).
7. Daineko N. M., Kontsevaya I. I., Timofeev S. F., Kozel M. S. The number of microorganisms when using the biological product Polybact on corn residues, *Actual problems of the humanities and natural sciences*, **11**, 12 (2019).
8. Podkovyrova K. S., Naplekova N. N. Microflora of the soil under the eastern goat's rue of the third year of life, *Fruit growing and berry growing in Russia*, **30**, 300 (2012).
9. Azhogina T. N., Dolzhenko M. V., Ilyushkina L. N. The number of the main physiological groups of microorganisms in the soils of recreational zones, *International Journal of Applied and Basic Research*, **6**, 253 (2017).
10. Lakin G. F. *Biometrics*, 325. (Higher school, 1990).
11. Gorovtsov A. V., Polyakova A. V., Vnukov V. V. Indicators of the structure of soil microbiocenosis in Rostov-on-Don as a tool for monitoring the state of anthropogenically transformed soils, *Polythematic network electronic scientific journal of the Kuban State Agrarian University*, 89, 303 (2013).
12. Tonha O. L., Balaev A. D., Nedbaev V. N. Microbial transformation of organic matter of chernozems of the forest-steppe and steppe of Ukraine with their various uses, *Bulletin of the Kursk State Agricultural Academy*, **4**, 50 (2014).
13. Churkina G., Kunanbayev K., Akhmetova G. The taxonomic composition of soil microorganisms in the ecosystems of southern chernozems of Northern Kazakhstan, *Applied Innovations and Technologies*, **8**, 13 (2012).
14. Kulagina V. I., Sungatullina L. M., Tagirov R. M., Ryazanov S. S., Khisamova A. M. The choice of microbiological indicators for the implementation of an integrated ecological and biological assessment of soils during waterlogging, *The principles of ecology*, **4**, 45 (2019).

УДК 612.88:612.886:612.017.2):796.83

DOI 10.37279/2413-1725-2021-7-1-103-110

РЕГУЛЯТОРНЫЕ ОСОБЕННОСТИ АДАПТАЦИИ КАРДИОГЕМОДИНАМИКИ К НАГРУЗКАМ РАЗЛИЧНОЙ МОДАЛЬНОСТИ У БОКСЁРОВ

Минина Е. Н.¹, Минин В. В.¹, Хаит Н.²

¹*Таврическая академия (структурное подразделение) ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет имени В. И. Вернадского», Симферополь, Республика Крым, Россия*

²*Медицинская академия им. С. И. Георгиевского (структурное подразделение) ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет имени В. И. Вернадского», Симферополь, Республика Крым, Россия*
E-mail: cere-el@yandex.ru

Обеспечение высокого уровня тренированности напрямую связано с совершенствованием регуляторных механизмов в ответ на внешние стимулы. Ведущее значение в сложной нейродинамике, лежащей в основе реакций равновесия, ориентации в пространстве и координации движений в динамических условиях бокса, принадлежит вестибулярному анализатору и сложной системе безусловных вестибулосоматических и вестибуловегетативных рефлексов. При действии вестибулярных стимулов во время тренировки у боксёров участие вегетативных компонентов в ответных реакциях организма резко возрастает и может привести к возникновению реакции напряжения. У квалифицированных боксёров с различным уровнем вестибулярной устойчивости были выявлены достоверные различия функциональных резервов, количественно выраженные коэффициентом вестибуло-вегетативной адаптивности, что может быть использовано для ранжирования боксёров по степени их приспособительных возможностей. Выявлено, что уровень адаптации боксёров к физической и вестибулярной нагрузкам напрямую связан с вегетативным обеспечением кардиогемодинамики при выполнении нагрузки различной модальности и зависит от уровня квалификации или стажа занятий, а так же уровня общей физической работоспособности.

Ключевые слова: коэффициент вестибуло-вегетативной адаптации, кардиогемодинамика, вестибулярная устойчивость, боксеры.

ВВЕДЕНИЕ

Обеспечение высокого уровня тренированности напрямую связано с совершенствованием регуляторных механизмов в ответ на внешние стимулы различной модальности [1]. Ведущее значение в сложной нейродинамике, лежащей в основе реакций равновесия, ориентации в пространстве и координации движений в динамических условиях бокса, принадлежит вестибулярному анализатору и сложной системе безусловных вестибулосоматических и вестибуловегетативных рефлексов. Вестибулярная сенсорная система благодаря своим многочисленным морфологическим и функциональным связям обладает полифункциональностью и её раздражение вызывает не только соматические, но и сенсорные, и вегетативные реакции организма, обеспечивающие гомеостаз [2, 3] и определяющие цену

адаптации [4]. Ведущими физиологическими системами в условиях адаптации к мышечной деятельности являются кислородтранспортные – кровь, кровообращение, дыхание, а также вегетативная нервная система (ВНС), обеспечивающая модуляторно-регуляторный контроль висцеральных систем [4]. Каждый двигательный акт именно через вегетативные системы связан с обеспечением адекватного положительного приспособительного результата [5].

При условии изменений механизмов вегетативной регуляции у контингентов с различным уровнем вестибулярной устойчивости встаёт вопрос о количественной оценке регуляторных особенностей адаптации у боксёров к сочетанным нагрузкам различной модальности в процессе тренировочной и соревновательной деятельности.

В связи с этим, целью нашего исследования было выявление регуляторных особенностей адаптации у боксёров к сочетанным нагрузкам различной модальности в количественной оценке регуляторных резервов.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В исследовании принимали участие принимали участие 140 спортсменов мужского пола 18–23 лет, занимающихся боксом, которые были разделены на 2 группы. В группу квалифицированных спортсменов (КС) вошли 70 спортсменов, стаж занятий спортом которых составлял от 6 до 9 лет (кандидат в мастер спорта, мастер спорта). Группа начинающих (Н) состояла из 70 здоровых мужчин 18–23 лет, занимающихся боксом менее года.

Фиксировали следующие показатели кардиогемодинамики: частоту сердечных сокращений (ЧСС, уд/мин), сердечный индекс (СИ, л/мин/м²). Систолическое артериальное давление (САД, мм рт.ст.), диастолическое артериальное давление (ДАД, мм рт.ст.) измеряли методом М.С.Короткова. Двойное произведение (ДП, отн. ед.) определяли расчетным способом. Нагрузочное тестирование осуществляли с применением велоэргометрии.

Для определения уровня вестибулярной устойчивости в группе КС и разделения спортсменов на три группы определялся коэффициент по формуле: $K_u = ЧСС_1 / ЧСС_2$, где K_u – коэффициент устойчивости $ЧСС_1$ – частота сердечных сокращений после теста «бой с тенью», $ЧСС_2$ – частота сердечных сокращений после вестибулярной нагрузки (вращательной пробе по Воячеку на кресле Барани). Значение $K_u < 0,5$ соответствовало компенсируемому уровню, $K_u = 0,5–1,5$ – устойчивому, $K_u > 1,5$ – недостаточному уровню.

При помощи 12-канального компьютерного ЭКГ-комплекса «Cardiolife» регистрировали показатели вариационной пульсометрии, рассчитываемые автоматически. Дополнительно анализировали показатель кардионтервалографии – индекс напряжения Баевского (ИН, усл. ед), вычисленный автоматически по формуле $ИН = AMo / (2\Delta x \cdot Mo)$, где Mo – число наиболее часто встречающейся продолжительности R-R интервалов среди 100 последовательных за 100 R-R интервалов в секундах; AMo – количество значений Mo за 100 R-R интервалов; Δx – разность максимального и минимального значения R-R интервалов за 100 R-R интервалов). Коэффициент вегето-вестибулярной адаптивности (Квва, ед.) определяли как отношение $ИН_1$ – ИН в покое, $ИН_2$ – ИН после вестибулярной

нагрузки (вращательной пробе по Воячеку на кресле Барани). Показатель максимального потребления кислорода (МПК, кгм/мин/кг) определяли методом Карпмана с помощью велоэргометрии.

Статистическую обработку полученных результатов исследований проводили с помощью программного пакета STATISTICA 6.0 (StatSoft, Inc., USA). Оценки расхождения распределений признаков проводились с помощью критерия согласия Колмогорова-Смирнова. Для оценки достоверности различий между одноименными показателями у исследуемых в разных группах использовали параметрический Т-критерий Стьюдента и непараметрический U-критерий Манна-Уитни.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

В результате определения уровня устойчивости в группе квалифицированных и в группе начинающих спортсменов было осуществлено их ранжирование. У квалифицированных спортсменов в первую группу вошли 33 спортсмена с $K_u < 0,5$, что соответствовало компенсируемому уровню. Вторую группу составили 25 боксеров с устойчивым уровнем при $K_u = 0,5-1,5$, а 20 боксёров при $K_u > 1,5$, с недостаточным уровнем, составили третью группу. В Таблице 1 указано количество обследованных боксёров, разделённых в соответствии с уровнем вестибулярной устойчивости и квалификацией и степень различия этих групп.

Таблица 1

Распределение исследованных в соответствии с уровнем вестибулярной устойчивости и квалификацией (% от общего кол-ва человек)

Квалификация \ Уровень	Устойчивый уровень	Компенсированный уровень	Недостаточный уровень
Квалифицированные	45	33	12
Начинающие	5	15	80
Достоверность*	$p < 0,01$	$p < 0,05$	$p < 0,001$

Примечание: * – Оценка достоверности отличий уровня вестибулярной устойчивости в группах проводилась по стандартной методике вычисления доверительных интервалов при заданной надежности вывода

Вегетативное обеспечение деятельности отражает адаптационные механизмы организма, а оптимальные вестибуло-вегетативные взаимоотношения могут составлять резерв приспособления при увеличении внешней нагрузки. Как показали наши исследования у боксёров с различным уровнем вестибулярной устойчивости, регуляторный резерв, определяемый по коэффициенту вестибуло-вегетативной адаптивности ($K_{ва}$), значительно зависел от уровня устойчивости ($r=0,69$), и достоверно различался в трёх исследованных группах. Так, в группе с неустойчивым уровнем $K_{ва}$ в среднем составил $1,15 \pm 0,05$ усл.ед., количественно отражая увеличение напряжения механизмов регуляции при моделируемой вестибулярной нагрузке, что, вероятно, является следствием незначительных регуляторных резервов (рис. 1).

Не зависимо от уровня квалификации в группе с компенсируемым уровнем, К_{вва} в среднем ставил $0,95 \pm 0,05$ усл.ед., а в группе с устойчивым уровнем – $0,75 \pm 0,05$ усл.ед. Стабильность или снижение численного значения индекса напряжения после вестибулярной нагрузки в группах, соответственно с компенсированным и устойчивым уровнем, происходило за счёт адекватной перестройки различных регуляторных звеньев в обеспечении оптимального адаптационного ответа. Так как функциональный уровень вестибулярного аппарата имеет важное значение для оперативного запуска вегетативных функций в предстоящих двигательных реакциях, а пороги для активации вегетативной нервной системы при вестибулярной активации ниже, чем для соматической, то уровень вестибулярной устойчивости может отражать адекватность вестибуло-вегетативных взаимодействий и резервы вегетативной регуляции в обеспечении функциональных резервов при выполнении внешней нагрузки.

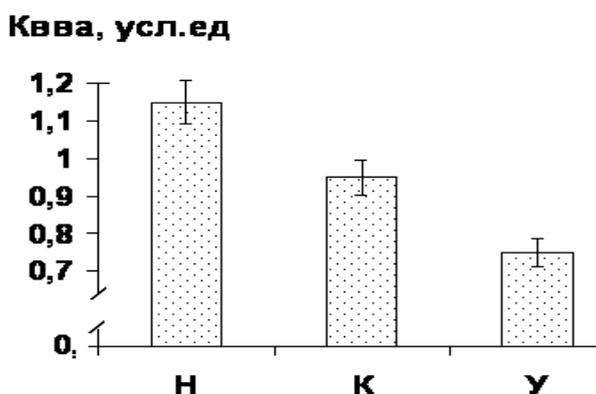


Рис. 1. Коэффициент вестибуло-вегетативной адаптивности в группах с разным уровнем вестибулярной устойчивости

Примечания: К_{вва} – коэффициент вестибуло-вегетативной адаптивности, Н – боксеры с неустойчивым уровнем вестибулярной устойчивости, К – с компенсируемым уровнем вестибулярной устойчивости, У – устойчивым уровнем вестибулярной устойчивости

Как видно из Рисунка 2, отражая сниженные резервы приспособления к вестибулярной нагрузке, К_у в группе начинающих спортсменов в два раза превышал данные в группе квалифицированных боксёров ($p < 0,001$). Так же на 19,2 % ($p < 0,01$) у боксёров со стажем значения МПК превышали значения начинающих занимающихся.

При выполнении физической нагрузки возрастающей мощности выявлены различия в вегетативном обеспечении регуляции функции сердечно-сосудистой системы (табл. 2). Закономерно у квалифицированных спортсменов как в покое ЧСС был меньшим на 20 % ($p < 0,05$), на 33 % ($p < 0,05$) на первой ступени и на 15 % ($p < 0,01$) на второй ступени нагрузочного теста.

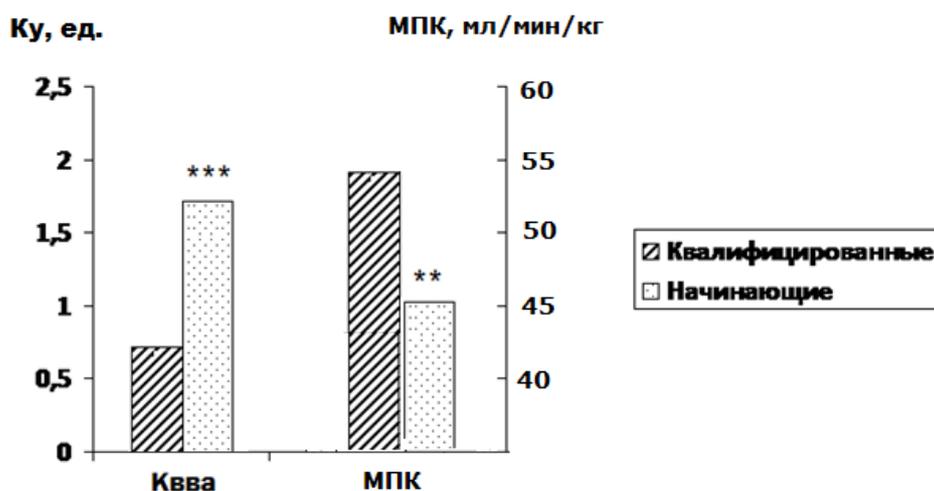


Рис. 2. Коэффициент устойчивости (Ку) и максимальное потребление кислорода (МПК) у боксёров с разным уровнем квалификации.

Таблица 2

Показатели сердечно-сосудистой системы у боксёров разной квалификации в покое и после нагрузок теста, ($\bar{x} \pm Sx$), n=140

Показатель	Квал	Покой (1)	100 Вт (2)	200 Вт (3)	Достоверность
ЧСС, уд/мин	Кв	62 (52;67)	102 (67;123)	145 (94; 137)	1-2 (<0,01) 1-3 (<0,001) 2-3 (<0,001)
	Н	75 (69; 80)	136 (112;143)	165 (121; 168)	1-2 (<0,001) 1-3 (<0,001) 2-3 (<0,05)
Достоверность		<0,05	<0,05	<0,01	
ИН, ед	Кв	45 (33; 67)	95 (72; 112)	98 (82; 123)	1-2 (<0,001) 1-3 (<0,001)
	Н	89 (31; 112)	145 (114; 167)	157	1-2 (<0,001) 1-3 (<0,001)
Достоверность		<0,001	<0,001	<0,001	

На Рисунке 3 представлены данные изменения показателя двойного произведения (индекса Робинсона), как косвенного критерия напряжения миокарда в покое при выполнении второй ступени нагрузочного теста у исследованных боксёров.

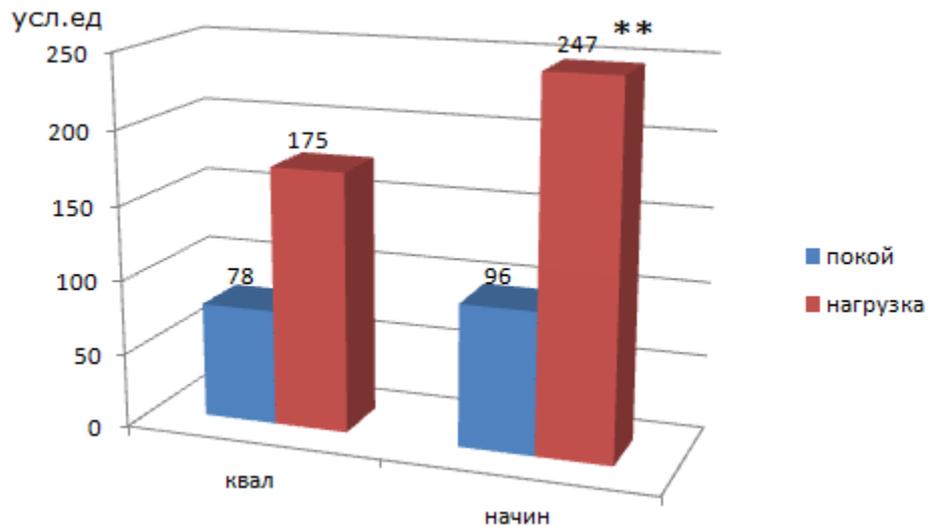


Рис. 3. Индекс Робинсона у боксёров с разным уровнем квалификации в покое и после нагрузки.

Активная реакция сердечно-сосудистой системы на физическую нагрузку у начинающих боксёров с увеличением двойного произведения более чем в два раза относительно покоя, и превышая на 41,3 % ($p < 0,01$) показатели квалифицированных спортсменов, так же характеризовала сниженный уровень адапционных резервов.

Таким образом и энергетический и регуляторный компоненты формируют приспособление боксёров к тренировочным и соревновательным нагрузкам различной модальности, интегральным показателем которых могут являться механизмы регуляции сердечной деятельности.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. У квалифицированных спортсменов как в покое ЧСС был меньше на 20 % ($p < 0,05$), на 33 % ($p < 0,05$) на первой ступени и на 15 % ($p < 0,01$) на второй ступени нагрузочного теста.
2. При снижении уровня вестибулярной устойчивости у боксёров, Квва увеличивался в среднем на 20,0 % ($p < 0,05$) соответственно в каждой группе. Так в группе с устойчивым уровнем Квва достигал значений $0,75 \pm 0,05$ усл.ед., в группе с компенсированным уровнем – $0,95 \pm 0,05$ усл.ед., в группе с неустойчивым уровнем – $1,15 \pm 0,05$ усл.ед.
3. Отражая сниженные резервы приспособления к вестибулярной нагрузке, Ку в группе начинающих спортсменов в два раза превышал данные в группе квалифицированных боксёров ($p < 0,001$). Так же на 19,2 % ($p < 0,01$) у боксёров со стажем значения МПК превышали значения начинающих занимающихся.
4. Активная реакция сердечно-сосудистой системы на физическую нагрузку у начинающих боксёров с увеличением двойного произведения более чем в два раза относительно покоя, и превышая на 41,3 % ($p < 0,01$) показатели

квалифицированных спортсменов, характеризовала сниженный уровень адаптационных резервов.

5. Энергетический и регуляторный компоненты формируют приспособление боксёров к тренировочным и соревновательным нагрузкам различной модальности, интегральным показателем которых могут являться механизмы регуляции сердечной деятельности.

Список литературы

1. Агаджанян Н. А. Этюды об адаптации и путях сохранения здоровья / Н. А. Агаджанян, А. И. Труханов, Б. А. Шендеров – М., 2002. – 156 с.
2. Бекетов А. И. Кровообращение при укачивании (физиологический и фармакологический аспекты) / Бекетов А. И., Свистов В. В., Скоромный Н. А. // Труды Крымского мед. ин-та. – Симферополь: Изд-во Крымского мед. ин-та, 1983. – Т. 98. – С. 23–34
3. Лапутин А. Н. Формирование массы и динамика гравитационных воздействий тела человека в онтогенезе / А. Н. Лапутин, В. А. Кашуба – К.: Знания, 1999. – 201 с.
4. Ким В. В. Роль сенсорных систем в вегетативном обеспечении мышечной работы / В. В. Ким, М. Н. Щансков // Функциональные резервы спортсменов различной квалификации и специализации : Межвуз. Сб. научн. Трудов. – Л., 1986 – С. 86–90.
5. Аветикян Ш. Т. О типологической систематизации адаптивных реакций (на примере антиортостатического воздействия) / Ш. Т. Аветикян // Физиология человека. – 1982. – Т.8. – С. 130–140.

REGULATORY PECULIARITIES OF ADAPTATION OF CARDIOHEMODYNAMIC TO LOADS OF DIFFERENT MODALITIES IN BOXERS

Minina E. N., Minin V. V., Hait N.

*V. I. Vernadsky Crimean Federal University, Simferopol, Crimea, Russia
E-mail: cere-el@yandex.ru*

Ensuring a high level of fitness is directly related to the improvement of regulatory mechanisms in response to external stimuli. The leading role in the complex neurodynamics underlying the reactions of balance, orientation in space and coordination of movements in the dynamic conditions of boxing belongs to the vestibular analyzer and the complex system of unconditional vestibulosomatic and vestibulovegetative reflexes. Under the action of vestibular stimuli during training in boxers, the participation of vegetative components in the response of the body increases sharply and can lead to the appearance of a stress response.

In qualified boxers with different levels of vestibular stability, significant differences in functional reserves were revealed, quantitatively expressed by the coefficient of vestibular and vegetative adaptability, which can be used to rank boxers according to the degree of their adaptive capabilities.

Given the changes in the mechanisms of vegetative regulation in contingents with different levels of vestibular stability, the question arises of a quantitative assessment of

the qualitative effects of the vestibular apparatus on the vegetative support of activity. Methods of measuring vegetative regulation reserves in order to analyze the effectiveness of the training process are insufficiently covered in literary sources.

In this regard, the aim of our study was to identify the regulatory features of the adaptation of cardiohemodynamics to loads of different modality in boxers and the possibility of using the coefficient of vegetative-vestibular adaptivity (C_{vva}) in the quantitative assessment of regulatory reserves.

It was revealed that the level of adaptation of boxers to physical and vestibular loads is directly related to the vegetative provision of cardiohemodynamics when performing loads of different modality and depends on the level of qualification or training experience, as well as the level of general physical performance.

In boxers with different levels of vestibular stability, significant differences in functional reserves were revealed, quantitatively expressed by the coefficient of vestibular and vegetative adaptability.

In qualified athletes at rest, the indices of heart rate and double work were significantly lower with an increase in the ability to perform physical load, and the values of VO_2 max in experienced boxers exceeded the values of beginner boxers by 19.2 % ($p < 0.01$).

Reflecting the reduced reserves of adaptation to vestibular load, the coefficient of stability in the group of novice athletes was twice significantly higher than the data in the group of qualified boxers, and with a decrease in the level of vestibular stability in boxers, the coefficient of vegetative and vestibular adaptability also increased.

Thus, both the energy and regulatory components form the adaptation of boxers to training loads, the integral indicator of which can be the mechanisms of regulation of cardiac activity.

Keywords: coefficient of vestibular and vegetative adaptation, cardiohemodynamics, vestibular stability, boxers.

References

1. Agadzhanyan N. A., Truhanov A. I., SHenderov B. A. *Etyudy ob adaptacii i putyah sohraneniya zdorov'ya*, 156 s. (M., 2002).
2. Beketov A. I., Svistov V. V., Skoromnyj N. A. Krovoobrashchenie pri ukachivanii (fiziologicheskij i farmakologicheskij aspekty), *Trudy Krymskogo med. in-ta*, **98**, 23 (Simferopol': Izd-vo Krymskogo med. in-ta, 1983).
3. Laputin A. N., Kashuba V. A. *Formirovanie massy i dinamika gravitacionnyh vozdeystvij tela cheloveka v ontogeneze*, 201 s. (K.: Znaniya, 1999).
4. Kim V. V., SHCHanskov M. N. *Rol' sensoryh sistem v vegetativnom obespechenii myshechnoj raboty, Funkcional'nye rezervy sportsmenov razlichnoj kvalifikacii i specializacii* : Mezhvuz. Sb. nauchn. Trudov, 86 (L., 1986).
5. Avetikyan SH. T. O tipologicheskoy sistematizacii adaptivnyh reakcij (na primere antiortostaticheskogo vozdeystviya), *Fiziologiya cheloveka*, **8**, 130 (1982).

УДК 616.858-008.6

DOI 10.37279/2413-1725-2021-7-1-111-123

**ДИНАМИКА ИМПУЛЬСНОЙ АКТИВНОСТИ НЕЙРОНОВ
ВЕНТРАЛЬНОГО ПОСТЕРОЛАТЕРАЛЬНОГО ЯДРА (VPL) ТАЛАМУСА
КРЫС В ОТВЕТ НА СТИМУЛЯЦИЮ СОМАТОСЕНСОРНОЙ КОРЫ НА
МОДЕЛИ БОЛЕЗНИ ПАРКИНСОНА**

Мушегян Г. Х.¹, Араджян Г. М.¹, Погосян М. В.², Саркисян Дж. С.²

¹*Педагогический Университет им. Х. Абовяна, Ереван, Армения*

²*Институт физиологии им. Л. А. Орбели НАН РА, Ереван, Армения*

E-mail: musheghyankens@gmail.com

Проведены электрофизиологические исследования на 8 белых беспородных крысах (230±30г): интактных (5 животных) и на ротеноновой модели болезни Паркинсона (БП) (3 животных). Производили экстраклеточную on-line регистрацию импульсной активности 229 одиночных нейронов вентрального-постеро-латерального ядра (nVPL) таламуса в ответ на высокочастотную стимуляцию (ВЧС) вторичной соматосенсорной коры мозга.

В результате эксперимента, с сравнением интактных животных с модели БП, выявлена эксайтотоксичность в нейронах nVPL, ведущая к нейродегенеративному поражению этой важной антиноцицептивной структуры таламуса, с возникновением стойкой хронической боли.

Ключевые слова: ротеноновая модель болезни Паркинсона, одиночная нейрональная активность вентрального-постеро-латерального ядра таламуса (nVPL), высокочастотная стимуляция вторичной соматосенсорной коры мозга (СИ).

ВВЕДЕНИЕ

Большинство пациентов с нейродегенеративными болезнями (НБ) жалуются на боль, происхождение которой во многом остается неизвестным и нуждается в дальнейших исследованиях [1]. Отмечается частое и более интенсивное возникновение боли при болезни Паркинсона (БП), в качестве важнейшего немоторного симптома [2], с нарушением как эмоционального измерения боли, так и субъективного восприятия ее интенсивности [3]. К тому же, при БП описаны различные типы боли, преимущественно нейропатические или ноцицептивные [4]. Однако, в развернутых стадиях БП проявляются все 4 типа боли, связанных с БП (опорно-двигательного аппарата, дистоническая, корешковая и нейропатическая) [5]. В частности, возникновение нейропатической боли при БП связано с нейродегенерацией антиноцицептивных структур, задействованных в модуляцию боли [6]. Среди них представляют интерес околосредовое серое вещество (Periaqueductal gray matter – PAG) и голубое пятно (Locus coeruleus – LC). Причем LC с большим ядром шва продолговатого мозга (Raphe magnus – RMg), в котором оканчивается медиальная система, вовлекаются в аффективное и когнитивно-

оценочное измерение боли, болевую память, и автономные ответы [4]. Они активно участвуют в модуляции спинальной ноцицептивной передачи, в частности, торможением ноцицептивных стимулов от нейронов дорзального рога спинного мозга, нарушение чего чревато повышением ощущения боли [7]. Далее, представляет особый интерес реципрокное взаимодействие таламуса и коры мозга на уровне вентрального заднелатерального ядра таламуса (Ventral postero-lateral nucleus – nVPL) и первичной и вторичной соматосенсорной коры мозга – S1 и SII. Так, например, стимуляция последней ослабляет боль у людей и воспалительную ноцицепцию у животных. Латеральный таламус, будучи одним из высших центров, важных для болевых механизмов, играет также большую роль в центральной боли. Латеральный таламус – ключевая инстанция передачи ноцицептивной информации к мозговой коре. Таламические ядра воспринимающие ноцицептивные входы от соматосенсорной коры мозга через медиолемнисковый путь [8], нуждаются в специальном исследовании. Это, в частности, относится к проекции от SII к nVPL на модели БП. В настоящее время известны несколько экспериментальных моделей БП для ее воспроизведения. С этой целью используются резерпин, метамфетамин, 6-гидроксидофамин (6-OHDA), 1-метил-4-фенил-1,2,3,6-тетрагидропиридин – вещества, которые селективно разрушают катехоламинергические системы или нарушают их нормальное функционирование [9,10]. Также обнаружено, что некоторые сельскохозяйственные химикаты, такие как ротенон и паракват, при системном введении могут воспроизводить у грызунов ряд ключевых особенностей БП [9]. Несмотря на диффузное воздействие, ротенон вызывает селективную дегенерацию нигростриатного дофаминергического пути, избирательное окислительное повреждение полосатого тела и образование убиквитин- и α -синуклеинпозитивных включений в нигральных клетках, которые сходны с тельцами Леви при БП [11]. К достоинствам ротеноном индуцированной модели следует отнести то, что она воспроизводит большинство механизмов патогенеза БП. Например, у таких животных можно зарегистрировать формирование нейрональных включений и окислительный стресс, наблюдаемые при БП [12, 13]. Более того, отмечается, что только на ротеноновой модели получены данные, которые свидетельствуют о развитии тревожного расстройства, а нарушения в аффективной сфере, как известно, служат важнейшими немоторными проявлениями БП [13]. Основным недостатком этой модели считается ее вариабельность, но в отношении лишь поведенческих нарушений у части животных. Наконец, представляет интерес эксайтотоксичность, выявленная на моделях НБ, компенсирующая недостаток возбуждения из-за гибели нейронов. Она возникает в результате нарушения кальциевой буферизации, генерации свободных радикалов, активации митохондриальной проницаемости и вторичной эксайтотоксичности [14]. Что является результатом чрезмерной активации глутаматных NMDA и AMPA рецепторов, причиняющих серьезное повреждение нейронов [15], с их гибелью [16, 17] и содействующая развитию хронической боли.

Недавние исследования на клеточном и сетевом уровнях показывают, что функция синаптического торможения у млекопитающих сложная и не может оцениваться лишь в качестве противовеса синаптическому возбуждению [18].

Представляет интерес тот факт, что в некоторых структурах мозга, в течение эволюции, ГАМК выступает в качестве трофического фактора, влияющего на пролиферацию, миграцию, дифференциацию, созревание синапсов, клеточную гибель и экспрессию рецептора ГАМК(A) [19].

В настоящем исследовании предпринято изучение соотношения возбуждательных и тормозных постстимульных проявлений активности одиночных нейронов nVPL таламуса при стимуляции СИ коры мозга на модели БП, с целью выявления эксайтотоксичности, свидетельствующей о поражении одиночных нейронов nVPL таламуса и содействующей формированию стойкой боли.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Проведены электрофизиологические исследования на 8 белых беспородных крысах (230±30 г.): интактных (5 животных) и на модели БП (3 животных), индуцированной унилатеральным введением ротенона спустя 4 нед их выдерживания. Введение ротенона осуществляли в условиях уретанового наркоза (1.2 г/кг, в/б) из расчета 12 мкг в 0.5 мкл димексида (со скоростью 0.1 мкл/мин) в медиальном пучке переднего мозга "medial forebrain bundle" по координатам стереотаксического атласа [20] (AP+0.2; L±1.8; DV+8 мм). Исследование проводилось в соответствии с принципами Базельской декларации и рекомендациями руководства. ARRIVE [21].

Операции производили в следующей очередной последовательности: фиксация черепа в стереотаксическом аппарате, краниотомия с удалением костей от брегмы до лямбды и отсепаровкой твердой мозговой оболочки. Предварительно животные с БП обездвигивались 1 % дитилином (25 мг/кг в/б) и переводились на искусственное дыхание. Стеклообразные микроэлектроды с диаметром кончика 1-2 мкм, заполненные 2М NaCl, вводили в nVPL согласно стереотаксическим координатам (AP-2.28; L±3.0; DV+5.8 мм) для экстраклеточной регистрации импульсной активности одиночных нейронов (рис. 1).

Осуществляли высокочастотную стимуляцию (ВЧС) СИ (прямоугольными толчками тока длительностью – 0.05 мс, амплитудой 0.12–0.18 мВ, силой тока 0.32 мА и частотой 100 Гц в течение 1 сек) электродами вживленными в СИ согласно стереотаксическим координатам (AP-1.8, L±6.1, DV+5.5 мм).

Активность нейронов проявлялась в виде тетанической депрессии и потенциации (ТД и ТП), сопровождаемых посттетанической депрессией и потенциацией (ПТД и ПТП). Проводили анализ одиночной импульсной активности 229 нейронов nVPL. Далее проводили многоуровневую статистическую обработку для пре- и постстимульного отрезков времени. Для избираемых сравниваемых групп импульсной активности строили суммированные и усредненные перистимульные (PEHN Average) гистограммы и гистограммы частоты (Frequency Average). Анализ полученных данных производили по специально разработанному алгоритму, обеспечивающему достоверность перистимульных изменений межимпульсных интервалов [22]. Однородность двух независимых выборок проверяли t-критерием Стьюдента. Различия считали достоверными при P<0.05. Физиологическая установка представлена в качестве математической программной,

с систематическим статистическим анализом в процессе регистрации, разработанной в лаборатории Каменецким В. и на основе данных указанных в книге Орлова [24]. Параметры отведения импульсной активности в следующих пределах: частотная полоса усиления от 100 Гц до 5 кГц, амплитуда потенциалов действия (ПД) - в пределах разрешения 10-битного АЦП.

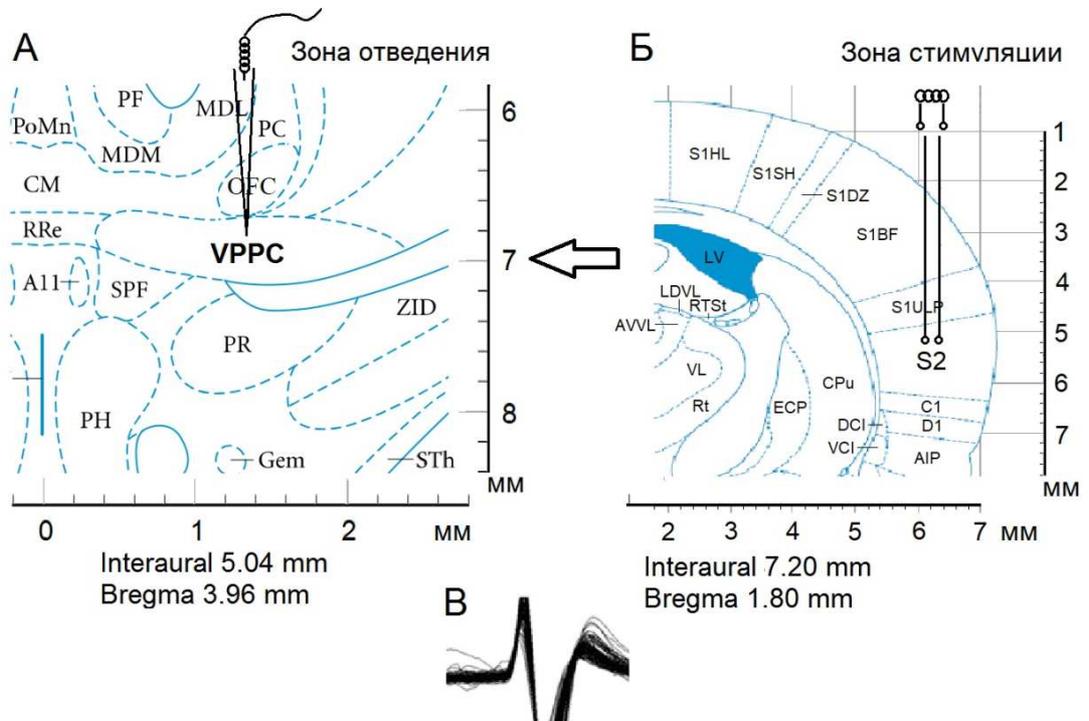


Рис. 1. Схема эксперимента по раздражению СИ и отведению из VPPC (nVPL). Стереотаксическое изображение пункта регистрации нейронной активности – Б, зоны стимуляции – А и характерного потенциала действия – В.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Импульсная активность одиночных нейронов nVPL на ВЧС СИ: интактных (125 нейронов, 5 животных) и на модели БП (104 нейрона, 3 животных) регистрировали внеклеточно.

По сравнению с престимульным уровнем, были обнаружены следующие изменения тормозных и возбуждающих тетанических и посттетанических реакций.

В нейронах nVPL на ВЧС СИ ТД в депрессорных и возбуждающих посттетанических реакциях в норме достигала 3.0- и 2.0-кратного снижения престимульной активности, а на модели БП – оказалась в пределах 1.14- и 1.17-кратного снижения в обеих постстимульных последовательностях, соответственно (рис. 2 А, В, Группы А, Б).

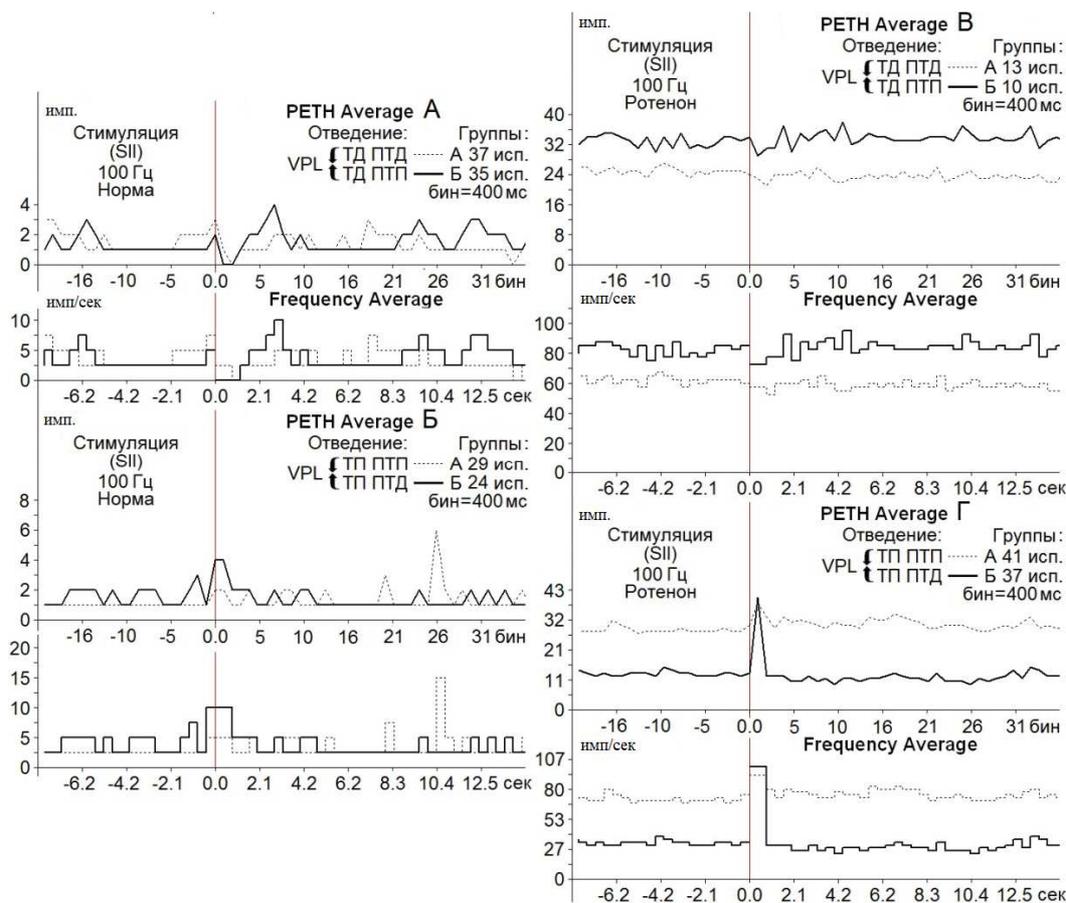


Рис. 2. Усредненные перистимульные (PETN Average) и гистограммы частоты (Frequency Average) тормозных (А, В) и возбуждаемых (Б, Г) постстимульных проявлений активности нейронов nVPL в норме (А, В) и на модели БП (В, Г) при ВЧС (100 Гц, 1 сек) SII. Для групп А, Б указано количество испытаний (исп.).

ТП в ПТП и ПТД в контроле определялись в пределах 2.0- и 4.0-кратного превышения престимульной активности (рис. 2 Б, Группы А, Б), на модели БП определялись в пределах 1.26- и 3.02-кратного превышения (рис. 2 Г, Группы А, Б).

Очевидно, что помимо значительного превышения ТП в возбуждительно-тормозной последовательности (рис. 2 Г), имело место снижение количества нейронов, отвечающих депрессорными постстимульными реакциями на модели БП в обеих последовательностях, в сравнении с нормой (порядка 13 и 10 против 37 и 35) (рис. 2 А, В).

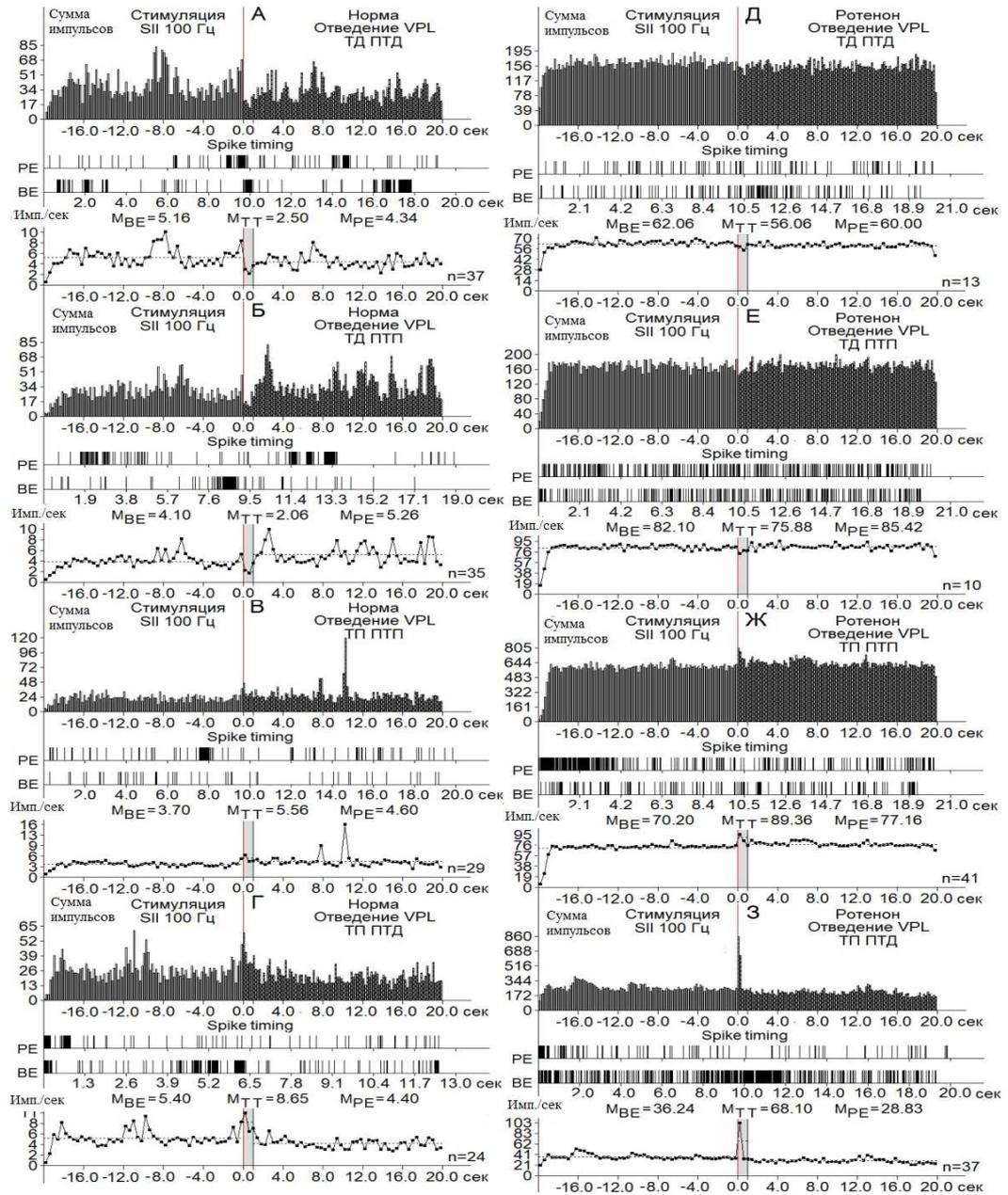


Рис. 3. Перистимульные гистограммы суммы импульсов с диаграммой частоты импульсов, с усредненными значениями, сконструированные на основе пре- и постстимульных тетанических и посттетанических тормозных (А), в сочетании с возбудительными (Б), возбудительных (В), сопровождаемых депрессорными (Г), проявлений импульсной активности одиночных нейронов nVPL при ВЧС 100 Гц SII на модели БП.

При оценке относительной степени выраженности вышеотмеченных тормозных и возбуждательных эффектов, на примере диаграмм усредненной частоты импульсов, получены значения, представленные в виде дисковых диаграмм для более наглядного представления степени выраженности и в частотном отображении (в %) экспериментальных данных в Рис. 4 (на основе рис. 3). Они привели к следующему выводу.

В двух депрессорных последовательностях значения ТД в нейронах nVPL в контроле достигали уровня снижения престаимпульной активности 2.06- и 2.10-кратного (рис. 3 А, Б; 4 А), а на модели БП – лишь 1.10- и 1.02-кратного (рис. 3 Д, Е, 4 Б). В возбуждательных последовательностях уровень ТП нейронов nVPL в контроле исчислялся в пределах 1.5- и 1.6-кратного превышения (рис. 3 В, Г; 4 А), на модели БП – 1.27- и 1.88-кратного.

Таким образом, тормозные постстимульные проявления активности на модели БП оказались вдвое ниже контроля, а возбуждательные – близкими к контролю, но без учета резкого изменения частоты пре- и постстимульных потенциалов действия (рис. 3; 4 А-Е). Престаимпульная частота активности нейронов nVPL, предшествующая депрессорным последовательностям в норме, оказалась порядка 5.16 и 4.10 имп./сек, а на модели БП – 62.06 и 82.10 имп./сек, что в 12.02 и 20.02 раза выше (рис. 3 А, Б, Д, Е; 4 Ж, З). Престаимпульная частота активности, предшествующая постстимульным возбуждательным последовательностям, оказалась в пределах 3.7 и 5.4 в норме и 70.20 и 36.24 на модели БП, что 19.07 и 6.71 раз выше, соответственно (рис. 3 В, Г, Ж, З; 4И, К).

Иными словами, на модели БП, престаимпульная частота импульсной активности нейронов nVPL, предшествующая как тормозным, так и возбуждательным постстимульным реакциям, значительно превысила таковые в контроле. Наконец, постстимульная частота импульсов нейронов nVPL, сопровождаемая постстимульными депрессорными последовательностями в контроле, достигала 2.50 и 2.06 имп./сек, а постстимульная частота импульсов нейронов nVPL, сопровождаемая постстимульными возбуждательными последовательностями – 5.56 и 8.65, (рис. 3 А-Г; 4 Ж, З). Постстимульная частота импульсной активности на модели БП, сопровождаемая депрессорными последовательностями, достигала 56.06 и 75.88, а сопровождаемая таковыми возбуждательными – 89.36 и 68.10, что 22.42 и 36.83 раз превысила контроль в тормозной последовательности и 16.07 и 7.87 раз – в возбуждательной. Иными словами, явно наблюдается резкое превышение частоты импульсной активности на модели БП, в отношении как пре-, так и постстимульной активности (рис. 3; 4 Ж-К).

Таким образом, как и следовало ожидать, на модели БП в нейронах nVPL произошел значительный сдвиг в отношении частоты пре- и постстимульных потенциалов действия, которые предшествовали и сопровождали тормозные и возбуждательные проявлениями постстимульной активности, в сравнении с контролем.

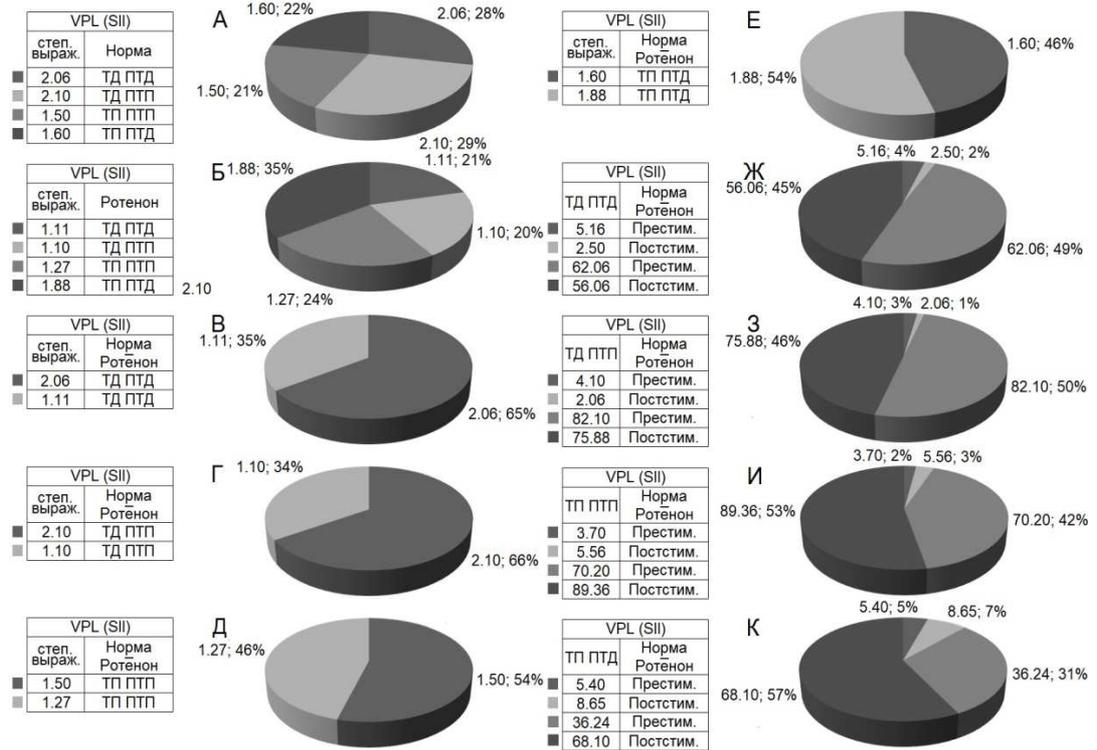


Рис. 4. Процентное соотношение степени выраженности (по усредненной частоте) депрессорных (ТД ПТД), депрессорно-возбудительных (ТД ПТП), возбудительных (ТП ПТП) и возбуждительно-депрессорных (ТП ПТД) постстимульных эффектов в одиночных нейронах nVPL при ВЧС SII в норме и на ротеноновой модели БП. Обозначения: степ. выраж. – степень выраженности, престим. и постстим. – престоимительный и постстимульный.

Литературные данные о изменении импульсной активности одиночных нейронов при нейродегенерации [23], как и в других аналогичных работах, преимущественно относились к выявлению более высокого ритма нейронального разряда и увеличения количества пачек импульсов в минуту. В работе Galvan A. и соавт. [24] у пациентов с БП и у животных моделей этого заболевания, нейроны в базальных ганглиях (БГ) и связанных с ними областях в таламусе и коре мозга, техникой электрофизиологической регистрации одиночной клетки, показали перестроенные (деформированные) ритмы и образцы разряда, патологическую ритмическую активность и повышенную межнейрональную синхронизацию. При этом модификации в ритмах разряда сопровождалась изменениями в паттернах разряда. Такими как повышенная тенденция нейронов к залпу барстами потенциалов действия, усиленная ритмичная активность в пределах каждого ядра и среди структур, и повышенная синхронность активации ближайших нейронов. Более того, обзор литературы указанными авторами показывает, что сходные

изменения в нейрональной активности (изменения в ритмах разряда, повышение в пачках импульсов, синхронность и активность в бета-ритме ЭЭГ видны почти во всех ядрах БГ, как у БП пациентов, так и в животных моделях болезни [24]. Использование в настоящей работе разработанного нами программного математического анализа импульсной активности в многочисленных наших публикациях, посвященных как специфической, так и неспецифической нейродегенерации, позволило выдвинуть следующее представление. Заключается оно в актуальности привлечения протекторного назначения тормозных постстимульных эффектов, сниженных в патологии, но способных успешно противодействовать неизбежной эксайтотоксичности, что надо учитывать при подборе соответствующей терапевтической стратегии [25]. В настоящей работе на модели БП в нейронах pVPL выявлена эксайтотоксичность, ведущая к нейродегенеративному поражению этой важной антиноцицептивной структуры таламуса, с возникновением стойкой хронической боли.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Отмеченное свидетельствует о необходимости протекторного углубления депрессорных эффектов и снижения чрезмерных возбуждательных, что согласуется с многочисленными вышеотмеченными нашими исследованиями, позволившими выдвинуть такое представление.

СОБЛЮДЕНИЕ ЭТИЧЕСКИХ СТАНДАРТОВ

Все применимые международные, национальные и/или институциональные принципы ухода и использования животных были соблюдены. Настоящая статья не содержит результатов каких-либо исследований с участием людей в качестве объектов исследований.

Список литературы

1. De Tommaso M. L. Pain in Neurodegenerative Disease: Behavioural Neurology. / De Tommaso M. L., Defrin R. et al. // Current Knowledge and Future Perspectives. 2016. – (1) – P. 1–14.
2. Beiske A. G. Pain in Parkinson's disease: prevalence and characteristics. / Beiske A. G., Loge J. H., Rønningen A., Svensson E. // Pain. – 2009. – 141 – P. 173–177.
3. Juri C. The pathophysiological basis of sensory disturbances in Parkinson's disease. / Juri C., Rodriguez-Oroz M., Obeso J. A. // J. Neurol. – 2010. – Sci. 289. – P. 60–65.
4. Ramiro-González M. Pain in Parkinson disease: A review of the literature. / Ramiro-González M., Fernández-de-las-Peñas C. // Parkinsonism & Related Disorders. – 2013. – 19.3. – P. 285–294.
5. Valkovic P. Pain in Parkinson's Disease: A Cross-Sectional Study of Its Prevalence, Types, and Relationship to Depression and Quality of Life. / Valkovic P., Minar M., Singliarova H., Harsany J., Hanakova M., Martinkova J., Benetin J. // PLoS One. – 2015. – 10(8). – e0136541.
6. Jensen T. S. A new definition of neuropathic pain. / Jensen T. S., Baron R., Haanpää M., Kalso E., Loeser J. D., Rice A. S., Treede R. D. // Pain. – 2011. – 152(10). – P. 2204–2205.
7. Scherder E. Pain in Parkinson's disease and multiple sclerosis: its relation to the medial and lateral pain systems. / Scherder E., Wolters E., Polman C., Sergeant J., Swaab D. // Neurosci. Biobehav. – 2005. – rev. 29. – P. 1047–105.

8. Sagalajev B. Descending antinociception induced by secondary somatosensory cortex stimulation in experimental neuropathy: role of the medullospinal serotonergic pathway. / Sagalajev B., Viisanen H., Wei H., Pertovaara A. // *Journal of Neurophysiology*. – 2017. – 117(3). – P. 1200–1214.
9. Ставровская А. В. Технологии моделирования заболеваний нервной системы. Вкн. – М.: АТМО. Неврология XXI века: диагностические, лечебные и исследовательские технологии. Руководство для врачей. В 3-х т. Под ред. Пирадова М. А., Иллариошкина С.Н., Танащян М.М. Т. III. / Ставровская А. В., Конорова И. Л., Иллариошкин С. Н., Федорова Т. Н., Стельмашук Е. В., Ямщикова Н. Г., Стволинский С. Л., Генрихс Е. Е., Коновалова Е. Е. // *Современные исследовательские технологии в экспериментальной неврологии*. – 2015. – С. 73–133.
10. Blesa J. Parkinson's disease: animal models and dopaminergic cell vulnerability. / Blesa J., Przedborski S. // *Frontiers in Neuroanatomy*. – 2014. – 8 – P. 155–188.
11. Schmidt W. Controversies on new animal models of Parkinson's disease pro and con: the rotenone model of Parkinson's disease (PD). / Schmidt W., Alam M. J. // *Journal of Neural Transmission. Supplementum*. – 2006. – 70. – P. 273–276.
12. Воронков Д. Н. Изменения нейроглиального взаимодействия в nigrostriатных структурах мозга при моделировании дисфункции дофаминовой системы. / Воронков Д. Н., Худоерков Р. М., Доведова Е. Л. // *Журнал неврологии и психиатрии им. С. С. Корсакова*. – 2013. – 113(7). – С. 47–55.
13. Höglinger G. U. The rotenone model of parkinsonism – the five years inspection. / Höglinger G. U., Oertel W. H., Hirsch E. C. // *Journal of Neural Transmission. Supplementum*. – 2006. – 70. – P. 269–723.
14. Dong Xiao-xia. Molecular mechanisms of excitotoxicity and their relevance to pathogenesis of neurodegenerative diseases. / Dong Xiao-xia, Wang Yan, Qin Zheng-hong. // *Acta Pharmacologica Sinica*. – 2009. – 30. – P. 379–387.
15. Matthew R. H. Glutamate-mediated excitotoxicity and neurodegeneration in Alzheimer's disease. / Matthew R. H. // *NCI*. – 2004. – 45(5). – P. 583–595.
16. Lucas D. R. The toxic effect of sodium L-glutamate on the inner layers of the retina / Lucas D. R., Newhouse J. P. // *AMA Archives of ophthalmology*. – 1957. – 58(2). – P. 193–201.
17. Olney J. W. Brain lesions, obesity, and other disturbances in mice treated with monosodium glutamate. / Olney J. W. // *Science*. – 1969. – 164(3880). – P. 719–721.
18. Birke G. No simple brake-the complex functions of inhibitory synapses. / Birke G., Draguhn A. // *Pharmacopsychiatry*. – 2010. – 43(1). – P. 21–31.
19. Owens D. Is there more to GABA than synaptic inhibition? / Owens D., Kriegstein A. // *Nat Rev Neurosci*. – 2002. – 3(9). – P. 715–727.
20. Paxinos G. The rat brain in stereotaxic coordinates. / Paxinos G., Watson C. // Elsevier, Academic Press, 5th ed., 2005.
21. Kilkenny C. Improving Bioscience Research Reporting: The ARRIVE Guidelines for Reporting Animal Research. / Kilkenny C., Browne W. J., Cuthill I. C., Emerson M., Altman D. G. // *PLoS Biol*. – 2010. – 8(6). – e1000412.
22. Орлов А. И. Прикладная статистика. / Орлов А. И. – Издательство: Экзамен ISBN: 5-472-01122-1. – 2004. – 483 с.
23. Von Wrangel C. The rotenone-induced rat model of Parkinson's disease: behavioral and electrophysiological findings. / Von Wrangel C., Schwabe K., John N., Krauss J. K., Alam M. // *Behav Brain Res*. – 2015. – 279. – P. 52–61.
24. Galvan A. Alterations in neuronal activity in basal ganglia-thalamocortical circuits in the parkinsonian state. / Galvan A., Devergnas A., Wichmann T. // *Front Neuroanat*. – 2015. – 9. – P. 5.
25. Саркисян Дж. С. Назначение депрессорных синаптических процессов в условиях специфической нейродегенеративной патологии и протекции / Саркисян Дж. С., Погосян М. В., Даниелян М. А., Степанян А. Ю, Варданян А. В. // LAP LAMBERT Academic Publishing RU. – 2018.

**DYNAMICS OF THE IMPULSE ACTIVITY OF NEURONS IN THE VENTRAL
POSTEROLATERAL NUCLEUS (VPL) OF THE RAT'S THALAMUS IN
RESPONSE TO SOMATOSENSOR CORE STIMULATION IN A PARKINSON'S
DISEASE MODEL**

Musheghyan G. Kh.¹, Arajyan G. M.¹, Poghosyan M. V.², Sarkissian J. S.²

¹*Armenian State Pedagogical University after K. H. Abovyan, Yerevan, Armenia*

²*Institute of Physiology L. A. Orbeli NAS RA, Yerevan, Armenia*

E-mail: musheghyankens@gmail.com

Neurodegenerative diseases are going to increase as the life expectancy is getting longer. Most patients with neurodegenerative diseases (ND) complain of pain, the origin of which remains largely unknown and requires further research. One of the reasons why the topic of pain and PD is difficult to address is that it is sometimes tough to discern whether a particular pain is due to PD or not. Chronic pain is such a common symptom among the general population, and people with PD are not immune to common problems as well. However, there are aspects of PD that may exacerbate the pain experienced from a common problem. In addition, there are particular types of pain that may be unique to people with PD. There is a frequent and more intense onset of pain in Parkinson's disease, as the most important non-motor symptom, with a violation of both the emotional measurement of pain and the subjective perception of its intensity. In addition, various types of pain have been described in PD, mainly neuropathic or nociceptive. The presence of pain symptoms is often not taken into account in the recommendations for treatment, leaving their management at the discretion of only doctors. Studies focusing on pain frequency in such disorders suggest a high prevalence of pain in selected populations from 40% to 86% in Parkinson's disease (PD). The methods of pain assessment vary between studies so the type of pain has been rarely reported. However, a prevalent nonneuropathic origin of pain emerged for PD.

The electrophysiological investigations on 8 rats Albino lines (230±30g.) has been conducted: intact (5 animals) and on the rotenone model of Parkinson's disease (PD) (3 animals) has been conducted. The extracellular recording of impulse activity 229 single neurons of ventral-posterolateral nucleus (nVPL) of thalamus on high frequency stimulation of second somatosensory cortex of the brain has been produced. Analyses of relative degree frequency intensity of depressor and excitatory effects, on the bases of diagrams of average frequency of impulses, presented as disk graphs in mentioned conditions following changes of tetanic depressor and excitatory reactions, accompanied by posttetanic depressor and potentiation has been revealed. On the model of PD in both sequences, in comparison with norm, reduction in the number of neurons, responded by inhibitory poststimulus reactions has been revealed. The prestimulus frequency of nVPL neurons impulse activity, preceding to both inhibitory and excitatory sequences, in comparison with, dramatically increased turned out to be. The poststimulus frequency of impulse activity on the model of PD, accompanied by inhibitory and excitatory sequences also significantly increased turned out to be. A significant shift of frequency of pre- and poststimulus activity in pathology is a consequence of the development of excitotoxicity,

that is fraught with apoptosis and dead. In conclusion, on the model of PD the excitotoxicity revealed in neurons of nVPL, leading to neurodegenerative defeat of these important antinociceptive structures of thalamus, with origin of resistant chronic pain. Marked indicates the need of protective conservation of inhibitory effects and reduced of excessive excitatory.

Keywords: rotenone model of Parkinson's disease, unilateral damage of substantia nigra compacta (SNc), impulse activity of nVPL single neurons, high frequency stimulation of SII cortex.

References

1. De Tommaso M. L., Defrin R. et al. Pain in Neurodegenerative Disease: Current Knowledge and Future Perspectives. *Behavioural Neurology*, (1), 1 (2016).
2. Beiske A. G., Loge J. H., Rønningen A., Svensson E. Pain in Parkinson's disease: prevalence and characteristics, *Pain*, **141**, 173 (2009).
3. Juri C., Rodríguez-Oroz M., Obeso J.A. The pathophysiological basis of sensory disturbances in Parkinson's disease, *J. Neurol. Sci.*, **289**, 60 (2010).
4. Ramiro-González M., Fernández-de-las-Peñas C. Pain in Parkinson disease: A review of the literature. *Parkinsonism & Related Disorders*, **19(3)**, 285 (2013).
5. Valkovic P., Minar M., Singliarova H., Harsany J., Hanakova M., Martinkova J., Benetin J. Pain in Parkinson's Disease: A Cross-Sectional Study of Its Prevalence, Types, and Relationship to Depression and Quality of Life. *PLoS One.*, **10(8)**, e0136541 (2015).
6. Jensen T. S., Baron R, Haanpää M., Kalso E., Loeser J. D., Rice A. S., Treede R. D. A new definition of neuropathic pain. *Pain.*, **152(10)**, 2204 (2011).
7. Scherder E., Wolters E., Polman C., Sergeant J., Swaab D. Pain in Parkinson's disease and multiple sclerosis: its relation to the medial and lateral pain systems. *Neurosci. Biobehav. Rev.*, **29**, 1047 (2005).
8. Sagalajev B., Viisanen H., Wei H., Pertovaara A. Descending antinociception induced by secondary somatosensory cortex stimulation in experimental neuropathy: role of the medullospinal serotonergic pathway. *Journal of Neurophysiology*, **117(3)**, 1200 (2017).
9. Stavrovskaja A.V., Konorova I.L., Illarioshkin S.N., Fedorova T.N., Stelmashuk E.V., Jamshchikova N.G., Stvolinsky S.L., Genrikhs E.E, Konovalova E.E. Technology of modeling of the nervous system diseases/ In: Neurology of XXI century: diagnostic, medical and research technologies. A guide for doctors. In 3 v. Under Ed. Piradova M.A., Illarioshkina S.N., Nanashian M.M. III. Modern research technologies in experimental neurology, 73 (M.: ATMO., 2015).
10. Blesa J., Przedborski S. Parkinson's disease: animal models and dopaminergic cell vulnerability. *Frontiers in Neuroanatomy*, **8**, 155 (2014).
11. Schmidt W., Alam M. J. Controversies on new animal models of Parkinson's disease pro and con: the rotenone model of Parkinson's disease (PD). *Journal of Neural Transmission. Supplementum.*, **70**, 273 (2006).
12. Voronkov D. N., Khudojorkov R. M., Dovedova E. L. The changes of neuroglial interaction in nigrostriate structures of the brain under modeling disfunction of dofaminergic system. *Korsakov Journal of Neurology and Psychiatry (Zhurnal nevrologii i psikiatrii imeni S.S. Korsakova)*, **113(7)**, 47 (2013).
13. Hoglinger G. U., Oertel W. H., Hirsch E. C. The rotenone model of parkinsonism – the five years inspection. *Journal of Neural Transmission. Supplementum.*, **70**, 269 (2006).
14. Dong Xiao-xia, Wang Yan, Qin Zheng-hong. Molecular mechanisms of excitotoxicity and their relevance to pathogenesis of neurodegenerative diseases. *Acta Pharmacologica Sinica*, **30**, 379 (2009).
15. Matthew R.H. Glutamate-mediated excitotoxicity and neurodegeneration in Alzheimer's disease. *NCI.*, **45(5)**, 583 (2004).
16. Lucas D. R., Newhouse J. P. The toxic effect of sodium L-glutamate on the inner layers of theretina. *AMA Archives of ophthalmology*, **58(2)**, 193 (1957).
17. Olney J.W. Brain lesions, obesity, and other disturbances in mice treated with monosodium glutamate. *Science*, **164(3880)**, 719 (1969).

18. Birke G., Draguhn A. No simple brake--the complex functions of inhibitory synapses. *Pharmacopsychiatry.*, **43(1)**, 21 (2010).
19. Owens D., Kriegstein A. Is there more to GABA than synaptic inhibition? *Nat Rev Neurosci.*, **3(9)**, 715 (2002).
20. Paxinos G., Watson C. *The rat brain in stereotaxic coordinates*. (Elsevier, Academic Press, 5th ed., 2005).
21. Kilkenny C., Browne W. J., Cuthill I. C., Emerson M., Altman D. G. Improving Bioscience Research Reporting: The ARRIVE Guidelines for Reporting Animal Research. *PLoS Biol.*, **8(6)**, e1000412 (2010).
22. Von Wrangel C., Schwabe K., John N., Krauss J. K., Alam M. The rotenone-induced rat model of Parkinson's disease: behavioral and electrophysiological findings. *Behav Brain Res.*, **279**, 52 (2015).
23. Galvan A., Devergnas A., Wichmann T. Alterations in neuronal activity in basal ganglia-thalamocortical circuits in the parkinsonian state. *Front Neuroanat.*, **9**, 5 (2015).
24. Orlov A.I. *Applied statistics*, p. 483. (Publisher: Exam ISBN: 5-472-01122-1, 2004).
25. Sarkissian J. S., Poghosyan M. V., Danielyan M. A., Stepanyan H. Y, Vardanyan A. V. *The assign of depressor synaptic processes in condition of specific neurodegenerative pathology and protection*. (LAP LAMBERT Academic Publishing RU, 2018).

УДК 612.822

DOI 10.37279/2413-1725-2021-7-1-124-140

МЕТОДЫ КОРРЕКЦИИ РАЗВИТИЯ ДЕТЕЙ С АУТИЗМОМ НА ОСНОВЕ БИОЛОГИЧЕСКОЙ ОБРАТНОЙ СВЯЗИ ПО ЭЭГ

Павленко Д. В., Чуян Е. Н., Павленко В. Б.

*Таврическая академия (структурное подразделение) ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет имени В. И. Вернадского», Симферополь, Республика Крым, Россия
E-mail: pavlenkoprog@gmail.com*

В статье представлен обзор актуальных научных работ, посвященных методам коррекции развития детей с расстройствами аутистического спектра (РАС) на основе биологической обратной связи (БОС) по ЭЭГ. Хотя природа развития РАС до сих пор не изучена в полной мере, существует значительное число работ, анализирующих предполагаемые нейрофизиологические механизмы данного нарушения психического развития. Современные исследования демонстрируют наличие аномалий в ЭЭГ детей с аутизмом и возможность действенного применения БОС по ЭЭГ для коррекции заболевания. Дальнейшие исследования в этом направлении могут стать основой наиболее эффективных методик лечения РАС.

Ключевые слова: аутизм, расстройства аутистического спектра, дети, ЭЭГ, БОС.

ВВЕДЕНИЕ

Расстройства аутистического спектра (РАС) – нарушения психического развития, имеющие нейроонтогенетический характер, проявляющиеся в детстве или младенчестве [1]. К основным признакам РАС можно отнести существенные отклонения в реализации и понимании социальных взаимодействий, снижение эмпатии. В большинстве случаев данные расстройства сопровождаются умственной отсталостью, но при этом существуют и высокоактивные аутисты с ярко выраженными способностями в различных сферах.

Согласно статистическим данным в последние десятилетия встречаемость больных с РАС увеличилась во всем мире, в особенности в развитых странах. Механизм развития аутизма до сих пор не изучен полностью, однако наиболее весомые теории рассматривают его как последствие нарушений онтогенеза нервной системы [2, 3]. Исследования нейрофизиологических механизмов, лежащих в основе патологии РАС, могут способствовать разработке новых более действенных методов ранней диагностики и коррекции заболевания. Несмотря на заметный рост числа публикаций по данной теме, который можно наблюдать в последние годы, в представлениях о природе, развитии и лечении аутизма остается еще много неясного и противоречивого.

Недавно опубликованный обзор А. И. Федотчева и соавторов [4] посвящен диагностике и лечению РАС с применением интерфейсов мозг-компьютер. В

указанном обзоре основное внимание было уделено методикам детекции и подавления состояний тревоги у таких больных. В тоже время для РАС, как уже отмечалось, наиболее характерными являются расстройства социального поведения, неумение создавать и поддерживать адекватные социальные контакты, что и ведет, как следствие, к чрезмерной тревожности.

В связи с этим, целью данной работы явился обзор публикаций, посвященных нейрофизиологическим механизмам развития аутизма, анализу особенностей биологической активности головного мозга у больных с РАС и методам коррекции нарушений социального поведения с помощью сеансов биологической обратной связи (БОС) по ЭЭГ. Поиск работ, по ключевым словам, был проведен с использованием баз научной литературы Pubmed.com, ScienceDirect.com, SCOPUS.com, eLIBRARY.ru.

1. АУТИЗМ, РАС – ФЕНОМЕНОЛОГИЯ И ЧАСТОТА ВСТРЕЧАЕМОСТИ

Согласно диагностическому руководству [5] к РАС относятся детский аутизм (синдром Каннера), синдром Аспергера, детское дезинтегративное расстройство, неспецифическое pervasive нарушение развития. Детский аутизм (F84.0), являющийся наиболее типичным для этой группы расстройств, представляет собой комплексное дезинтегративное нарушение психического развития, характеризующееся дефицитом способности к социальному взаимодействию, коммуникации, стереотипностью поведения, что приводит к социальной дезадаптации [1].

РАС характеризуются рядом основных симптомов и рядом сопутствующих. При этом в каждом отдельном случае они выражены в разной степени, а некоторые показатели могут отклоняться от нормы в разных направлениях. К основным симптомам, которые присутствуют у каждого больного, можно отнести нарушения в социальном поведении, которые проявляются в неспособности вести нормальный диалог и устанавливать социальные контакты, избегании физического взаимодействия и визуального контакта, отсутствии интереса к людям. Кроме того, больным с РАС свойственно стереотипное поведение, проявляющееся в повторении монотонных действий [2, 5–7].

К дополнительным симптомам, которые наблюдаются в частных случаях, можно отнести: слишком слабый или слишком сильный ответ на некоторые сенсорные стимулы; агрессивные реакции, страх или раздраженность, не имеющие очевидной причины; нарушение развития речи или ее отсутствие; нарушение умственных способностей; поведение, направленное на самоповреждение; феноменальные способности к определенным видам деятельности при снижении способностей к большинству видов деятельности. При аутизме могут присутствовать некоторые сопутствующие заболевания, такие как синдром дефицита внимания и гиперактивности, эпилепсия [2, 5–7].

Проявления явных признаков развития РАС обычно наблюдается в возрасте до 2,5–3 лет, часто после периода нормального развития. При атипичном аутизме проявление начала заболевания может происходить в возрасте выше трех лет и один из основных симптомов может отсутствовать [5].

Согласно данным Всемирной организации здравоохранения в настоящее время один ребенок из 160 имеет диагноз РАС [9]. Распространенность РАС у мальчиков по сравнению с девочками выше и имеет соотношение примерно 4 / 1 [10–12].

Следует учитывать, что частота встречаемости аутизма в разных странах значительно отличается. Согласно данным Центра национального исследования здоровья [13], в США в 2016 г. диагноз РАС имели 2790 из 100 тысяч детей в возрасте от 3 до 17 лет, т.е. 2,79 %. В Индии страдают аутизмом 0,23 % детей [14]. По данным ТАСС [15] в 2018 году в России страдали аутизмом примерно 0,1 % детского населения. При этом встречаемость заболевания увеличивается с каждым годом. Так, в США в 2010 г. распространенность РАС у детей составляла только 1,14 %, т.е. вдвое меньше, чем шесть лет спустя. Точная причина такого увеличения заболеваемости РАС не ясна. Некоторые эксперты считают, что это зависит от особенностей диагностики, другие отмечают влияние ухудшения экологических и социальных факторов [16].

2. ПРИЧИНЫ РАЗВИТИЯ РАС

На сегодняшний день нет единой подтвержденной теории, объясняющей причины и особенности процесса развития аутизма, а также спектр нарушений, характерных для данного заболевания. К возможным причинам относят очевидные перинатальные факторы, такие как: травмы, последствия инфекционных заболеваний матери, нарушение обмена веществ, некоторые лекарственные средства, промышленные токсины и др. причины [1]. Однако РАС развивается и в тех случаях, когда действия данных факторов не наблюдалось.

Наиболее вероятной причиной развития РАС считают генетические нарушения [2]. В данном контексте аутизм рассматривают как результат структурных изменений генома на различных уровнях: нуклеотидные замены в генах, изменение числа копий генов, изменение количества хромосом в отдельных клетках [1]. Установлено, что РАС демонстрирует высокую наследуемость с вкладом генетических факторов 56–95 % [17].

При аутизме у 10–25 % больных наблюдаются генетические заболевания, возникающие в результате мутации одного гена, например, синдром ломкой X-хромосомы, синдром Ретта, синдром Ангельмана [18]. Если аутизм возник в результате мутации одного гена он обозначается как моногенный аутизм.

Нарушения могут возникать в генах, участвующих в образовании синапсов, таких как гены клеточной адгезии, формирования каркасных белков и белков цитоскелета, сигнальных путей, ионных каналов и сигнальных молекул клетки. Мутация в этих генах нарушает регуляторные или кодирующие области, которые вносят вклад в патогенез РАС, влияя на формирование и пластичность синапсов, процессы синаптической передачи. На сегодняшний день установлено, что с высокой вероятностью к развитию РАС ведут нарушения функционирования 69 генов (см. обзор [19]), 65 из них имеют пик экспрессии пренатально, причем подавляющее большинство влияет на пролиферацию, дифференцировку и миграцию нервных клеток, рост аксонов и синаптогенез, синтез нейротрансмиттеров и развития рецепторов к ним. Большинство из этих генов

также являются плейотропными и влияют на несколько указанных процессов. У разных людей с РАС различия в том, как и когда эти плейотропные пути нарушены, приведет к различным, даже противоположным эффектам, вызывая пренатальную, а также более позднюю нейронную и клиническую гетерогенность. Таким образом, в разных случаях может развиваться избыток или уменьшение количества синапсов. В большинстве случаев у больных РАС происходит избыточный рост мозга, в то время как уменьшенный размер наблюдается в небольшой группе. Каскад нарушений может начаться уже в первом триместре внутриутробного развития с изменений пролиферации и дифференцировки клеток. Затем этот процесс продолжается на протяжении всей пренатальной жизни и в послеродовой период первых лет жизни. Пораженные области включают лобную, височную, теменную, затылочную, мозжечковую, стриатальную и гиппокампальную.

Некоторые гены, участвующие в развитии расстройства аутистического спектра, подвергаются эпигенетическим модификациям под влиянием окружающей среды и патогенов. К факторам, которые могут привести к подобным изменениям можно отнести: внутриутробное воздействие на плод инфекций, таких как грипп и краснуха [20–22]; воздействие токсинов или тяжелых металлов; недостаток Zn^{2+} и витамина D; аномальные уровни мелатонина у матери [23, 24]; сахарный диабет матери; перинатальный стресс [25–27]. Предполагается, что эти факторы могут взаимодействовать между собой и с генетическими нарушениями, что приводит к росту вероятности развития аутизма.

В одном из медицинских отчетов, опубликованном в 1998 году, выдвигались предположения о том, что развитие аутизма вызывается применением вакцин против кори-паротита-краснухи. Данная информация вызвала панику у населения. Однако в дальнейшем в указанном отчете было выявлено большое количество неточностей и публикация была отозвана. Последующие многочисленные и достоверные исследования опровергли данное предположение [28].

Ключевым в возникновении РАС является, вероятно, нарушение процесса синаптического прунинга – отмирания части синапсов, необходимое для уменьшения избыточных связей и повышения эффективности работы центральной нервной системы [29]. Данный процесс выявлен у многих млекопитающих, в том числе и у человека. Предполагается, что на него могут повлиять факторы окружающей среды и изменения в генотипе. Исходя из этого, выдвинута гипотеза, объясняющая симптомы РАС как результат нарушения структурной и функциональной связности различных отделов мозга. Мозговая связность (*brain connectivity*) – это широкое и многогранное понятие. В нейробиологии связность может относиться к физическому взаимодействию областей мозга через пучки аксонов (структурная или анатомическая связь); к статистическим зависимостям между временными рядами мозговой активности в разных областях мозга, проявляющимся в корреляциях, согласованности в фазе задержки (функциональная связь); или причинно-следственным взаимодействиям между областями мозга (эффективная связь) [30, 31].

Целый ряд авторов (см. обзор [3]) придерживается гипотезы, согласно которой аутизм характеризуется недостаточностью соединений, протяженных в масштабах

всего мозга (между его отделами и регионами неокортекса), в сочетании с избыточностью локальных соединений (внутри микроучастков коры больших полушарий и подкорковых ядер). Эта гипотеза преимущественно подтверждается исследованиями с применением структурной и функциональной магниторезонансной томографии (МРТ) и посмертными иммуноцитохимическими исследованиями. Недостаточная структурная связность на больших расстояниях может быть результатом деградации длинных пучков волокон (затылочно-лобного пучка и мозолистого тела, а также других путей). Местная структурная сверхсвязность может быть результатом увеличения нейрогенеза, уменьшения апоптоза нейронов, снижения прунинга аксонов и синапсов. Указанные явления приводят к образованию и избыточному сохранению синаптических контактов и, в конечном счете, к нарушению баланса возбуждения и торможения, глобальных процессов переработки информации в ЦНС.

Представление о снижении межрегиональной мозговой связности согласуется также с результатами МРТ-исследований активности мозга больных при выполнении различных когнитивных, социальных и эмоциональных задач [32–34]. Несмотря на правдоподобность данного представления, природа конкретных нарушений обработки информации у пациентов с РАС все еще не ясна. Для устранения противоречий в некоторых результатах наблюдений было предложено объединить в одну теорию и локальное избыточное взаимодействие систем, и его дефицит.

Одна из гипотез, объясняющая нарушения социального поведения у больных с РАС, возникла после открытия зеркальной системы мозга (ЗСМ) у приматов, а затем и у человека [35–38]. Данное открытие представило основу для многих ключевых концепций формирования социального и эмоционального поведения индивида. Многие интеллектуальные и когнитивные нарушения у человека объяснили аномалиями ЗСМ. Прежде всего, с функционированием ЗСМ связали способность человека к формированию и координации социального представления о себе и окружающих через амодальные или кросс-модальные процессы репрезентации [39]. Данная гипотеза явилась объектом дискуссий, в том числе связанных с недостатком неопровержимых доказательств связи социального поведения человека и ЗСМ [40–42]. В контексте изложенного выше вполне вероятно, что нарушение работы ЗСМ является проявлением искажений связности различных систем мозга.

Отмечают [19], что раннее коррекционное вмешательство может улучшить результаты развития пациента с РАС и помочь родителям в решающий момент развития мозга их ребенка. В период раннего детства человеческий мозг проходит период становления и совершенствования нейронных связей, что является основой для развития социальных, языковых и когнитивных сетей и поведения более высокого порядка. В это время мозг ребенка обладает высокой нейропластичностью.

3. НЕЙРОФИЗИОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ДЕТЕЙ С РАС, ОСОБЕННОСТИ ЭЭГ

Критически важным для понимания причин развития аутизма и разработки подходов к его лечению является анализ структурных и функциональных особенностей ЦНС у больных аутизмом. В ходе нейроморфологических и нейрофизиологических исследований у детей с РАС выявлен ряд показателей, отличных от показателей типично развивающихся детей. В частности, как отмечено выше, у детей с аутизмом выявлены нарушения синаптической организации мозга, установлены корреляции этих нарушений с показателями когнитивных, эмоциональных и поведенческих тестов, характеристиками ЭЭГ.

У детей с РАС, по сравнению с нормально развивающимися детьми, выявлены более высокие значения спектральной мощности альфа- и тета-ритмов ЭЭГ в передних отделах коры и пониженные значения спектральной мощности указанных ритмов в задних отделах неокортекса. В некоторых случаях наблюдается правостороннее преобладание альфа-ритма. Обнаружено увеличение мощности гамма-ритма в переднее-центральных и височных отделах. При этом по особенностям ЭЭГ выделяют группы детей с РАС, предрасположенные к дальнейшему развитию либо по шизофреническому, либо по аутистическому типу [43]. Ранее у больных РАС были отмечены повышенная гамма-активность над теменной корой [44] и снижение мощности гамма-ритма в левом полушарии головного мозга [45].

Следствием нарушения синаптической организации и структурной связности мозга может являться нарушение функциональной связности отделов ЦНС у людей с РАС. Изучение фазовой когерентности в нескольких частотных диапазонах ЭЭГ продемонстрировало наличие глобальной гипосвязности и локальной гиперсвязности у пациентов с РАС [46]. В частности, выявлена локально повышенная когерентность в диапазоне частот тета-ритма (3–6 Гц), особенно в левой лобной и височной областях, а также глобально более низкая когерентность в нижнем альфа-диапазоне (8–10 Гц) во фронтальных областях [46]. При этом есть и противоположные данные, свидетельствующие об уменьшении локальной и, в разных случаях, пониженной или увеличенной дальнедействующей спектральной когерентности для группы испытуемых с РАС по сравнению с контрольной [47]. Авторы данной работы отмечают, что паттерны когерентности у людей с аутизмом были необычно стабильными в широком спектральном диапазоне, что интерпретировалось как наличие «нейронных сетей с избыточным демпфированием». В других исследованиях сообщалось о пониженной дельта- и тета-когерентности внутри и между полушариями во фронтальной области и дельта-, тета- и альфа-гипокогерентности в височных областях, в то время как в задних областях коры наблюдались низкие дельта-, тета- и бета-когерентности [48]. Также отмечено усиление связи височных долей с другими долями в диапазоне гамма-частот [49].

Интересно отметить, что исследования функциональной связности между отдаленными регионами неокортекса у здоровых людей, основанные на анализе

параметров дельта- и тета-ритмов ЭЭГ, показали, что чем ниже степень такой связности, тем более выражены аутичные черты личности [50].

Что касается функциональных особенностей ЦНС, то особое внимание уделяют нарушению деятельности ЗСМ [51, 52]. Когда нервная система человека не обрабатывает зрительно-моторную информацию, поступающую при собственных движениях, их представлении и восприятии движений других людей, нейроны ЗСМ находятся в состоянии «холостого хода», синхронно срабатывая с частотой 8–13 Гц, что проявляется в виде мю-ритма ЭЭГ [51, 52]. Но у детей с РАС данный ритм сохраняется и в то время, когда их нервная система должна обрабатывать соответствующую информацию, в том числе, когда они наблюдают за другими людьми, за тем как окружающие выполняют социальные или другие целенаправленные действия. Отсутствие подавления или десинхронизации мю-ритма может свидетельствовать о нарушении работы ЗСМ [51]. В то же время, было обнаружено, что дети с аутизмом демонстрируют близкий к нормальному уровень подавления мю-ритма при наблюдении за действиями, совершаемыми хорошо знакомыми им людьми [51]. Данный факт говорит о том, что ЗСМ у детей с РАС все же частично функционирует и может при определенных обстоятельствах работать нормально.

4. МЕТОДЫ КОРРЕКЦИИ, ОСНОВАННЫЕ НА БОС ПО ЭЭГ, НЕЙРОТЕРАПИЯ

Одним из перспективных методов коррекции развития детей с РАС являются методики биологической обратной связи (БОС). Тренинги БОС на основе ЭЭГ применяются в последние десятилетия как метод неинвазивного лечения различных педиатрических групп, имеющих диагнозы нейропсихиатрических расстройств [53]. Несмотря на ряд методологических проблем, признание данного метода постоянно растет [54]. Метод БОС основан на использовании интерфейса мозг-компьютер. Данный метод позволяет пациентам управлять элементами некоторого процесса (или игры), целенаправленно модулируя электрокортикальную активность в соответствии с заданием [55]. Такое управление достигается за счет предоставления пациенту наглядной обратной связи в режиме реального времени. При этом желаемые изменения электрофизиологических показателей достигаются с помощью визуальных и слуховых сигналов, играющих роль вознаграждения в контексте выполнения задачи [56, 52].

Возможность применения БОС в качестве лечебного метода зависит от наличия аномальной электрофизиологической активности пациента. В ходе проведения лечебного курса большие нормализуют эту аномальную активность и постепенно приводят показатели к значениям, характерным для типично развивающихся детей. БОС применяется для коррекции развития детей с диагнозами дефицита внимания и гиперактивности (СДВГ), эпилепсии или РАС [53]. Наличие дисбаланса между тета- и бета-ритмами в правой лобной и префронтальной областях коры у детей с СДВГ позволяет проводить БОС по амплитудно-частотным характеристикам ЭЭГ, выделяя мощность соответствующих ритмов и меняя ее в нужном направлении [57–59]. ЭЭГ-активность, отклоняющаяся по своим параметрам от активности типично развивающихся детей, присутствует, как показано выше, и у детей с РАС

(повышенная высокочастотная составляющая ЭЭГ, сниженная реактивность мио- ритма, нарушение функциональной связности).

На данный момент разработан ряд стратегий (протоколов) применения БОС для коррекции развития детей с РАС. Одним из основных отличий в протоколах является набор показателей ЭЭГ, на изменение которых нацелены тренировки нейротерапии. Изначально для коррекции РАС, по аналогии с коррекцией других расстройств, предпринимались попытки применения тренировок, направленных на изменение альфа-ритма, однако они не дали существенных результатов. Иногда применяют тренировки, основанные на контроле других ритмов ЭЭГ, имеющих аномальные свойства у детей с РАС, в комбинации с иными физиологическими показателями, такими как частота сердечных сокращений или температура тела [4]. Такие тренировки обеспечивают снижение тревожности у детей. В соответствии с другой гипотезой развития РАС, исходящей из признания нарушения функциональной связности, проводятся исследования коррекции проявлений аутизма на основе регулирования когерентности сигналов, что значительно сложнее в техническом плане [60]. В некоторых случаях параметры, с которыми работают тренировки определяют при помощи предварительного обследования, которое проводится перед каждым тренингом [4], что позволяет подобрать параметры методики для каждого отдельного пациента и дает возможность наглядно представить ребенку прогресс в лечении, обеспечивая дополнительный положительный эффект и мотивацию [61]. Одними из наиболее перспективных нужно признать исследования, посвященные обучению модуляции мио-ритма при помощи БОС [62]. Данный протокол нейротерапии интересен тем, что должен воздействовать на функционирование ЗСМ, с нарушениями в которой, согласно одной из гипотез, связано развитие аутизма.

Вторым основным отличием в разных подходах БОС-терапии можно считать саму форму положительной обратной связи. На данный момент наиболее распространены тренировки, в которых ребенок при изменении конкретного показателя ЭЭГ видит изменение размера или скорости перемещения объектов на мониторе компьютера. Такие простые параметры не требуют сложного осознания процесса, поэтому ребенок может понять задачу даже в раннем возрасте, что является существенным преимуществом. К такому типу тренировок можно отнести также весьма эффективные музыкальные тренировки, в которых громкость музыки зависит от параметров ЭЭГ. Реже встречаются более сложные игры, в некоторые из которых добавлены элементы социального взаимодействия [62]. Поскольку у детей с РАС основные нарушения связаны с социальной коммуникацией, подобный подход имеет дополнительный положительный эффект.

Стоит отметить что результаты исследований применения различных методик БОС имеют весьма схожие результаты. Показатели электрической активности мозга, на которые были нацелены тренировки, становятся более похожими на показатели нормально развивающихся детей. Поведенческие результаты терапии определяются при помощи опросников, которые заполняют родственники детей, участвовавших в экспериментах. В большинстве случаев у детей наблюдаются улучшение интеллектуальных и социальных характеристик, но связать эти

изменения только с терапией сложно, поскольку невозможно отбросить другие факторы, которые могли оказать свое влияние.

Как пример методики, которая объединяет несколько актуальных подходов можно рассматривать нейротренинг, описанный в исследованиях нейрофизиологов из Калифорнийского университета [61, 62]. Работа проводилась с группами участников, состоящих из детей в возрасте от 6 до 17 лет, которые являлись высокоактивными аутистами (High-Functioning Autists). Их диагнозы имели подтверждения от нескольких независимых доверенных учреждений, а также дополнительно проверялись при помощи тестирования детей и интервью, взятых у родителей. Каждый участник проходил БОС-терапию суммарной длительностью 16 часов в течении 2 месяцев, по 1 часу не реже 2 раз в неделю. Тренинг использовал поощрение субъектов за модуляцию мощности мю-ритма. ЭЭГ регистрировался с электрода над правой сенсомоторной корой (C4), с частотой дискретизации 256 Гц, сигнал оценивался в диапазонах частот мю- (8–12 Гц), тета- (4–8 Гц) и бета-ритмов (12–20 Гц). Для увеличения мощности мю-ритма детей просили расслабиться, а для ее уменьшения их просили представить, как они общаются с друзьями. Показатели ЭЭГ в полосах частот бета- и тета-ритмов, обычно связанные с морганием и мышечными движениями, контролировались при расчете положительной обратной связи. Когда амплитуды в этих полосах частот превышали заданный порог, изменения сигнала БОС блокировались. Электромиограмма регистрировалась с частотой опроса 2048 Гц с поверхностных мышц-сгибателей левого предплечья, и подвергалась фильтрации в полосе частот от 100 до 200 Гц. Если она превышала определенный порог (10 мВ), обратная связь подавлялась. Таким образом, дети не получали положительную обратную связь за счет модуляций мю-ритма, связанной с собственными физическими движениями.

Для увеличения заинтересованности и сосредоточенности детей в процессе тренировок использовалась игра, управляемая при помощи БОС. Она включала в себя три обычных игровых этапа (не имеющих социального взаимодействия), и три игровых этапа с элементами социального взаимодействия между персонажами. Каждый из них для перехода от одного этапа к другому требовал контроля мю-, бета-, и тета-ритмов. Эти этапы включали интерактивные части, где испытуемый влиял на ход игры, достигая пороговых значений мощностей ритмов. Пороговые значения вычислялись перед каждым тренингом в течение 3-минутного исследования электрической активности в области C4 [62].

Во время этапов «несоциальных игр» персонаж, управляемый ребенком, выполнял относительно простые задачи, такие как сбор яблок и монет, количество которых увеличивалось при пороговых значениях мощности ритмов ЭЭГ. Баллы, получение в каждой игре, записывались в процессе каждого тренинга, чтобы у детей был стимул улучшить предыдущий результат. Наиболее сложный этап «несоциальных игр» включал в себя бой персонажа, управляемого ребенком, с драконом. Если ребенку удавалось поддерживать значения мю-, бета- и тета-ритмов выше пороговых значений в течение четырех секунд, персонаж отражал удар дракона, что обеспечивало положительную обратную связь.

Во время этапов «игры с социальным взаимодействием» в качестве положительной обратной связи выступала улыбка персонажа, управляемого ребенком («аватара»), в ответ на улыбку другого игрового персонажа, что происходило при достижении требуемых значений ритмов ЭЭГ. Игра переходила к следующему этапу, если ребенок удерживал положительную обратную связь в течении 30 секунд. Применение данного протокола нейротерапии показало значительное снижение аутистических черт поведения у участников исследования, страдающих аутизмом [61].

Оценка воздействия тренингов на детей заключалась в изменении поведенческих характеристик, наблюдаемых у детей, с помощью Шкалы социальной реактивности (Social Responsiveness Scale) и Контрольного списка для оценки лечения аутизма (Autism Treatment Evaluation Checklist). Проверялась способность детей определять по глазам эмоцию людей на изображениях («Reading the Mind in the Eyes») [62]. Дополнительно проводились исследования изменения нейрофизиологических параметров при проведении ряда процедур до и после тренинга. Одной из них являлась запись ЭЭГ в состоянии покоя с открытыми и закрытыми глазами для наблюдения за общими показателями ЭЭГ. Оценивалось изменение подавления мю-ритма, в то время, когда дети смотрели видеозапись определенных движений или выполняли их [52, 36].

Отличительной чертой данного исследования также являлось то, что вместе с другими тестами участники проходили процедуру, в ходе которой регистрировалось изменение функциональной связности и работы ЗСМ. В ходе эксперимента дети просматривали набор коротких видеозаписей с людьми, демонстрирующими определенные эмоции. В это время на основе регистрируемых данных ЭЭГ проводился анализ когерентности сигналов, отражающей спектрально-временную причинную связность (spectro-temporal causal connectivity) в различных участках коры головного мозга. В результате удалось выявить несколько областей, активность в которых заметно коррелирует с эмоциями, представленными в видео. Согласно результатам исследования, после проведения тренингов БОС по ЭЭГ была замечена нормализация функциональной связности в этих областях и, в частности, по мю-ритму [61].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На сегодняшний день сформирован ряд гипотез развития РАС. Эти гипотезы не являются взаимоисключающими и скорее характеризуют систему, в которой имеется цепь причин и следствий. Чаще всего развитие РАС вызвано аномалиями в геноме, которые приводят к нарушению в нейрогенезе, следствием чего является повышенная или пониженная функциональная и структурная связность. Такие изменения мозговой связности могут приводить к различным симптомам, которые встречаются у детей с аутизмом, но в первую очередь влияют на наиболее сложные системы, например, ЗСМ. Отклонения в функционировании ЦНС у детей с РАС проявляются в нарушении реактивности ЭЭГ, а на поведенческом уровне – в нарушении адекватной социальной коммуникации.

Методы коррекции РАС с применением БОС по ЭЭГ постоянно развиваются и усложняются. Тот факт, что их влияние можно заметить в стойких изменениях параметров электрической активности мозга является хорошим свидетельством их работоспособности. Однако для повышения эффективности нейротерапии необходимы новые протоколы тренингов, поощряющие социальное взаимодействие детей с РАС.

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

Список литературы

1. Симашкова Н. В. Расстройства аутистического спектра: диагностика, лечение, наблюдение / Симашкова Н. В., Макушкин Е. В. // ФГБУ «Федеральный медицинский исследовательский центр психиатрии и наркологии им. В.П.Сербского» Минздрава России – 2015.
2. Anney R. Individual common variants exert weak effects on the risk for autism spectrum disorders / R. Anney, L. Klei, D. Pinto [et al.] // Hum. Mol. Gene. – 2012. – Vol. 21, No 21. – P. 4781–4792.
3. O'Reilly C. Is functional brain connectivity atypical in autism? A systematic review of EEG and MEG studies / C. O'Reilly, J. D. Lewis, M. Elsabbagh // PLoS ONE – 2017. – Vol. 12, No 5 (Epub.).
4. Федотчев А. И. Современные технологии в познании механизмов, диагностике и лечении расстройств аутистического спектра (обзор) / А. И. Федотчев, В. В. Дворянинова, С. Д. Великова, А. А. Земляная // Современные технологии в медицине – 2019. – Vol. 11, No 1. – С. 31–39.
5. American Psychiatric Association, Diagnostic and statistical manual of mental disorders (DSM-5)/ – 2013.
6. Weiss L. A. A genome-wide linkage and association scan reveals novel loci for autism / L. A. Weiss, D. E. Arking, J. Hopkins, M. J. Daly, A. Chakravarti // Nature. – 2009. – Vol. 461, No 7265. – P. 802–808.
7. Alarcon M. Autism Genetic Research Exchange Consortium. Evidence for a language quantitative trait locus on chromosome 7q in multiplex autism families / M. Alarcon, R. M. Cantor, J. Liu, T. C. Gilliam, D. H. Geschwind // Am. J. Hum. Genet. – 2002. – Vol. 70, No 1. – P. 60–71.
8. Ma D. A genome-wide association study of autism reveals a common novel risk locus at 5p14.1 / D. Ma, D. Salyakina, J. M. Jaworski [et al.] // Ann. Hum. Genet. – 2009. – Vol. 73, No 3. – P. 263–273.
9. Aldinger K. A. Patterns of Risk for Multiple Co-Occurring Medical Conditions Replicate Across Distinct Cohorts of Children with Autism Spectrum Disorder / Aldinger K. A., Lane C. J., Veenstra-VanderWeele J., Levitt P. // Autism Res. – 2015. – Vol. 8, No 6. – P. 771–781.
10. Ozonoff S. Recurrence risk for autism spectrum disorders: a Baby Siblings Research Consortium study / S. Ozonoff, G. S. Young, A. Carter, D. Messinger, N. Yirmiya, [et al.] // Pediatrics – 2011. – Vol. 128, No 3. – P. 488–495.
11. Hallmayer J. Genetic heritability and shared environmental factors among twin pairs with autism / J. Hallmayer, S. Cleveland, A. Torres // Arch. Gen. Psychiatry. – 2011. – Vol. 68, No 11. – P. 1095–1102.
12. Sandin S. The familial risk of autism / S. Sandin, P. Lichtenstein, R. Kuja-Halkola, H. Larsson, C. M. Hultman, A. Reichenberg // JAMA – 2014. – Vol. 311, No 17. – P. 1770–1777.
13. Xu G. Prevalence and Treatment Patterns of Autism Spectrum Disorder in the United States, 2016 / G. Xu, L. Strathearn, B. Liu, M. O'Brien, T. G. Kopelman, J. Zhu, L. G. Snetselaar, W. Bao // JAMA Pediatr. – 2019. – Vol. 173, No 2. – P. 153–159.
14. Rudra A. Prevalence of autism spectrum disorder and autistic symptoms in a school-based cohort of children in Kolkata, India / A. Rudra, M. K. Belmonte, P. K. Soni, S. Banerjee, S. Mukerji, B. Chakrabarti // Autism Research – 2017. – Vol. 10. – P. 1597–1605.
15. ТАСС [Сеть Интернет] Минздрав: в 2018 году аутизм диагностировали у более 31 тыс. детей / Интернет источник: <https://tass.ru/obschestvo/6287169>
16. Wing L. The epidemiology of autistic spectrum disorders: is the prevalence rising? / L. Wing, D. Potter // Ment. Retard. Dev. Disabil. Res. Rev. – 2002. – Vol. 8, No 3. – P. 151–161.

17. Colvert E. Heritability of Autism Spectrum Disorder in a UK Population-Based Twin Sample / E. Colvert, B. Tick, F. McEwen [et al.] // *JAMA Psychiatry* – 2015. – Vol. 72, No 5. – P. 415–423.
18. Geschwind D. H. Gene hunting in autism spectrum disorder: on the path to precision medicine / D. H. Geschwind, M. W. State // *Lancet Neurol.* – 2015. – Vol. 14, No 11. – P. 1109–1120.
19. Courchesne E. The ASD Living Biology: from cell proliferation to clinical phenotype / E. Courchesne, T. Pramparo, V. H. Gazestani, et al. // *Mol. Psychiatry* – 2019. – Vol. 24, No 1. – P. 88–107.
20. Gekas C. The placenta is a niche for hematopoietic stem cells / C. Gekas, F. Dieterlen-Lièvre, S. H. Orkin, H. K. Mikkola // *Dev. Cell.* – 2005. – Vol. 8, No 3. – P. 365–375.
21. Patterson P. H. Immune involvement in schizophrenia and autism: etiology, pathology and animal models / P. H. Patterson // *Behav. Brain. Res.* – 2009. – Vol. 204, No 2. – P. 313–321.
22. Rhodes K. E. The emergence of hematopoietic stem cells is initiated in the placental vasculature in the absence of circulation / K. E. Rhodes, C. Gekas, Y. Wang, C. T. Lux, C. S. Francis, [et al.] // *Cell Stem Cell.* – 2008. – Vol. 2, No 3. – P. 252–263.
23. Russo A. J. Increased Copper in Individuals with Autism Normalizes Post Zinc Therapy More Efficiently in Individuals with Concurrent GI Disease / A. J. Russo // *Nutr. Metab. Insights.* – 2011. – Vol. 4. – P. 49–54.
24. Yasuda H. Infantile zinc deficiency: association with autism spectrum disorders / H. Yasuda, K. Yoshida, Y. Yasuda, T. Tsutsui // *Sci. Rep.* – 2011. – Vol. 1, No 129 (Epub.).
25. Kinney D.K. Prenatal stress and risk for autism / D.K. Kinney, K. M. Munir, D. J. Crowley, A. M. Miller // *Neurosci. Biobehav. Rev.* – 2008. – Vol. 32, No 8. – P. 1519–1532.
26. Gardener H. Prenatal risk factors for autism: comprehensive meta-analysis / H. Gardener, D. Spiegelman, S. L. Buka // *Br. J. Psychiatry* – 2009. – Vol. 195, No 1. – P. 7–14.
27. Charil A. Prenatal stress and brain development / A. Charil, D. P. Laplante, C. Vaillancourt, S. King // *Brain Res Rev.* – 2010. – Vol. 65, No 1. – P. 56–79.
28. DeStefano F. The MMR Vaccine and Autism / F. DeStefano, T. T. Shimabukuro // *Annu. Rev. Virol.* – 2019. – Vol. 6, No 1. – P. 585–600.
29. Chechik G. Reduction of information redundancy in the ascending auditory pathway / G. Chechik, M. J. Anderson, O. Bar-Yosef, E. D. Young, N. Tishby // *Neuron* – 2006. – Vol. 51, No 3. – P. 359–368.
30. Friston K. J. Functional and effective connectivity in neuroimaging: A synthesis / K. J. Friston // *Hum. Brain Mapp.* – 1994. – Vol. 2, No 1-2. – P. 56–78.
31. Horwitz B. The elusive concept of brain connectivity / B. Horwitz // *Neuroimage.* – 2003. – Vol. 19, No 2. – P. 466–470.
32. Villalobos M. E. Reduced functional connectivity between V1 and inferior frontal cortex associated with visuomotor performance in autism / M. E. Villalobos, A. Mizuno, B. C. Dahl, N. Kemmotsu, R. A. Müller // *Neuroimage* – 2005. – Vol. 25, No 3. – P. 916–925.
33. Welchew D. E. Functional disconnectivity of the medial temporal lobe in Asperger's syndrome / D. E. Welchew, C. Ashwin, K. Berkouk, [et al.] // *Biol Psychiatry* – 2005. – Vol. 57, No 9. – P. 991–998.
34. Just M. A. The organization of thinking: what functional brain imaging reveals about the neuroarchitecture of complex cognition / Just M. A., Varma S. // *Cogn. Affect Behav. Neurosci.* – 2007. – Vol. 7, No 3. – P. 153–191.
35. Nishitani N. Abnormal imitation-related cortical activation sequences in Asperger's syndrome / N. Nishitani, S. Avikainen, R. Hari // *Ann. Neurol.* – 2004. – Vol. 55, No 4. – P. 558–562.
36. Oberman L. M. EEG evidence for mirror neuron dysfunction in autism spectrum disorders / L. M. Oberman, E. M. Hubbard, J. P. McCleery, E. L. Altschuler, V. S. Ramachandran, J. A. Pineda // *Brain Res. Cogn. Brain. Res.* – 2005. – Vol. 24, No 2. – P. 190–198.
37. Théoret H. Impaired motor facilitation during action observation in individuals with autism spectrum disorder / H. Théoret, E. Halligan, M. Kobayashi, F. Fregni, H. Tager-Flusberg, A. Pascual-Leone // *Curr. Biol.* – 2005. – Vol. 15, No 3. – P. 84–85.
38. Dapretto M. Understanding emotions in others: mirror neuron dysfunction in children with autism spectrum disorders / M. Dapretto, M. S. Davies, J. H. Pfeifer, [et al.] // *Nat. Neurosci.* – 2006. – Vol. 9, No 1. – P. 28–30.
39. Ozonoff S. Executive function deficits in high-functioning autistic individuals: relationship to theory of mind / S. Ozonoff, B. F. Pennington, S. J. Rogers // *J. Child Psychol Psychiatry* – 1991. – Vol. 32, No 7. – P. 1081–1105.

40. Enticott P. G. Interpersonal motor resonance in autism spectrum disorder: evidence against a global "mirror system" deficit / P. G. Enticott, H. A. Kennedy, N. J. Rinehart, [et al.] // *Front Hum. Neurosci.* – 2013. – No 7 (Epub).
41. Hickok G. Eight problems for the mirror neuron theory of action understanding in monkeys and humans / Hickok G. // *J. Cogn. Neurosci.* – 2009. – Vol. 21, No 7. – P. 1229–1243.
42. Turella L. Mirror neurons in humans: consisting or confounding evidence? / L. Turella, A. C. Pierno, F. Tubaldi, U. Castiello // *Brain Lang.* – 2009. – Vol. 108, No 1. – P. 10–21.
43. Лущекина Е. А. Исследование спектральной мощности ЭЭГ у детей с расстройствами аутистического спектра: неоднородность группы / Е. А. Лущекина, В. С. Луцкий, В. Б. Стрелец // *Физиология человека* – 2019. – Vol. 45, No 3. – P. 16–23.
44. Brown C. Gamma abnormalities during perception of illusory figures in autism / C. Brown, T. Gruber, J. Boucher, G. Rippon, J. Brock // *Cortex* – 2005. – Vol. 41, No 3. – P. 364–376.
45. Rojas D. C. γ -band abnormalities as markers of autism spectrum disorders / D. C. Rojas, L. B. Wilson // *Biomark. Med.* – 2014. – Vol. 8, No 3. – P. 353–368.
46. Murias M. Resting state cortical connectivity reflected in EEG coherence in individuals with autism / M. Murias, S. J. Webb, J. Greenson, G. Dawson // *Biol. Psychiatry* – 2006. – Vol. 62, No 3. – P. 270–273.
47. Duffy F. H. A stable pattern of EEG spectral coherence distinguishes children with autism from neurotypical controls – a large case control study / F. H. Duffy, H. Als // *BMC Med.* – 2012. – Vol. 10, No 64.
48. Coben R. The relative efficacy of connectivity guided and symptom based EEG biofeedback for autistic disorders / R. Coben, T. E. Myers // *Appl. Psychophysiol. Biofeedback* – 2010. – Vol. 35, No 1. – P. 13–23.
49. Sheikhan A. Detection of abnormalities for diagnosing of children with autism disorders using of quantitative electroencephalography analysis / A. Sheikhan, H. Behnam, M. R. Mohammadi, M. Noroozian, M. Mohammadi // *J. Med. Syst.* – 2012. – Vol. 36, No 2. – P. 957–963.
50. Bartfeld P. Organization of brain networks governed by long-range connections index autistic traits in the general population / P. Bartfeld, L. Amoroso, J. Ais, S. Cukier, L. Bavassi, A. Tomio [et al.] // *J. Neurodev. Disord.* – 2013. – Vol. 5, No 1 (Epub).
51. Oberman L. M. The simulating social mind: the role of the mirror neuron system and simulation in the social and communicative deficits of autism spectrum disorders / L. M. Oberman, V. S. Ramachandran // *Psychol. Bull.* – 2007. – Vol. 133, No 2. – P. 310–327.
52. Pineda J. A. Sensorimotor cortex as a critical component of an 'extended' mirror neuron system: does it solve the development, correspondence, and control problems in mirroring? / J. A. Pineda // *Behav. Brain Funct.* – 2008. – Vol. 4, No 47 (Epub).
53. Marzbani H. Neurofeedback: a comprehensive review on system design, methodology and clinical applications / H. Marzbani, H. R. Marateb, M. Mansourian // *Basic Clin. Neurosci.* – 2016. – Vol. 7, No 2. – P. 143–158.
54. Orndorff-Plunkett F. Assessing the effectiveness of neurofeedback training in the context of clinical and social neuroscience / F. Orndorff-Plunkett, F. Singh, O. R. Aragón, J. A. Pineda // *Brain Sci.* – 2017. – Vol. 7, No 8. – P. 95.
55. Hwang H. J. Neurofeedback-based motor imagery training for brain-computer interface (BCI) / H. J. Hwang, K. Kwon, C. H. Im // *J. Neurosci. Methods* – 2009. – Vol. 179, No 1. – P. 150–156.
56. Gruzelier J. H. EEG-neurofeedback for optimising performance. I: a review of cognitive and affective outcome in healthy participants / J. H. Gruzelier // *Neurosci.-Biobehav* – 2014. – Vol. 44. – P. 124–141.
57. Bink M. Behavioral effects of neurofeedback in adolescents with ADHD: a randomized controlled trial / M. Bink, C. van Nieuwenhuizen, A. Popma, I. L. Bongers, G. J. van Boxtel // *Eur. Child Adolesc. Psychiatry* – 2015. – Vol. 24, No 9. – P. 1035–1048.
58. Arns M. Efficacy of neurofeedback treatment in ADHD: the effects on inattention, impulsivity, and hyperactivity: a meta-analysis / M. Arns, S. Ridder, U. Strehl, M. Breteler, A. Coenen // *Clin. EEG Neurosci.* – 2009. – Vol. 40, No 3. – P. 180–189.
59. Leins U. Neurofeedback for children with ADHD: a comparison of SCP and Theta/Beta protocols / U. Leins, G. Goth, T. Hinterberger, C. Klinger, N. Rumpf, U. Strehl // *Appl. Psychophysiol. Biofeedback* – 2007. – Vol. 32, No 2. – P. 73–88.
60. Datko M. Positive effects of neurofeedback on autism symptoms correlate with brain activation during imitation and observation / M. Datko, J. A. Pineda, R. A. Müller // *Eur. J. Neurosci.* – 2018. – Vol. 46, No 6. – P. 579–591.

61. Courellis H. EEG-Based Quantification of Cortical Current Density and Dynamic Causal Connectivity Generalized across Subjects Performing BCI-Monitored Cognitive Tasks / H. Courellis, J. R. Iversen, H. Poizner, G. Cauwenberghs // *Front. Neurosci.* – 2017. – Vol. 11, No 180 (Epub).
62. Friedrich E. V. An effective neurofeedback intervention to improve social interactions in children with autism spectrum disorder / E. V. Friedrich, A. Sivanathan, T. Lim, N. Suttie, S. Louchart [et al.] // *J. Autism Dev. Disord.* – 2015. – Vol. 45, No 12. – P. 4084–4100.

METHODS FOR CORRECTING THE DEVELOPMENT OF CHILDREN WITH AUTISM BASED ON BIOLOGICAL FEEDBACK BY EEG

Pavlenko D. V., Chuyan E. N., Pavlenko V. B.

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

The article provides an overview of scientific works devoted to methods of correcting the development of children with autism spectrum disorders (ASD) based on EEG biofeedback (neurofeedback). According to the World Health Organization, one in 160 children are currently diagnosed with ASD. In 2018, about 0.1 % of the child population in Russia suffered from autism. Moreover, the incidence of the disease is increasing every year. Genetic disorders are the most likely cause of ASD. Dysfunctions of 69 genes are highly likely to cause ASD. Most of these genes are pleiotropic. They affect the proliferation, differentiation and migration of nerve cells, the growth of axons and synaptogenesis, the synthesis of neurotransmitters and the development of receptors for them. Several genes involved in the development of ASD undergo epigenetic modifications under the influence of the environment and pathogens. The key in the onset of ASD is probably a violation of the synaptic pruning process. Pruning is necessary to reduce redundant connections and improve the efficiency of the central nervous system. Based on this, the researchers put forward a hypothesis explaining the symptoms of ASD as a result of a violation of structural and functional brain connectivity. Such disturbances are likely to cause abnormalities in the functioning of the brain mirror system (BMS). Disorders of the synaptic organization of the brain correlate with indicators of cognitive, emotional and behavioral tests, EEG characteristics. The study of phase coherence in several EEG frequency ranges demonstrated the presence of global hypo- and local hyper-connectivity in patients with ASD. The absence of suppression or desynchronization of the mu rhythm may indicate a malfunction of the BMS. The child's brain is highly plastic. Therefore, early corrective intervention can improve the developmental outcomes of a child with ASD. Modern research demonstrates the possibility of effective application of neurofeedback for the correction of the disease. One of the strategies is the use of neurofeedback trainings to reduce anxiety in children with ASD. Another strategy is aimed at regulating the coherence of EEG signals. Researchers consider the most promising strategy for learning mu rhythm modulation using neurofeedback. This neurofeedback protocol affects the functioning of the BMS. According to the research

results, after the neurofeedback trainings, the normalization of the functional cerebral connectivity according to the mu rhythm was established. Further research in this direction can become the basis for the most effective methods of treating ASD.

Keywords: autism, autism spectrum disorders, children, EEG, neurofeedback.

References

1. Simashkova N. V., Makushkin E. V., Autism spectrum disorders: diagnosis, treatment, observation, (2015).
2. Anney R., Klei L. and Pinto D. Individual common variants exert weak effects on the risk for autism spectrum disorders. *Hum. Mol. Gene.t*, **21**, 4781 (2012).
3. O'Reilly C., Lewis J. D. and Elsabbagh M. Is functional brain connectivity atypical in autism? A systematic review of EEG and MEG studies. *PLoS ONE*, **12**, (Epub.). (2017)
4. Fedotchev A. I., Dvoryaninov V. V. and Velikova S. D., Modern technologies in understanding the mechanisms, diagnosis and treatment of autism spectrum disorders (review). *Modern technologies in medicine*, **11**, (Epub.). (2019).
5. American Psychiatric Association. Diagnostic and statistical manual of mental disorders (DSM-5). (2013)
6. Weiss L. A., Arking D. E. and Daly M. J. A genome-wide linkage and association scan reveals novel loci for autism. *Nature*, **461**, 802 (2009).
7. Alarcon M., Cantor R.M., and Liu J. Autism Genetic Research Exchange Consortium. Evidence for a language quantitative trait locus on chromosome 7q in multiplex autism families. *Am. J. Hum. Genet.*, **70**, 60 (2002).
8. Ma D., Salyakina D. and Jaworski J. M. A genome-wide association study of autism reveals a common novel risk locus at 5p14.1. *Ann. Hum. Genet.*, **73**, 263 (2009).
9. Aldinger K. A., Lane C. J. and Veenstra-VanderWeele J. Patterns of risk for multiple co-occurring medical conditions replicate across distinct cohorts of children with autism spectrum disorder. *Autism Research*, **8**, 77. (2015).
10. Ozonoff S., Young G. S. and Carter A. Recurrence risk for autism spectrum disorders: a Baby Siblings Research Consortium study. *Pediatrics.*, **128**, 488 (2011).
11. Hallmayer J., Cleveland S. and Torres A. Genetic heritability and shared environmental factors among twin pairs with autism. *Arch. Gen. Psychiatry*, **68**, 1095 (2011).
12. Sandin S., Lichtenstein P. and Kuja-Halkola R. The familial risk of autism. *JAMA*, **311**, 1770 (2014).
13. Xu G. Strathearn L. and Liu B. Prevalence and Treatment Patterns of Autism Spectrum Disorder in the United States. *JAMA Pediatr*, **173**, 153 (2016).
14. Rudra A., Belmonte M. K. and Soni P. K. Prevalence of autism spectrum disorder and autistic symptoms in a school-based cohort of children in Kolkata, India. *Autism Research*, **10**, 1597(2017).
15. TASS, Ministry of Health: in 2018, autism was diagnosed in more than 31 thousand children, <https://tass.ru/obschestvo/6287169>, (2018)
16. Wing L. and Potter D. The epidemiology of autistic spectrum disorders: is the prevalence rising? *Ment. Retard. Dev. Disabil. Res. Rev.*, **8**, 151 (2002).
17. Colvert E., Tick B. and McEwen F. Heritability of Autism Spectrum Disorder in a UK Population-Based Twin Sample. *JAMA Psychiatry*, **72**, 415 (2015).
18. Geschwind D. H., State M. W. Gene hunting in autism spectrum disorder: on the path to precision medicine. *Lancet. Neurol.*, **14**, 1109 (2015).
19. Courchesne E., Pramparo T. and Gazestani V.H. The ASD Living Biology: from cell proliferation to clinical phenotype. *Mol. Psychiatry*, **24**, 88 (2019).
20. Gekas C., Dieterlen-Lièvre F. and Orkin S. H. The placenta is a niche for hematopoietic stem cells. *Dev. Cell.*, **8**, 365 (2005).
21. Patterson P. H. Immune involvement in schizophrenia and autism: etiology, pathology and animal models. *Behav. Brain Res.*, **204**, 313 (2009).
22. Rhodes K. E., Gekas C. and Wang Y. The emergence of hematopoietic stem cells is initiated in the placental vasculature in the absence of circulation. *Cell Stem. Cell*, **2**, 252 (2008).

23. Russo A. J., Increased Copper in Individuals with Autism Normalizes Post Zinc Therapy More Efficiently in Individuals with Concurrent GI Disease. *Nutr. Metab. Insights.*, **4**, 49 (2011).
24. Yasuda H., Yoshida K. and Yasuda Y. Infantile zinc deficiency: association with autism spectrum disorders. *Sci. Rep.*, **1**, (Epub.). (2011).
25. Kinney D. K., Munir K. M. and Crowley D. J. Prenatal stress and risk for autism. *Neurosci Biobehav Rev.*, **32**, 1519 (2008).
26. Gardener H., Spiegelman D. and Buka S. L. Prenatal risk factors for autism: comprehensive meta-analysis. *Br. J. Psychiatry*, **195**, 7 (2009).
27. Charil A., Laplante D. P., and Vaillancourt C. Prenatal stress and brain development. *Brain Res. Rev.*, **65**, 56 (2010).
28. DeStefano F., Shimabukuro T. T. The MMR Vaccine and Autism. *Annu. Rev. Virol.*, **6**, 585 (2019).
29. Chechik G., Anderson M. J. and Bar-Yosef O. Reduction of information redundancy in the ascending auditory pathway. *Neuron*, **51**, 359 (2006).
30. Friston K. J. Functional and effective connectivity in neuroimaging: A synthesis. *Hum. Brain Mapp.*, **2**, 56 (1994).
31. Horwitz B. The elusive concept of brain connectivity. *Neuroimage*, **19**, 466 (2003).
32. Villalobos M. E., Mizuno A. and Dahl B. C. Reduced functional connectivity between V1 and inferior frontal cortex associated with visuomotor performance in autism. *Neuroimage*, **25**, 916 (2005).
33. Welchew D. E., Ashwin C. and Berkouk K. Functional disconnectivity of the medial temporal lobe in Asperger's syndrome. *Biol Psychiatry*, **57**, 991 (2005).
34. Just M. A. and Varma S. The organization of thinking: what functional brain imaging reveals about the neuroarchitecture of complex cognition. *Cogn Affect Behav Neurosci*, **7**, 153 (2007).
35. Nishitani N., Avikainen S. and Hari R. Abnormal imitation-related cortical activation sequences in Asperger's syndrome. *Ann Neurol*, **55**, 558 (2004).
36. Oberman L. M., Hubbard E. M. and McCleery J. P. EEG evidence for mirror neuron dysfunction in autism spectrum disorders. *Brain Res. Cogn. Brain Res.*, **24**, 190 (2005).
37. Théoret H., Halligan E. and Kobayashi M. Impaired motor facilitation during action observation in individuals with autism spectrum disorder. *Curr. Biol.*, **15**, 84 (2005).
38. Dapretto M., Davies M. S. and Pfeifer J. H. Understanding emotions in others: mirror neuron dysfunction in children with autism spectrum disorders. *Nat. Neurosci.*, **9**, 28 (2006).
39. Ozonoff S., Pennington B. F. and Rogers S. J. Executive function deficits in high-functioning autistic individuals: relationship to theory of mind. *J. Child Psychol. Psychiatry.*, **32**, 1081 (1991).
40. Enticott P. G., Kennedy H. A. and Rinehart N. J. Interpersonal motor resonance in autism spectrum disorder: evidence against a global "mirror system" deficit. *Front. Hum. Neurosci.*, (Epub.). (2013).
41. Hickok G. Eight problems for the mirror neuron theory of action understanding in monkeys and humans. *J. Cogn. Neurosci.*, **21**, 1229 (2009).
42. Turella L., Pierno A. C. and Tubaldi F. Mirror neurons in humans: consisting or confounding evidence? *Brain Lang.*, **108**, 10 (2009).
43. Lushchekina E. A., Lushchekin V. S. And Strelets V. B. EEG Spectral Power Study in Children with Autism Spectrum Disorders: Group Heterogeneity. *Human physiology*, **45**, 16 (2019).
44. Brown C., Gruber T. and Boucher J. Gamma abnormalities during perception of illusory figures in autism. *Cortex*, **41**, 364 (2005).
45. Rojas D. C. and Wilson L. B. γ -band abnormalities as markers of autism spectrum disorders. *Biomark. Med.*, **8**, 353 (2014).
46. Murias M., Webb S. J. and Greenson J. Resting state cortical connectivity reflected in EEG coherence in individuals with autism. *Biol. Psychiatry*, **62**, 270 (2007).
47. Duffy F. H. and Als H. A stable pattern of EEG spectral coherence distinguishes children with autism from neuro-typical controls - a large case control study. *BMC Med.*, **10**, (Epub.). (2012).
48. Coben R., Myers T. E. The relative efficacy of connectivity guided and symptom based EEG biofeedback for autistic disorders. *Appl. Psychophysiol. Biofeedback*, **35**, 13 (2010).
49. Sheikhan A., Behnam H. and Mohammadi M. R. Detection of abnormalities for diagnosing of children with autism disorders using of quantitative electroencephalography analysis. *J. Med. Syst.*, **36**, 957 (2012).

50. Barttfeld P., Amoruso L. and Ais J. Organization of brain networks governed by long-range connections index autistic traits in the general population. *J. Neurodev. Disord.*, **5**, 16 (2013).
51. Oberman L. M. and Ramachandran V. S. The simulating social mind: the role of the mirror neuron system and simulation in the social and communicative deficits of autism spectrum disorders. *Psychol Bull.*, **133**, 310 (2007).
52. Pineda J. A. Sensorimotor cortex as a critical component of an 'extended' mirror neuron system: does it solve the development, correspondence, and control problems in mirroring? *Behav. Brain Funct.*, **4**, (Epub.). (2008).
53. Marzbani H., Marateb H. R. and Mansourian M. Neurofeedback: a comprehensive review on system design, methodology and clinical applications. *Basic Clin. Neurosci.*, **7**, 143 (2016).
54. Orndorff-Plunkett F., Singh F. and Aragon O. R. Assessing the effectiveness of neurofeedback training in the context of clinical and social neuroscience. *Brain Sci.*, **7**, (Epub.). (2017).
55. Hwang H. J., Kwon K. and Im C. H. Neurofeedback-based motor imagery training for brain-computer interface (BCI). *J. Neurosci. Methods*, **179**, 150 (2009).
56. Gruzelier J. H. EEG-neurofeedback for optimising performance. I: a review of cognitive and affective outcome in healthy participants. *Neurosci.-Biobehav.* **44**, 124 (2014).
57. Bink M., van Nieuwenhuizen C. and Popma A. Behavioral effects of neurofeedback in adolescents with ADHD: a randomized controlled trial. *Eur. Child Adolesc. Psychiatry*, **24**, 1035 (2015).
58. Arns M., Ridder S. and Strehl U. Efficacy of neurofeedback treatment in ADHD: the effects on inattention, impulsivity, and hyperactivity: a meta-analysis. *Clin. EEG Neurosci.*, **40**, 180 (2009).
59. Leins U., Goth G. and Hinterberger T. Neurofeedback for children with ADHD: a comparison of SCP and Theta/Beta protocols. *Appl. Psychophysiol. Biofeedback*, **32**, 73 (2007).
60. Datko M., Pineda J. A. and Müller R. A. Positive effects of neurofeedback on autism symptoms correlate with brain activation during imitation and observation. *Eur. J. Neurosci.*, **47**, 579 (2018).
61. Courellis H., Mullen T. and Poizner H. EEG-based quantification of cortical current density and dynamic causal connectivity generalized across subjects performing BCI-monitored cognitive tasks. *Front. Neurosci.*, **11**, (Epub.). (2017).
62. Friedrich E. V., Sivanathan A. and Theodore L. An effective neurofeedback intervention to improve social interactions in children with autism spectrum disorder. *J. Autism Dev. Disord.*, **45**, 4084 (2015).

УДК 581.84:582.929.4:663.8

АНАТОМО-МОРФОЛОГИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА *STACHYS OFFICINALIS* (L.) TREVIS. В СВЯЗИ С ЭФИРОМАСЛИЧНОСТЬЮ

Петришина Н. Н.^{1,2}, Николенко В. В.¹, Молодайкина М. А.¹

¹Таврическая академия (структурное подразделение) ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет имени В. И. Вернадского», Симферополь, Республика Крым, Россия

²ФГБУН «Научно-исследовательский институт сельского хозяйства Крыма»,

Симферополь, Республика Крым, Россия

E-mail: n-petrishina@list.ru

В статье представлена анатомо-морфологическая характеристика *Stachys officinalis* (L.) Trevis. в связи с эфиромасличностью. Описано анатомическое строение надземных вегетативных органов, выявлены особенности экзогенных структур. Установлено, что опушение растений обусловлено наличием кроющих трихом и экзогенных железистых структур. В составе кроющих трихом – простые неветвящиеся (1–8 клеточные – по всем органам растений), вильчатые и звездчатые (на чашечке и венчике). Железистые структуры представлены двумя формами – сидячая железка с многоклеточной (4-, 8-клеточной) головкой и железистые волоски: с однорядной (1–2 клеточной) ножкой и 1–2-клеточной головкой; с однорядной 3-клеточной ножкой и 2-клеточной головкой. Установлена их топография по органам и определено количественное распределение.

Ключевые слова: *Stachys officinalis*, анатомические структуры, железистые структуры, кроющие трихомы, эфиромасличные растения.

ВВЕДЕНИЕ

Stachys officinalis (L.) Trevis. (чистец лекарственный) – многолетнее травянистое растение семейства Lamiaceae, произрастающее в Западной Европе, Западной Сибири, Европейской части России и на Кавказе. В Крыму данное растение встречается по всей его горной части на лесных опушках, полянах, среди кустарников [1–3].

На территории России есть регионы, где численность *S. officinalis* взята под контроль – внесен в дополнительный список растений Красной книги Ивановской области и в Красную книгу Вологодской области [4, 5]. В некоторых ботанических садах России (в том числе в Никитском ботаническом саду, Крым) *S. officinalis* числится в составе коллекций лекарственных, пряно-ароматических и эфиромасличных растений [6–9], в то же время на северо-востоке России его характеризуют как сорное растение [7].

В большинстве литературных источниках *S. officinalis* рассматривается в качестве лекарственного растения, обладающего рядом полезных свойств [7, 10–16]. В некоторых странах Европы он внесен в официальную Европейскую фармакопею [6, 17], а на территории нашей страны применяется в народной медицине [7]. Однако массовое истребление данного вида для использования его в лечебных целях

привело к сокращению численности и включению в Европейский Красный список лекарственных растений [18], а также в разные годы в несколько Красных списков и книг Европы [19–23]. Растительное сырье *S. officinalis* входит в состав фиточаев и запатентованных биологически активных добавок: «Литохол» (поддерживающая терапия при нарушении обмена веществ) [24] и NSP Eight (для улучшения состояния нервной системы при депрессиях, тревоге, бессоннице) [25].

Лекарственные свойства, обуславливающие применение *S. officinalis*, проявляются благодаря сложному химическому составу соединений, содержащихся в надземных органах растений [6, 7, 9, 10, 15, 26–33]. Так, химический анализ растительного сырья показал содержание от 0,02 до 0,5 % эфирного масла, в котором обнаружено более 100 компонентов, а идентифицировано по разным литературным источникам до 32-х [7, 26, 32], куда входят сесквитерпеноиды β -кариофиллен и гермакрена D, спирты, терпены, альдегиды, фенолы, кетоны и другие [7, 9, 15, 26, 31, 32]. Помимо эфирного масла химический состав растений включает дубильные вещества (таннины) [6, 27–30], флавоноиды, комплекс моно-, ди- и полисахаридов, алколоиды, терпеновые гликозиды олеаноловой кислоты, выявлены азотосодержащие соединения бетаин, бетоницин, белки, смолы, горечи, слизь, витамины К и С, пигменты, соли кальция и органические кислоты [6, 7, 15].

В литературе имеются сведения о сезонном росте и развитии данного вида [6, 7, 34–37], в ряде исследований проведено изучение семян и особенностей их прорастания [37, 38], рассматриваются вопросы систематики [40].

Несмотря на интерес, который проявляют исследователи к данному виду, анатомо-морфологическая характеристика *S. officinalis* по-прежнему остаётся не полной. Нами выявлены лишь фрагментарные данные по изучению анатомии и морфологии вегетативных органов *S. officinalis*. Крайне отрывочны сведения об особенностях строения и типах железистых структур, хотя эти сведения имеют важное значение для эфиромасличной культуры [39].

Цель данной работы – изучить анатомо-морфологическую структуру надземных органов растений *Stachys officinalis* (L.) Trevis. в связи с эфиромасличностью.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Исследования проводились в 2019–2020 гг. на растениях *Stachys officinalis* (L.) Trevis., произрастающих в Горном Крыму (окр. с. Живописное, Симферопольский район; Ангарский Перевал). Анатомо-морфологическая структура органов изучалась на фиксированном (спирт : глицерин : вода в соотношении 1 : 1 : 1) и нативном материале, собранном в фазе цветения. Анатомические препараты готовили и описывали с использованием стандартных методик, отображенных в соответствующих работах [41–50]. Эпидермальные структуры листа *S. officinalis* изучали и описывали на временных препаратах, приготовленных по общепринятым методикам [51, 52]. Фиксированные микропрепараты готовили с помощью микротомы Ротмик 2-П. Количественные характеристики отдельных структурных элементов определялись в 30-ти кратной повторности. Обработка данных осуществлялась по стандартным методам математической статистики [53]. Исследование временных и постоянных препаратов осуществлялось с

использованием микроскопа Olympus CX31RTSF. Объекты фотографировали цифровой камерой Olympus (Industrial Digital Camera TOUPCAM™ U3CMOS10000KPA).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Стебель *Stachys officinalis* в поперечном сечении четырехгранный, покрыт эпидермой, наружные стенки которой утолщены и имеют тонкий слой кутикулы (рис. 1). Субэпидермально расположена первичная кора. Её наружная часть в межреберьях сформирована 3–4 слоями хлоренхимы, а в рёбрах 9–12 слоями колленхимы, которая обеспечивает прочность побега. Основная паренхима первичной коры представлена 4–6 слоями крупных тонкостенных клеток с хорошо выраженными межклетниками. Внутренний слой первичной коры образован паренхимными клетками слабо различимого крахмалоносного влагалища. За ним расположена флоэма, камбий и ксилема с хорошо заметными участками протоксилемы. По периферии флоэмы небольшими группами располагаются лубяные волокна протофлоэмы. В ксилеме хорошо развиты волокна либриформа с сильно утолщенными клеточными стенками. Сосуды ксилемы расположены правильными радиальными рядами и имеют широкие просветы. Сердцевина состоит из тонкостенных паренхимных клеток с небольшими межклетниками, имеет слабо выраженную перимедулярную зону. В процессе развития стебля сердцевина стебля разрушается и образует полость.

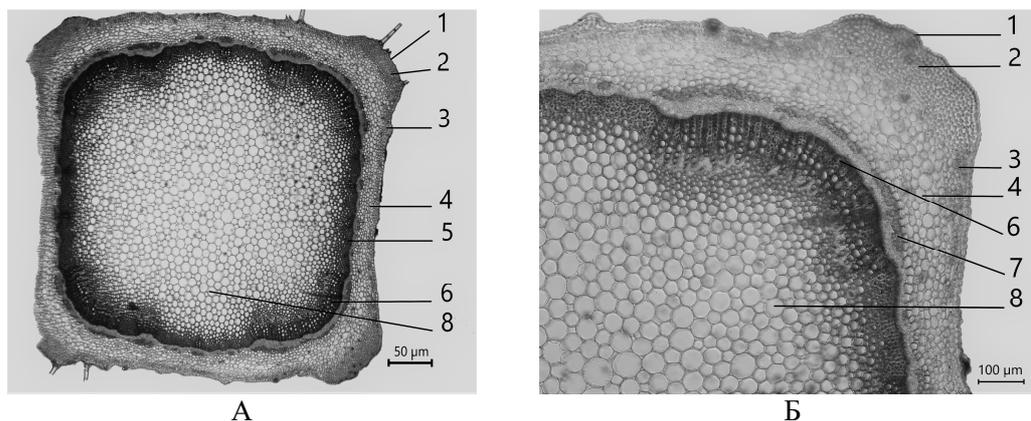


Рис. 1. Анатомическое строение стебля *S. officinalis* (фото автора).

А – общий вид поперечного среза стебля; Б – фрагмент стебля в области грани. 1– эпидерма; 2 – колленхима; 3 – хлоренхима; 4 – паренхима первичной коры; 5 – межпучковая склеренхима; 6 – ксилема; 7 – лубяные волокна; 8 – паренхима сердцевинны.

Лист покрыт однослойной (с хорошо развитой кутикулой) эпидермой. Основные эпидермальные клетки адаксиальной и абаксиальной сторон листа вытянутой или распластанной формы, имеют извилистые очертания (рис. 2). Размер

основных клеток покровной ткани листа адаксиальной и абаксиальной сторон отличаются. Так, размер клеток по длинной оси составляет в среднем $97,79 \pm 3,36$ и $99,52 \pm 5,12$ мкм на адаксиальной и абаксиальной сторонах, соответственно. Количество основных эпидермальных клеток в 1 мм^2 составляет в среднем на адаксиальной стороне $228,49 \pm 5,69$ шт., а на абаксиальной – $292,84 \pm 13,56$ шт., что свидетельствует об их крупноклеточности [47].

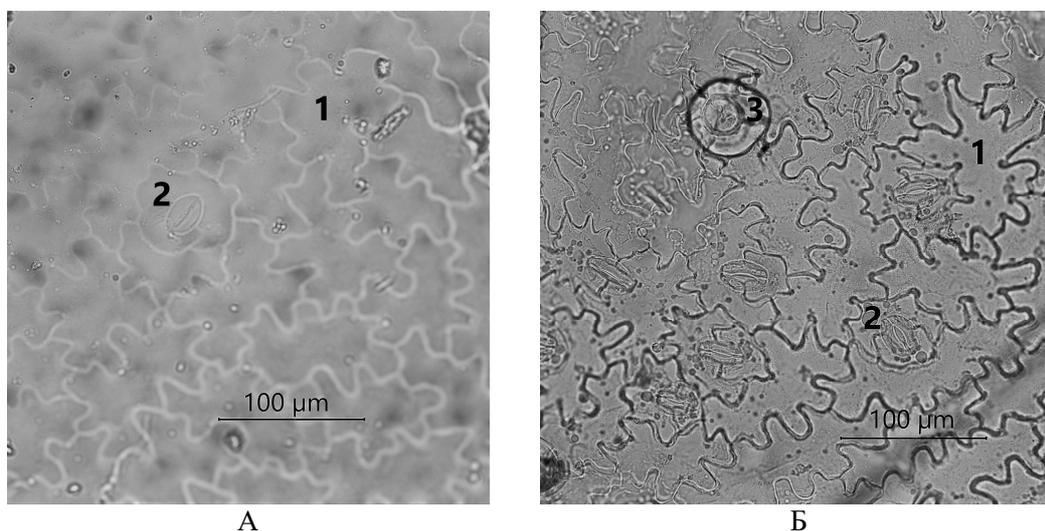


Рис. 2. Эпидерма листа *S. officinalis* (фото автора).

А – верхняя; Б – нижняя. 1 – основные эпидермальные клетки; 2 – устьица; 3 – сидячая железка.

На поперечных срезах основные клетки эпидермы абаксиальной и адаксиальной сторон листа преимущественно вытянутой формы с утолщенными наружными стенками, покрытыми тонким слоем кутикулы (рис. 3). Клетки верхнего и нижнего эпидермиса имеют не одинаковые размеры. Так, ширина клеток верхнего эпидермиса варьирует от $25,52$ мкм до $57,25$ мкм, высота – от $25,06$ мкм до $42,26$ мкм, а нижнего – от $21,41$ мкм до $54,63$ мкм и от $19,52$ мкм до $33,85$ мкм, соответственно.

Лист *S. officinalis* амфистоматический – с абаксиальной стороны количество устьиц в среднем $49,17 \pm 2,45$ шт/ мм^2 , на адаксиальной – встречаются единично ($6,0 \pm 0,5$ шт/ мм^2). Тип устьичного комплекса диацитный. Устьица не погруженные, без побочных клеток.

Лист изучаемого растения бифациальный: мезофилл дифференцирован на рыхлую и палисадную ткани. Толщина листовой пластинки средняя, – составляет $246,63 \pm 10,62$ мкм.

Столбчатый мезофилл с выраженными межклетниками, представлен одним-двумя рядами клеток цилиндрической формы.

Характер развития палисадной хлоренхимы отображает коэффициент палисадности, который у *S. officinalis* составил 60%. Это является высоким

показателем и свидетельствует о приспособленности растений данного вида к жизни на открытых, хорошо освещенных участках. Губчатый мезофилл образован паренхимными клетками, которые располагаются в три-четыре ряда.

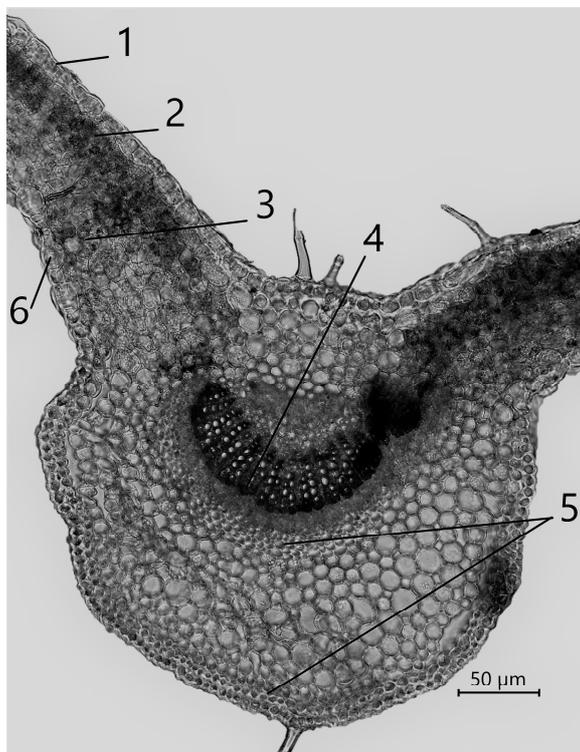


Рис. 3. Анатомическое строение листа *S. officinalis* (фото автора).

1 – верхняя эпидерма; 2 – столбчатый мезофилл; 3 – губчатый мезофилл; 4 – проводящий пучок; 5 – колленхима; 6 – нижняя эпидерма.

Центральная жилка представлена закрытым коллатеральным пучком, который со стороны флоэмы армирован колленхимой. Боковые жилки развиты слабо, окружены клетками паренхимной обкладки, которые не отличаются от ассимиляционной ткани. В субэпидермальном слое над и под жилкой располагается 1–2 ряда клеток уголковой колленхимы. В области центральной жилки ближе к основанию листа под пучком выявлено формирование полости в результате разрушения клеток паренхимы.

Черешок покрыт мелкими эпидермальными клетками в поперечном сечении округлой формы с утолщенными наружными стенками (рис. 4).

Субэпидермальная зона черешка характеризуется наличием 1–2 слоев уголковой колленхимы, увеличивающейся до 6–7 рядов в углах. В поперечном сечении черешок имеет округло-глубоковыемчатую форму. В центральной части

находится один крупный в форме сектора кольца медианный (основной) закрытый коллатеральный пучок, выпуклой частью обращенный к абаксиальной стороне.

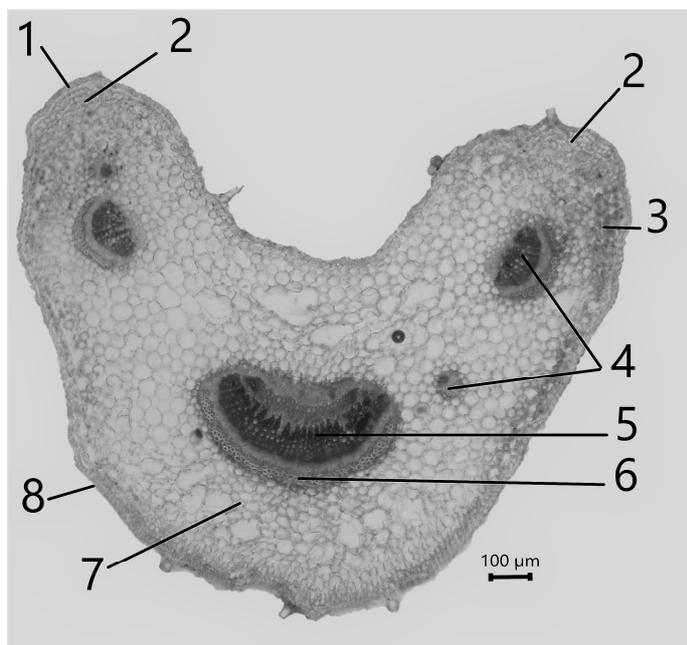


Рис. 4. Анатомическое строение черешка *S. officinalis* (фото автора).

1 – верхняя эпидерма; 2 – угловая колленхима; 3 – хлоренхима; 4 – латеральные проводящие пучки; 5 – медианный проводящий пучок; 6 – склеренхима; 7 – паренхима; 8 – нижняя эпидерма.

Также в черешке имеется четыре дополнительных латеральных (боковых) пучка. Все пучки имеют выраженную склеренхимную обкладку и разделены между собой хорошо развитой паренхимой. В результате разрушения клеток паренхимы выявлено формирование полостей, которые сначала проявляются только под пучком, а затем занимают все пространство паренхимной ткани черешка.

Одной из важных отличительных особенностей семейства *Lamiaceae*, (обуславливающее их хозяйственное значение), является наличие у его представителей различных типов трихом, покрывающих вегетативные и генеративные наземные органы. Растения *S. officinalis* характеризуются наличием опушения, которое обусловлено кроющими и железистыми волосками, а также железками.

На всех надземных органах растений, согласно классификации терпеноидсодержащих структур [54], выявлен один тип железистых образований – это экзогенные железистые структуры (рис. 5), которые представлены двумя формами: сидячая железка с многоклеточной (4-, 8-клеточной) головкой (рис. 5 А, Б) и железистые волоски: с одноклеточной (1–2 клеточной) ножкой и 1–2-клеточной

головкой (рис. 5 В); с однорядной 3-клеточной ножкой и 2-клеточной головкой (рис. 5 Г). Выявлено, что для сидячих железок характерно отличие в размерных параметрах. Так, диаметр 4-клеточной железки составляет в среднем $28,75 \pm 0,59$ мкм, а 8-клеточной – $54,49 \pm 1,78$ мкм.

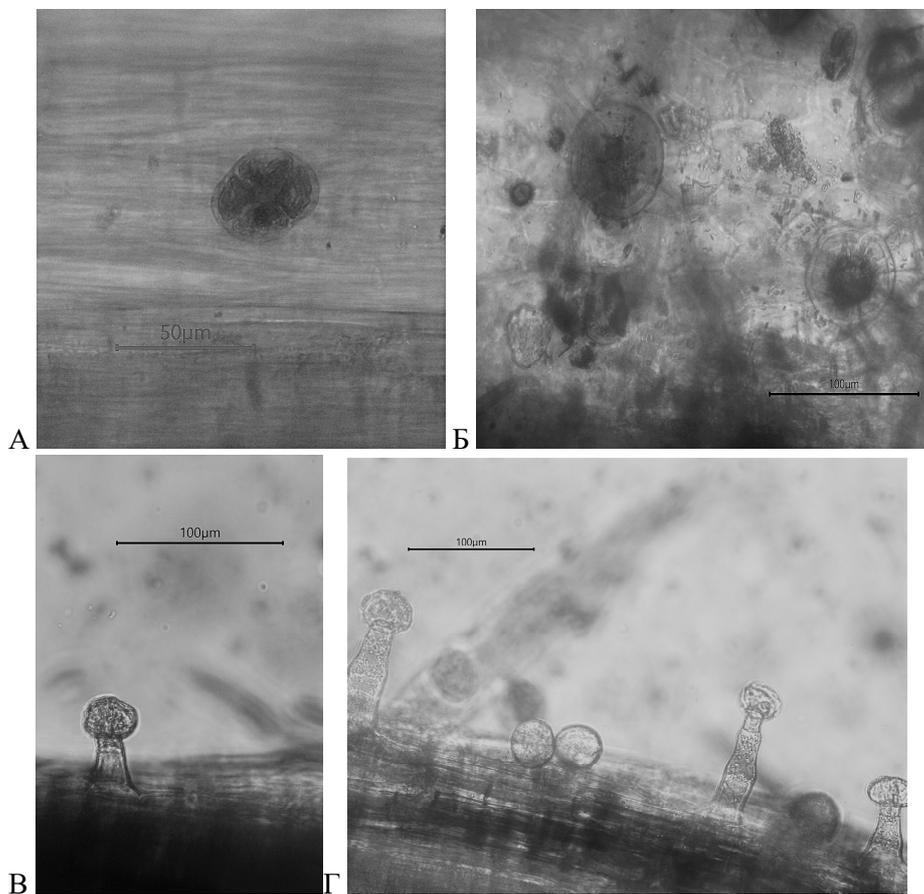


Рис. 5. Железистые структуры органов растений *S. officinalis* (фото автора).

А – сидячая железка с 4-клеточной головкой; Б – сидячая железка 8-клеточной головкой; В – железистый волосок однорядной 2 клеточной ножкой и 2-клеточной головкой; Г – железистый волосок с однорядной 3-клеточной ножкой и 2-клеточной головкой.

Распределение железистых структур по органам растений неравномерно. Наибольшая их плотность на 1 мм^2 обнаружена на листьях – $21,64 \pm 0,63$ штук. В ребрах и в межреберьях чашечки – $17,41 \pm 0,55$ штук. На стебле отмечено минимальное количество железистых образований – в среднем $8,64 \pm 0,67$ штук. Из чего следует, что лист и чашечка цветка являются основными маслообразующими органами.

Нежелезистое опушение растений *S. officinalis* представлено простыми неветвящимися, вильчатыми и звездчатыми трихомами. Для всех органов растений характерно наличие простых 1–4-клеточных неветвящихся кроющих трихом, единично встречаются 5–8-клеточные (рис. 6). Длина трихом варьирует от 134,2 мкм до 958,3 мкм. Однако на стебле при равномерном распределении таких трихом также встречаются участки, на которых они настолько сближены, что формируют скопления (группы) по 2–5 штук, причем подобная тенденция отмечена преимущественно по ребрам стебля (рис. 6 Г). Вильчатые и звездчатые трихомы выявлены только на генеративных органах (чашечка и венчик) и составляют основную массу их опушения.

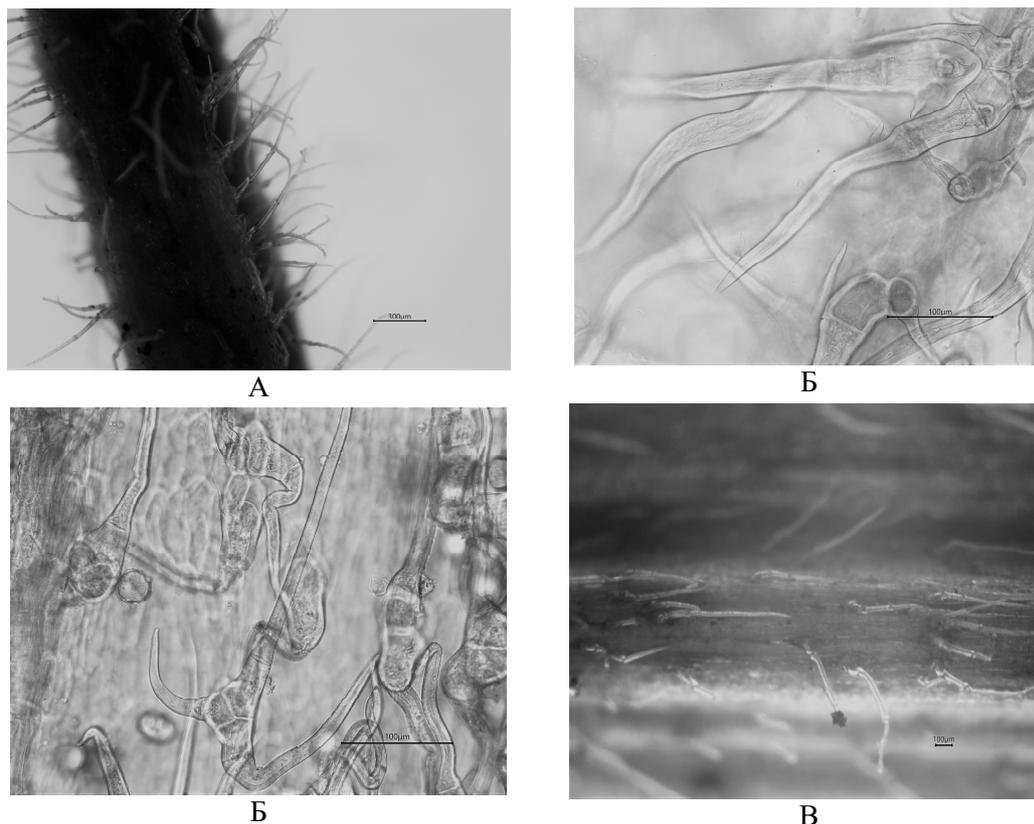


Рис. 6. Кроющие трихомы органов растений *S. officinalis* (фото автора)

А – простые неветвящиеся кроющие трихомы на черешке; Б – вильчатые трихомы на венчике; В – звёздчатые трихомы на венчике; Г – кроющие трихомы на стебле.

Таким образом, изучение анатомических и микроморфологических структур растений *S. officinalis* позволило выявить комплекс ксероморфных (утолщение наружных стенок клеток эпидермы, наличие хорошо развитой кутикулы, опушение, небольшое количество устьиц на единицу площади; высокий коэффициент

палисадности) и мезоморфных (бифациальность листа; слабо выраженная обкладка мелких пучков в листе; незначительное количество механических элементов) признаков, определяющих адаптивные возможности вида в целом. Определено, что опушение растений обусловлено наличием экзогенных железистых структур и кроющих трихом различной формы. Характер распределения железистых образований по органам растений показал, что основным маслообразующими органами являются лист и чашечка цветка.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Установлено, что опушение растений *Stachys officinalis* (L.) Trevis. обусловлено наличием кроющих трихом и экзогенных железистых структур.

Выявлено, что кроющие неветвящиеся трихомы встречаются на всех органах растений, а генеративные органы (чашечка и венчик) опушены преимущественно вильчатыми и звездчатыми волосками.

Определена топография и плотность экзогенных железистых структур, наибольшее количество которых характерно для листа и чашечки. Все органы растений характеризуются наличием двух форм экзогенных железистых структур – сидячая железка с многоклеточной (4-, 8-клеточной) головкой и железистые волоски: с однорядной (1–2 клеточной) ножкой и 1-2-клеточной головкой; с однорядной 3-клеточной ножкой и 2-клеточной головкой.

Установленные анатомические и микроморфологические признаки позволяют отнести *Stachys officinalis* к ксеромезофитам, что увеличивает адаптивные возможности данного вида.

Работа выполнена в рамках реализации проекта ПИТ «Разработка сетевой образовательной программы по направлению подготовки 06.06.01 Биологические науки, направленности 03.02.08 Экология» Программы развития ФГАОУ ВО «КФУ им. В. И. Вернадского».

Список литературы

1. Флора Европейской части СССР, т.3, [под ред. Ан. А. Федорова] – Л.: Наука, 1978 – 170 с.
2. Определитель высших растений Крыма [под ред. Рубцова Н. И.] – Л.: Наука, 1972 – 405 с.
3. Ена А. В. Природная флора Крымского полуострова / А. В. Ена. – Симферополь: Н. Оріадна, 2012 – 134 с.
4. Красная книга Ивановской области. Т. 2: Растения и грибы / под ред. В. А. Исаева. – К 782 Иваново: ИПК «ПресСто», 2010. – 192 с.
5. Красная Книга Вологодской области. Т. 2. Растения и грибы / Отв. ред. Г. Ю. Конечная, Т. А. Сулова. – Вологда, ВГПУ, изд-во «Русь», 2004. – 360 с.
6. Зайнуллина К. С. Биоморфологическая и биохимическая характеристика *Betonica officinalis* (Lamiaceae) при интродукции на Севере и Среднем Урале / К. С. Зайнуллина, Н. В. Портнягина, В. В. Пунегов, В. В. Мориллов, С. И. Неуймин // Аграрный вестник Урала. – 2012. – № 11 (103). – С. 24–27.
7. Новаковская Т. В. Биоморфология и компонентный состав экстрактивных веществ *Betonica officinalis* L. в условиях интродукции / Т. В. Новаковская, В. В. Пунегов // Аграрный вестник Урала. – 2010. – № 11–1 (77). – С. 27–29.

8. Хлыпенко Л. А. Генофондовая коллекция эфиромасличных, лекарственных и пряно-ароматических растений никитского ботанического сада / Л. А. Хлыпенко, Л. А. Логвиненко, Н. В. Марко, В. Д. Работягов // Научные записки природного заповедника «Мыс Мартыян». – 2015. – Вып. 6. – С. 268–276.
9. Палий А. Е. Розмариновая кислота и ее сырьевые источники в Крыму / А. Е. Палий, Ф. М. Меликов, О. А. Гребенникова, В. Д. Работягов // Фармация и фармакология. – 2015. – № 2 (9). – С. 7–12.
10. Вилкова Н. Д. Анализ лекарственного сырья, применяемого при лечении заболеваний почек и мочевыводящих путей / Н. Д. Вилкова // Bulletin of Medical Internet Conferences. – 2017. – Vol. 7, Is. 6. – С. 1262.
11. Решетникова Т. Е. Анализ структуры фитоценоза с некоторыми видами лекарственных растений в окрестностях г. Саратова / Т. Е. Решетникова, М. В. Буланая // Бюллетень ботанического сада саратовского государственного университета. – 2009. – Вып. 8. – С. 94–98.
12. Современная фитотерапия / под ред. Веселина-Петкова. – София: Медицина и физкультура, 1988. – С. 377–378.
13. Grossberg G. T. The Essential Herb-Drug-Vitamin Interaction Guide: The Safe Way to Use Medications and Supplements Together, Broadway Books / G. T. Grossberg, B. Fox. – New York, USA, 2007. – P. 624.
14. Lazarević J. S. Chemical composition and antimicrobial activity of the essential oil of *Stachys officinalis* (L.) Trevis. (Lamiaceae) / J. S. Lazarević, A. S. Dordević, D. V. Kitić, B. Zlatković, G. S. Stojanović // Hemistry and Biodiversity. – 2013. – Vol. 10. – P. 1335–1349.
15. Баймурадов Р. Р. Лекарственное растение буквица облиственная / Р. Р. Баймурадов, К. Т. Тогбоев // Биология и интегративная медицина. – 2019. – № 2. – С. 90–96.
16. Tomou E.-M. Genus *Stachys*: A Review of Traditional Uses / E.-M. Tomou., C. Barda and H. Skaltsa // Phytochemistry and Bioactivity Medicines. – 2020. – Vol. 7, № 63. – P. 1–74.
17. Мишуrow В. П. Опыт интродукции лекарственных растений в среднетаежной подзоне Республики Коми / В. П. Мишуrow, Н. В. Портнягина, К. С. Зайнулина, И. В. Шалаева, Н. Ю. Шелаева. – Екатеринбург: УрО РАН, 2003. – С. 19–22, 232.
18. Allen D. European Red List of Medicinal Plants, Publications Office of the European Union / D. Allen, M. Bilz, D. J. Leaman, R. M. Miller, A. Timoshyna, J. Window. – Luxembourg, 2014. – P. 47.
19. Curtis T. G. F. The Irish Red Data Book, Wildlife Service Ireland / T. G. F. Curtis, H. N. McGough. – Dublin, 1988. – P. 77–80.
20. Moser D. Liste rouge des espèces menaces de Suisse, Office fédéral de l'environnement, des forêts et du paysage, Berne; Centre du Réseau Suisse de Floristique, Chambésy. / D. Moser, A. Gygax, B. Bäumler, N. Wyler, R. Palese // Conservatoire et Jardin botaniques de la Ville de Genève, Chambésy, 2002. – P. 102–103.
21. Cheffings C. M. Vascular Plant Red Data List for Great Britain, Joint Nature Conservation Committee / C. M. Cheffings, L. Farrell, T. D. Dines, R. A. Jones, S. J. Leach, D. R. McKean, D. A. Pearman, C. D. Preston, F. J. Rumsey, I. Taylor. – Peterborough, 2005. – P. 90–95.
22. Dines T. A Vascular Plant Red Data List for Wales, Plantlife International / T. Dines. – Salisbury, 2008. – P. 70–72.
23. Stroh P. A. A Vascular Plant Red List for England, Botanical Society of Britain and Ireland / P. A. Stroh, S. J. Leach, T. A. August, K. J. Walker, D. A. Pearman, F. J. Rumsey, C. A. Harrower, M. F. Fay, J. P. Martin, T. Pankhurst, C. D. Preston, I. Taylor. – Bristol, 2014. – P. 70–74.
24. Орлова С. В. Средство "литохол" и способ поддерживающей терапии при нарушении обмена веществ, вызванном повышенным содержанием холестерина в крови / С. В. Орлова, Л. С. Василевская, Е. А. Никитина, В. И. Циприян, Т. Н. Билко, Н. Е. Зайцева // Патент на изобретение, 2007, Россия. – 9 с.
25. Электронный ресурс. Режим доступа. <https://natr.ru> (Eight 100 capsules, Herbal combination, Stock No. 849-0).
26. Jean-Claude Chalchat. Essential Oil of *Stachys officinalis* (L.) Trevis. Lamiaceae from Montenegro / Jean-Claude Chalchat, Zoran A. Maksimović, M. S. Gorunovic. // Journal of Essential Oil Research. – 2001. – Vol. 13. – P. 286–287.

27. Мориллов В. В. Влияние различных факторов на содержание дубильных веществ в листьях растений *Betonica officinalis* на Южном и Среднем Урале / В. В. Мориллов, С. И. Неуймин // Бюллетень ГНБС. – 2019. – Вып. 131. – С. 140–143.
28. Бодруг М. В. Биологические особенности и эфиромасличность некоторых губоцветных в Молдавии / М. В. Бодруг // Полезные свойства дикорастущих растений Молдавии. – Кишинев, 1973. – С. 62–69.
29. Йорданов Д. Фитотерапия. Лечение лекарственными травами / Д. Йорданов, П. Николов, А. Бойчинов. – София: Медицина и физкультура, 1968. – 324 с.
30. Dušek K. Genetic diversity of selected medicinal plants in protected landscape areas in the Czech Republic / K. Dušek, E. Dušková, K. Smékalová // Czech J. Genet. Plant Breed. – 2010. – Vol. 46. – P. 34–36.
31. Головкин Б. И. Переселение травянистых многолетников на полярный Север / Б. И. Головкин. – Л.: Наука, 1973. – 265 с.
32. Hartwig B. W. Essential oils of seven *Stachys* taxa from Croatia / B. W. Hartwig, H. W. Pfeifhofer, A. H. Brantner; Z. Males, M. Plazibat // Biochemical systematics and ecology. – 2006. – Vol. 34, № 12. – P. 875–881.
33. Slapšyt E. G. Genotoxic properties of *Betonica officinalis*, *Gratiola officinalis*, *Vincetoxicum luteum* and *Vincetoxicum hirundinaria* extracts / E. G. Slapšyt; E. V. Dedonyt, E. A. Adomenien, J. R. Lazutka, E. J. Kazlauskait, E. O. Ragažinskien, P. R. Venskutonis // Food Chem. Toxicol. – 2019. – P. 134.
34. Дедюхина О. Н. Предварительные итоги интродукции многолетних травянистых растений местной флоры Удмуртии / О. Н. Дедюхина // Вестник Удмуртского университета. – 2006. – № 10. – С. 11–16.
35. Свиридова Т. П. Интродукция флавоноидосодержащих лекарственных растений в Сибирском ботаническом саду Томского государственного университета / Т. П. Свиридова, Н. С. Зиннер // Вестник Томского государственного университета. – 2007. – № 305. – С. 211–214.
36. Мишуров В. П. Опыт интродукции лекарственных растений в среднетаежной подзоне Республики Коми / В. П. Мишуров. – Екатеринбург : УрО РАН, 2003. – 241 с.
37. Демочко Ю. А. Особенности прорастания семян буквицы лекарственной в лабораторных условиях / Ю. А. Демочко, И. В. Шилова, Е. В. Иванова, О. В. Костецкий // Бюл. Бот. сада Сарат. гос. ун-та. – 2017. – Т. 15, Вып. 1. – С. 34–43.
38. Maria de Los Andgels. Morphological and anatomical studies on nutlens of *Stachys* (Lamiaceae) from south-west Spain Thaszia / Maria de Los Andgels, Martin Mosquero, Rocio Juan & Julio Paster // Journal of botany. – 2000. – Vol. 10. – P. 27–38.
39. Grujic Slavica M.. Atomical and micromorphological study of *Stachys officinalis* L. (Lamiaceae) / Slavica M. Grujic, Sonja N. Duletic Lausevic, Ana M. Dzamic, Petar D. Marinaran // Ботанички симпозијум-Трети век ботанике у Војводини, Нови Сад. – 2016. – С. 58.
40. Salmaki Y. Towards a new classification of tribe Stachydeae (Lamiaceae): Naming clades using molecular evidence / Y. Salmaki, G. Heubl, M. Weigend // Bot. J. Linn. Soc. – 2019. – P. 345–358.
41. Прозина М. Н. Ботаническая микротехника / М. Н. Прозина. – М.: Высшая школа, 1960. – 206 с.
42. Александров В. Г. Анатомия растений / В. Г. Александров. – М.: Высшая школа, 1966. – 431 с.
43. Эзау К. Анатомия семенных растений. Книга 1 / К. Эзау. – М.: Мир, 1980а. – 284 с.
44. Эзау К. Анатомия семенных растений. Книга 2 / К. Эзау. – М.: Мир, 1980б. – 627 с.
45. Эверт Р. Ф. Анатомия растений Эзау. Меристемы, клетки и ткани растений: строение, функции и развитие / Р. Ф. Эверт. – Москва: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2016. – 600 с.
46. Васильев Б. Р. Строение листа древесных растений различных климатических зон / Б. Р. Васильев. – Л.: Изд-во Ленинградского университета, 1988. – 208 с.
47. Лотова Л. И. Морфология и анатомия высших растений / Л. И. Лотова. – М.: Эдиториал УРСС, 2001. – 528 с.
48. Барыкина Р. П. Справочник по ботанической микротехнике / Р. П. Барыкина, Т. Д. Веселова, А. Г. Девятов. – М.: МГУ, 2004. – 331 с.
49. Серебрякова Т. И. Ботаника с основами фитоценологии. Анатомия и морфология растений / Т. И. Серебрякова, Н. С. Воронин, А. Г. Серебряков. – М.: Академкнига, 2006. – 543 с.
50. Тимонин А. К. Ботаника. В четырех томах. Том 3. Высшие растения / А. К. Тимонин. – М.: Академия, 2007. – 352 с.

51. Захаревич С. Ф. К методике описания эпидермы листа / С. Ф. Захаревич // Вестник Ленинградского университета. Серия 3: Биология. – Л.: Изд-во Ленинградского университета, 1954. – № 4. – С. 64–75.
52. Анели Н. А. Атлас эпидермы листа / Н. А. Анели – Тбилиси: Мецниереба, 1975. – 110 с.
53. Лакин Г. Ф. Биометрия / Г. Ф. Лакин. – М.: Высшая школа, 1980. – 293 с.
54. Денисова Г. А. Терпеноидсодержащие структуры растений. / Денисова Г. А. – Ленинград: Наука, 1989. – 141 с.

ANATOMICAL AND MORPHOLOGICAL CHARACTERISTICS OF *STACHYS OFFICINALIS* (L.) TREVIS. REGARDING TO ITS ESSENTIAL-OIL QUALITY

Petrishina N. N.^{1,2}, Nikolenko V. V.¹, Molodaykina M. A.¹

¹*V. I. Vernadsky Crimean Federal University, Simferopol, Crimea, Russian Federation*

²*Research Institute of Agriculture of Crimea, Simferopol, Crimea, Russian Federation*

E-mail: n-petrishina@list.ru

Stachys officinalis (L.) Trevis. is a perennial herbaceous plant of the family Lamiaceae, which in most literature sources is defined as a medicinal plant that has a number of useful properties. The latter are manifested due to the complex chemical composition of compounds (essential oil and many others) contained in the aboveground organs of plants. Despite the interest that researchers show in this species, the issue of anatomical and morphological study is still insufficiently studied. We found only fragmentary data on the anatomy and morphology of the vegetative organs of *S. officinalis*. Extremely fragmentary information about the features of the structure and types of glandular structures, although this information is of great importance when used as an essential oil culture.

The aim of this work is to study the anatomical and morphological structures of the aboveground organs of plants *Stachys officinalis* (L.) Trevis. due to the essential oil content.

The research was carried out in 2019–2020 on *Stachys officinalis* (L.) Trevis. plants growing in the Mountainous Crimea (near the village of Pictorial, Simferopol district; Angarsky Pass). Anatomical study of vegetative organs was carried out. The obtained data on the anatomy of vegetative organs are shown in Fig 1-6. For *Stachys officinalis*, the presence of epidermal outgrowths, represented by covering trichomes of three forms and exogenous glandular structures, was established.

It is established that the pubescence of plants is *Stachys officinalis* (L.) Trevis. it is caused by the presence of covering trichomes and exogenous glandular structures.

It was revealed that the coverts of non-branching trichomes are found on all plant organs, and the generative organs (calyx and corolla) are pubescent mainly with forked and stellate hairs.

The topography and density of exogenous glandular structures, the largest number of which is characteristic of the leaf and calyx, are determined. All plant organs are characterized by the presence of two forms of exogenous glandular structures – a sessile

gland with a multicellular (4-, 8-cell) head and glandular hairs: with a single-row (1–2-cell) leg and a 1–2-cell head; with a single-row 3-cell leg and a 2-cell head.

The established anatomical and micromorphological features allow us to attribute *Stachys officinalis* to mesoxerophytes, which increases the adaptive capabilities of this species.

Keywords: *Stachys officinalis*, anatomical structures, glandular structures, covering trichomes, essential oil plants.

References

1. *Flora of the European part of the USSR*, v.3, ed. An. A. Fedorova, 170 (Science, Leningrad, 1978).
2. *Keys to higher plants of the Crimea*, ed. Rubtsova N. I., 405 p. (Nauka, Leningrad, 1972).
3. Ena A. V., *Natural flora of the Crimean peninsula*, 134 p. (N. Orianda, Simferopol, 2012).
4. *Red Book of the Ivanovo region*. T. 2: Plants and mushrooms, ed. V. A. Isaeva, 192 p. (IPK "PressSto", K 782 Ivanovo, 2010).
5. *Red Book of the Vologda region*. T. 2. Plants and mushrooms, ed. G. Yu. Konechnaya, T. A. Suslova, 360 p. (VGPU, publishing house "Rus", Vologda, 2004).
6. Zainullina K. S., Portnyagina N. V., Punegov V. V., Morilov V. V., Neuymin S. I., Biomorphological and biochemical characteristics of *Betonica officinalis* (Lamiaceae) during the introduction in the North and Middle Urals, *Agrarian Bulletin of the Urals*, **11** (103), 24 (2012).
7. Novakovskaya T. V., Punegov V. V., Biomorphology and component composition of extractives *Betonica officinalis* L. under conditions of introduction, *Agrarian Bulletin of the Urals*, **11-1** (77), 27 (2010).
8. Khlypenko L. A., Logvinenko L. A., Marko N. V., Rabotyagov V. D. Gene pool collection of essential oil, medicinal and aromatic plants of the Nikitsky Botanical Garden, *Scientific notes of the natural reserve "Cape Martyan"*, **6**, 268 (2015).
9. Paliy A. E., Melikov F. M., Grebennikova O. A., Rabotyagov V. D., Rosmarinic acid and its raw sources in the Crimea, *Pharmacy and Pharmacology*, **2**(9), 7 (2015).
10. Vilkova N. D. Analysis of medicinal raw materials used in the treatment of diseases of the kidneys and urinary tract, *Bulletin of Medical Internet Conferences*, **7**(6), 1262 (2017).
11. Reshetnikova T. E., Bulanaya M. V., Analysis of the structure of phytocenosis with some species of medicinal plants in the vicinity of Saratov, *Bulletin of the Botanical Garden of Saratov State University*, **8**, 94 (2009).
12. *Modern phytotherapy*, ed. Veselina-Petkova, p. 377-378 (Medicine and Physical Education, Sofia, 1988).
13. Grossberg G. T., Fox. B. *The Essential Herb-Drug-Vitamin Interaction Guide: The Safe Way to Use Medications and Supplements Together*, Broadway Books, p. 624 (New York, USA, 2007).
14. Lazarević J. S., Dorđević A. S., Kitić D. V., Zlatković B., Stojanović G. S. Chemical composition and antimicrobial activity of the essential oil of *Stachys officinalis* (L.) Trevis. (Lamiaceae), *Hemistry and Biodiversity*, **10**, 1335 (2013).
15. Baimuradov R. R., Togboev K. T. Medicinal plant leafy drop letter, *Biology and integrative medicine*, **2**, 90 (2019).
16. Tomou E.-M., Barda C., Skaltsa H., Genus *Stachys*: A Review of Traditional Uses, *Phytochemistry and Bioactivity Medicines*, **7**, 63, 1-74 (2020).
17. Mishurov V. P., Portnyagina N. V., Zainulina K. S., Shalaeva I. V., Shelaeva N. Yu., *Experience of introduction of medicinal plants in the middle taiga subzone of the Komi Republic*, p. 19-22, 232 (Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Yekaterinburg, 2003).
18. Allen D., Bilz M., Leaman D. J., Miller R. M., Timoshyna A., Window J., *European Red List of Medicinal Plants*, p. 47 (Publications Office of the European Union, Luxembourg, 2014).
19. Curtis T. G. F., McGough H. N., *The Irish Red Data Book*, p. 77-80 (Wildlife Service Ireland, Dublin, 1988).

20. Moser D., Gygax A., Bäumler B., Wyler N., Palese R., Liste rouge des espèces menacées de Suisse, Office fédéral de l'environnement, des forêts et du paysage, *Conservatoire et Jardin botaniques de la Ville de Genève*, p. 102-103 (Centre du Réseau Suisse de Floristique, Chambésy, Berne, 2002).
21. Cheffings C. M., Farrell L., Dines T. D., Jones R. A., Leach S. J., McKean D. R., Pearman D. A., Preston C. D., Rumsey F. J., Taylor I., *Vascular Plant Red Data List for Great Britain*, p. 90-95 (Joint Nature Conservation Committee, Peterborough, 2005).
22. Dines T., *A Vascular Plant Red Data List for Wales*, p.70-72 (Plantlife International, Salisbury, 2008).
23. Stroh P. A., Leach S. J., August T. A., Walker K. J., Pearman D. A., Rumsey F. J., Harrower C. A., Fay M. F., Martin J. P., T. Pankhurst T., Preston C. D., Taylor I. *A Vascular Plant Red List for England*, p.70-74 (Botanical Society of Britain and Ireland, Bristol, 2014).
24. Orlova S. V., Vasilevskaya L. S., Nikitina E. A., Tsiptriyan V. I., Bilko T. N., Zaitseva N. E. The drug "litochol" and a method of maintenance therapy for metabolic disorders caused by high cholesterol in the blood, *Patent for invention*, 9 p. (Russia, 2007).
25. *Electronic resource*. Access mode. <https://natr.ru> (Eight 100 capsules, Herbal combination, Stock No. 849-0).
26. Chalchat J.-C., Zoran A. Maksimović, Gorunovic M. S. Essential Oil of *Stachys officinalis* (L.) Trevis. Lamiaceae from Montenegro, *Journal of Essential Oil Research*, **13**, 286 (2001).
27. Morilov V. V., Neuymin S. I. Influence of various factors on the content of tannins in the leaves of *Betonica officinalis* plants in the Southern and Middle Urals, *Bulletin GNBS*, **131**, 140 (2019).
28. Bodrug M. V. *Biological characteristics and essential oil content of some labiates in Moldova*, p. 62-69, (Useful properties of wild plants in Moldova, Chisinau, 1973).
29. Yordanov D., Nikolov P., Boychinov A., Phytotherapy. *Treatment with medicinal herbs*, 324 p. (Medicine and Physical Education, Sofia, 1968).
30. Dušek K., Dušková E., Smékalová K., Genetic diversity of selected medicinal plants in protected landscape areas in the Czech Republic, *Czech J. Genet. Plant Breed*, **46**, 34 (2010).
31. Golovkin B. I. *Resettlement of herbaceous perennials to the polar North*, 265 p. (Nauka, L., 1973).
32. Hartwig B. W., Pfeifhofer H. W., Brantner A. H., Males Z., Plazibat M., Essential oils of seven *Stachys* taxa from Croatia, *Biochemical systematics and ecology*, **34** (12), 875 (2006).
33. Slapšyt E. G., Dedonyt E. V., Adomenien E. A., Lazutka J. R., Kazlauskait E. J., Genotoxic properties of *Betonica officinalis*, *Gratiola officinalis*, *Vincetoxicum luteum* and *Vincetoxicum hirundinaria* extracts, *Food Chem. Toxicol.*, p. 134 (2019).
34. Dedyukhina O. N., Preliminary results of the introduction of perennial herbaceous plants of the local flora of Udmurtia, *Bulletin of the Udmurt University*, **10**, 11 (2006).
35. Sviridova T. P., Zinner N. S., Introduction of flavonoid-containing medicinal plants in the Siberian Botanical Garden of Tomsk State University, *Bulletin of Tomsk State University*, **305**, 211 (2007).
36. Mishurov V. P., *Experience in the introduction of medicinal plants in the middle taiga subzone of the Komi Republic*, 241 p. (Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Ekaterinburg, 2003).
37. Demochko Yu. A., Shilova I. V., Ivanova E. V., Kostetsky O. V., Peculiarities of seed germination of the drug drop cap in laboratory conditions, *Bul. Bot. garden Sarat. state un-that*, **15** (1), 34 (2017).
38. Maria de Los Andgels, Rocio Juan & Julio Paster, Rocio Juan & Julio Paster, Morphological and anatomical studies on nutlens of *Stachys* (Lamiaceae) from south-west Spain Thaszia, *Journal of botany.*, **10**, 27 (2000).
39. Grujic Slavica M., Grujic M., Sonja N. Duletic Lausevic, Ana M. Dzamic, Petar D., Marinar Anatomical and micromorphological study of *Stachys officinalis* L. (Lamiaceae), *Ботанички симпозијум-Трећи век ботанике у Војводини* (Нови Сад, 2016), p. 58.
40. Salmaki, Y., Heubl G., Weigend M., Towards a new classification of tribe Stachydeae (Lamiaceae): Naming clades using molecular evidence, *Bot. J. Linn. Soc.*, p. 345-358 (2019).
41. Prosine M. N., *Botanical micro-technology*, 206 p. (Higher school, Moscow, 1960).
42. Alexandrov V. G., *Plant Anatomy*, 431 p. (Higher school, Moscow, 1966).
43. Ezau K., *Anatomy of seed plants*. Book 1, 284 p., (Mir, Moscow, 1980a).
44. Ezau K., *Anatomy of seed plants*. Book 2, 627 p., (Mir, Moscow, 1980b).
45. Evert R. F., *Plant Anatomy Esau. Meristems, cells and tissues of plants: structure, functions and development*, 600 p. (BINOM, Knowledge Laboratory, Moscow, 2016).

46. Vasiliev B. R., *The structure of the leaf of woody plants of different climatic zones*, 208 p. (Publishing house of Leningrad University, Leningrad, 1988).
47. Lotova L. I., *Morphology and anatomy of higher plants*, 528 p. (Editorial URSS, Moscow, 2001).
48. Barykina R. P., Veselova T. D., Devyatov A. G., *Handbook of Botanical microtechnics*, 331 p. (Moscow state University, Moscow, 2004).
49. Serebryakova T. I., Voronin A. G., *Botany with the basics of phytocenology. Anatomy and morphology of plants*, 543 p. (Akademkniga, Moscow, 2006).
50. Timonin A. K., *Botany. In four volumes. Volume 3. Higher plants*, 352 p. (Academy, Moscow, 2007).
51. Zakharevich S. F., On the method of describing the leaf epidermis, *Bulletin of the Leningrad University. Series 3: Biology*, **4**, 64 (Leningrad, 1954).
52. Aneli N. A., *Atlas of the leaf epidermis*, 110 p. (Metsniereba, Tbilisi, 1975).
53. Lakin G. F., *Biometrics*, 293 p. (Higher school, Moscow, 1980).
54. Denisova G. A., *Terpenoid-containing plant structures*, 141 p. (Science, Leningrad, 1989).

УДК 612.821; 612.825

DOI 10.37279/2413-1725-2021-7-1-156-168

АКТИВНОСТЬ ЗЕРКАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ МОЗГА ПРИ ВОСПРИЯТИИ РЕЧИ И ЕЕ ВЗАИМОСВЯЗЬ С УРОВНЕМ ИНТЕЛЛЕКТА И ЭМПАТИИ

Португальская А. А., Левенчик Г. Я., Павленко В. Б.

*Таврическая академия (структурное подразделение) ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет имени В. И. Вернадского», Симферополь, Республика Крым, Россия
E-mail: a.portugalskaya@gmail.com*

У 25 здоровых мужчин и женщин исследовали связь между активностью зеркальной системы мозга (ЗСМ) при восприятии речи, показателями интеллекта и эмпатии. Предъявление испытуемым речевых высказываний сопровождалось изменениями амплитуды мю-ритма ЭЭГ, наиболее выраженными через 0,3–0,5 с после окончания ключевых слов. При восприятии фраз, описывающих физическое действие, выявлена десинхронизация мю-ритма, что расценивается как возможная активация ЗСМ. Восприятие абсурдных словосочетаний сопровождалось его синхронизацией. Испытуемые с наиболее высокими показателями интеллекта при восприятии правильной фразы демонстрировали наибольшую активацию ЗСМ. При восприятии абсурдной фразы наибольшая активация ЗСМ выявлена у испытуемых с высокими показателями эмпатии. Полученные результаты рассматриваются как свидетельство участия ЗСМ в восприятии и осознании речевых сообщений, описывающих физические действия человека.

Ключевые слова: зеркальные нейроны, ЭЭГ, речь, интеллект, эмпатия.

ВВЕДЕНИЕ

Под зеркальной системой мозга (ЗСМ) или системой зеркальных нейронов понимают совокупность определённых нейронных сетей, активизирующихся как при целенаправленных моторных актах человека, так и при наблюдении за выполнением этих действий другими или при воображении таких движений. Ансамбли зеркальных нейронов человека располагаются в различных структурах головного мозга, но выполняют единые функции: понимание намерений, эмоций и особенностей мышления других людей, реализация механизмов сопереживания, обучения и подражания. Активация системы зеркальных нейронов центральных регионов неокортекса сопровождается десинхронизацией разновидности альфа-активности ЭЭГ – мю-ритма (см. обзор [1]).

Зеркальные нейроны также являются важнейшей подгруппой нервных клеток, входящих в т.н. «контуры восприятия-действия» [2]. В частности, такие контуры состоят из нервных клеток, способных обеспечивать как восприятие речевых сигналов, так и их генерацию. Выдвинута гипотеза, что именно появление системы зеркальных нейронов в процессе эволюции могло быть ключевым механизмом, обеспечившим появление речи у человека [3]. Восприятие речи тесно связано с вербальным интеллектом, под которым понимают способность человека к овладению языком и оперированию вербальным материалом. В основе тестов,

измеряющих вербальный интеллект, лежит предположение о том, что существует тесная связь между функционированием интеллекта и лингвистическими навыками.

На сегодняшний день выявлено наличие связи между ЗСМ и речевыми процессами (см. обзор [4]), однако нейрофизиологические механизмы восприятия речи требуют дальнейшего анализа. Одним из наиболее оптимальных способов их изучения является регистрация и последующий анализ ЭЭГ. По изменениям ритмов ЭЭГ можно судить о закономерностях переработки информации при восприятии речевых высказываний. [5, 6].

Восприятие особенностей поведения человека, в том числе его речи, способно вызывать эмоциональные реакции у окружающих, основанные на эмпатии. Под эмпатией понимается способность субъекта ставить себя на место другого человека, воспринимать и испытывать эмоциональные реакции других людей, им сопереживать. Эмпатия помогает людям в формировании межличностных отношений и необходима для взаимодействия в социуме. В основе формирования эмпатии и социальных навыков лежат механизмы подражания и обработки информации о поведении других людей. В нашей лаборатории ранее было выполнено исследование [7], позволившее выявить связь между уровнем развития ЗСМ и чертами личности, определяющими эмпатию.

Несмотря на наличие ряда вышеупомянутых исследований взаимосвязи между функционированием ЗСМ, уровнем интеллекта, эмпатии и особенностями восприятия речи индивида остаются недостаточно изученными. В связи с этим целью настоящей работы являлось выявление связи реактивности ритмов ЭЭГ в процессе восприятия речевых высказываний с уровнем интеллекта и степенью развития/выраженности эмпатии человека.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В исследовании приняли участие 25 здоровых взрослых испытуемых, студентов КФУ им. В. И. Вернадского в возрасте от 18 до 35 лет (10 мужчин и 15 женщин). От всех его участников было получено информированное согласие. Эксперимент был построен таким образом, чтобы идентифицировать ЭЭГ-корреляты активности ЗСМ при выполнении движений и наблюдении за ними, а затем выявить изменения соответствующих ритмов ЭЭГ при переработке речевой информации.

Регистрация ЭЭГ производилась в три этапа: в процессе наблюдения за видеозаписью круговых движений руки с компьютерной мышью с переменной скоростью (1), при самостоятельном выполнении таких движений (2), а также во время восприятия аудиозаписей стихотворений (3). В последнем случае каждый участник с закрытыми маской глазами прослушал три варианта аудиозаписей длительностью по 17 с. Первый стимульный материал представлял собой подлинный фрагмент стихотворения Бродского «Воспоминания» [8]. Во фрагменте присутствовала фраза: «Я поднимаю руки и голову поднимаю». Во втором стимульном материале была произведена замена вышеупомянутого предложения на абсурдный в данном контексте: «Я оббегаю руки и голову оббегаю». В третьем варианте указанное выше выражение было заменено не подходящими по смыслу

словами «Я поднимаю рейтинг и статус свой поднимаю». Варианты аудиозаписи предъявлялись в различном порядке с целью нейтрализации эффекта последовательности. Для повышения концентрации внимания перед участниками исследования была поставлена задача определения настоящего стихотворения И. Бродского. В предъявляемой инструкции также было указано, что особое внимание следует обращать на глаголы. Во время эксперимента велась непрерывная видео- и аудиозапись, синхронизированная с регистрацией ЭЭГ.

ЭЭГ регистрировали при помощи 21-канального электроэнцефалографа «Мицар-ЭЭГ-10/70-201» (ООО «Мицар», г. Санкт-Петербург) в диапазоне частот от 1 до 30 Гц. В соответствии с международной системой наложения электродов 10–20 монополярно отводились ЭЭГ-потенциалы от фронтальных, центральных, затылочных, теменных и височных локусов. Референтным электродом служили объединенные контакты, закрепленные на мочках ушей. Областью интереса в настоящем исследовании были выбраны отведения T5 и T6, расположенные над областями неокортекса, отвечающими за восприятие речи, а также C3 и C4, соответствующие моторной и сенсомоторной коре. В указанных областях предполагается наличие зеркальных нейронов, активирующихся при восприятии движений других людей и их речевых сообщений. Как уже отмечалось выше, показателем их активации считают десинхронизацию разновидностей альфа-ритма: тау-ритма ЭЭГ в височной коре и мио-ритма в центральных областях неокортекса.

Записи ЭЭГ были предварительно оценены визуально. Участки записей, содержащие большое количество артефактов, были исключены из дальнейшей обработки.

Обработка ЭЭГ, записанной при выполнении движений и их восприятии, производилась с помощью спектрального анализа на основе алгоритмов быстрых преобразований Фурье (программа WinEEG, ООО «Мицар»). Анализировали участки записи по 30 с («Фон», «Наблюдение», «Движение»). В качестве фоновой записи была выбрана запись ЭЭГ в состоянии спокойного бодрствования со зрительной фиксацией на статичной точке. Определяли амплитуду ЭЭГ в частотном диапазоне 9,0–14,0 Гц. Были рассчитаны индексы реактивности (ИР) как натуральные логарифмы отношений средней амплитуды ЭЭГ при выполнении задачи на наблюдение и выполнение движений («Наблюдение», «Движение») к средней амплитуде ЭЭГ на участке «Фон».

Для обработки ЭЭГ, зарегистрированной при восприятии речи, было использовано вейвлет-преобразование. Математический аппарат вейвлет-преобразования в указанном случае был выбран исходя из следующих соображений: переводя сигнал из временного представления в частотно-временное, вейвлет-преобразование позволяет определить изменения ритмов ЭЭГ с относительно высоким временным разрешением вплоть до десятых долей секунды [9]. В силу быстроты процесса восприятия речевых высказываний данный метод обработки представляется наиболее подходящим. ЭЭГ, записанная в процессе восприятия фрагментов стихотворений, была экспортирована в edf-формате и обработана с помощью вейвлет-анализа (вейвлет Хаара) в программе «Нейрон-

Спектр.NET» версии 1.6.4.3 (ООО «Нейрософт», г. Иваново) по представленному ниже алгоритму.

1. Курсором мыши были выделены фрагменты ЭЭГ, соответствующие восприятию 17-секундной аудиозаписи, а также интервалы длительностью 1 с непосредственно до и после предъявления стихотворения.

2. Для выделенного фрагмента длительностью 19 с во вкладке функционального меню «Анализ» была выбрана опция «Вейвлет-анализ».

3. В окне вейвлет-анализа для отведений T5, T6, C3, C4 были построены двумерные графики с размахом амплитуды, кодируемым цветом, в 50 мкВ, а также соответствующие им таблицы.

4. Из каждой построенной таблицы для дальнейшей обработки были извлечены коэффициенты вейвлет-анализа, отражающие степень выраженности частот, соответствующих альфа-ритму (9,7–12,0 и 12,0–14,3 Гц).

5. На основании извлечённых коэффициентов вейвлет-анализа были вычислены ИР (аналогично тому, как это делалось при обработке ЭЭГ, сопровождающей движения), отражающие изменение мио-ритма в результате восприятия определённых речевых высказываний («Я поднимаю руки и голову поднимаю» и двух других вариантов). В качестве фона были выбраны записи ЭЭГ продолжительностью 1 с непосредственно перед началом воспроизведения аудиозаписи.

У всех испытуемых был оценен уровень интеллекта и эмпатии. Показатели вербального, невербального и общего интеллекта участников были определены с помощью теста Векслера. При дальнейшей обработке данных также использовались стандартизованные показатели всех 11 шкал, соответствующих субтестам данной методики [10].

Для оценки эмпатии испытуемые прошли ряд психологических тестов дистанционно, с использованием сайта psytest.org, в удобных для себя условиях. Общий уровень эмпатии испытуемого определялся с помощью методики диагностики уровня эмпатических способностей В.В. Бойко. Был определён суммарный (общий) показатель эмпатии, а также значения по шести шкалам (рациональный канал, эмоциональный канал, интуитивный канал, установки, проникающая способность, идентификация). С помощью опросника эмоциональной эмпатии А. Мехрабиана и Н. Эпштейна были определены эмпатические тенденции участников эксперимента. Для определения уровня сопереживания был выбран опросник «Уровень сопереживания» С. Барон-Козн и С. Уилрайт в модификации В. Косоногова. С помощью данной методики была определена способность участников к пониманию и воспроизведению эмоциональных состояний других людей. Диагностика алекситимии осуществлялась при помощи Торонтской алекситимической шкалы Дж. Тейлора и соавторов (TAS-26), была определена способность испытуемых к распознаванию телесных ощущений и эмоциональных реакций.

Полученные данные были обработаны с применением статистического пакета программ «STATISTICA 12». Вид распределения оценивали критерием Шапиро-Уилка. В случае нормального распределения данных применяли параметрические критерии обработки, если распределение отличалось от нормального –

непараметрические. Так, сравнение ИР в разных ситуациях было выполнено с помощью критерия Стьюдента для попарно связанных вариантов, а взаимосвязь между значениями ИР и психологическими показателями оценивалась с помощью коэффициента ранговой корреляции Спирмена.

Настоящее исследование было проведено в соответствии с этическими принципами Хельсинкской декларации [11].

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Наблюдение за движениями руки с компьютерной мышью на экране монитора и самостоятельное выполнение подобных движений сопровождалось у испытуемых снижением мощности ЭЭГ в частотном диапазоне 9–14 Гц. Указанный диапазон соответствует частоте осцилляций альфа-ритма и его разновидностям – мю- и тау-ритмам ЭЭГ в центральных и височных корковых регионах, соответственно [12, 13]. ИР, рассчитанные по вышеприведенной формуле, имели отрицательные значения (рис. 1), что свидетельствует об активации соответствующих областей коры в исследуемых ситуациях. Наибольшее снижение мощности выявлено при самостоятельном выполнении движений, но наличие подобной, хотя и менее выраженной, реакции при наблюдении за движениями позволяет предположить, что определенный вклад в динамику активности неокортекса в данной ситуации вносит активация нейронов ЗСМ [7, 1]. Интересно, что такая активация выявлена в нашем исследовании не только в центральных, но и в височных областях неокортекса, что может быть связано с общей активацией процессов внимания. Не исключено, что выраженная десинхронизация тау-ритма при выполнении движений может быть также связана с восприятием характерных звуков при перемещении компьютерной мыши.

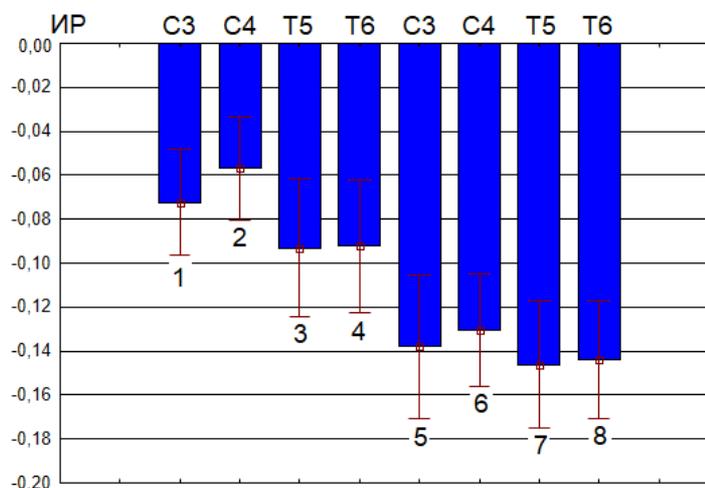


Рис. 1. Значения показателей индексов реактивности (ИР) ЭЭГ в частотном диапазоне 9–14 Гц при наблюдении испытуемыми движений (1–4) и их выполнении (5–8). Приведены средние значения и ошибки среднего. Вверху обозначены точки отведений ЭЭГ.

Предъявление участникам исследований речевых высказываний также сопровождалось изменением амплитуды ЭЭГ, в том числе и в диапазоне альфа-ритма. Визуальный анализ двумерных диаграмм результатов вейвлет-преобразований показал, что переработка информации при восприятии фрагмента фразы «Я поднимаю руки и голову поднимаю» у большинства испытуемых отражалась в десинхронизации указанного ритма (рис. 2, а). В то же время, восприятие абсурдного словосочетания «Я оббегаю руки и голову оббегаю» чаще сопровождалось усилением осцилляций ЭЭГ в диапазоне альфа-ритма (рис. 2, б). При этом, наиболее выраженные изменения ЭЭГ развивались через 0,3–0,5 с после окончания ключевых слов. Несколько менее выраженные изменения паттерна ЭЭГ развивались при предъявлении фразы «Я поднимаю рейтинг и статус свой поднимаю».

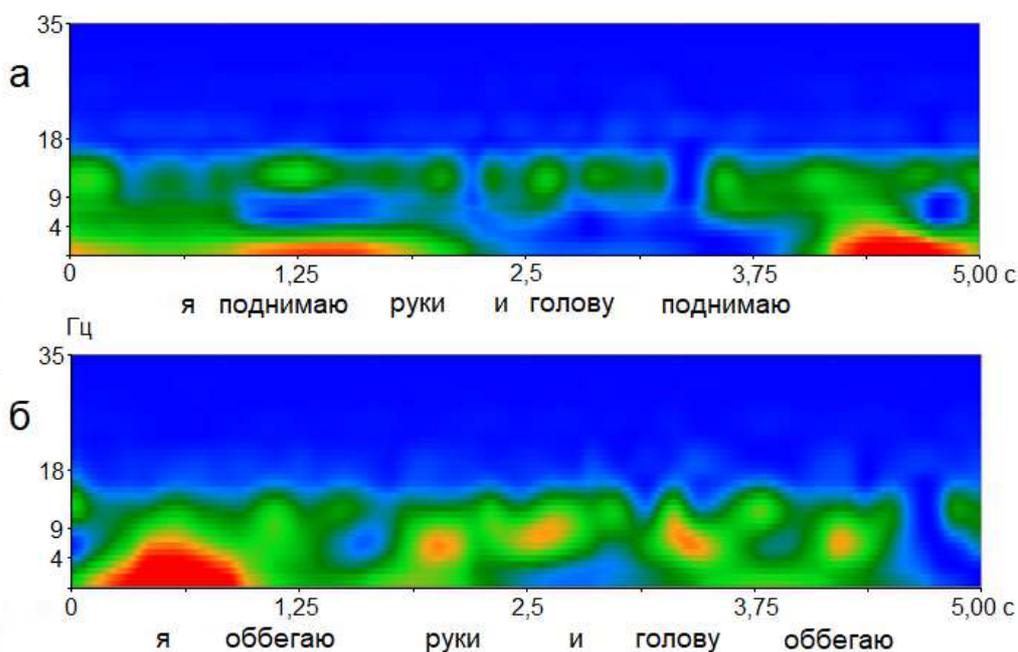


Рис. 2. Паттерн изменений ЭЭГ испытуемого А.С. в отведении С3 при восприятии логичных (а) и абсурдных (б) речевых сообщений (по данным вейвлет-анализа). По вертикали – частота, Гц; по горизонтали: время, с. Слова расположены на временной оси в соответствии с моментом их предъявления. Цвет отражает величину коэффициента вейвлета, пропорционального амплитуде сигнала.

Для дальнейшего анализа был выбран частотный диапазон ЭЭГ 9,7–12,0 Гц. ИР были рассчитаны для фрагментов фраз «я поднимаю руки» и «я оббегаю руки» во временном интервале 0,5–2,4 с. Средние значения ИР для группы испытуемых при восприятии адекватного словосочетания имели отрицательные значения, что указывает на десинхронизацию альфа-ритма в данном диапазоне и, следовательно,

активацию соответствующих участков коры мозга (рис. 3, колонки 1, 3, 5, 7). Наличие одновременной десинхронизации мю-ритма в центральных областях коры и тау-ритма в височных регионах неокортекса при восприятии речевых сообщений отмечалось также Т. Saltuklaroglu и соавторами [14].

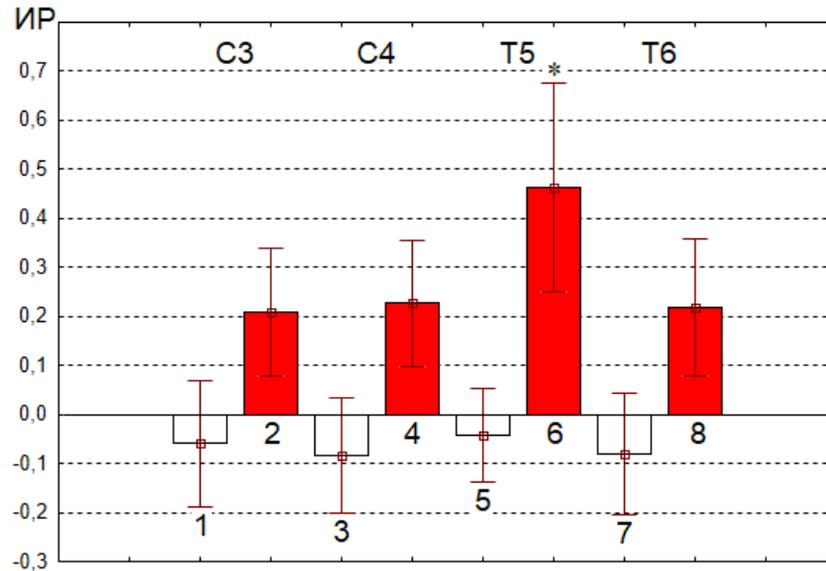


Рис. 3. Значения показателей индексов реактивности (ИР) ЭЭГ при восприятии правильного (1, 3, 5, 7) и абсурдного (2, 4, 6, 8) варианта фраз. * – различия при восприятии вариантов фраз достоверны при $P \leq 0,05$. Остальные обозначения как на рис. 1.

В нашем исследовании выявлена десинхронизация мю- и тау-ритмов как при наблюдении за движениями руки с компьютерной мышью, так и при восприятии речевого сообщения, описывающего действие с участием рук. Ряд авторов также отмечали снижение мощности мю-ритма ЭЭГ при восприятии речи и высказали гипотезы о природе активации неокортекса при восприятии предложений, описывающих физическое действие. Согласно одной из них, представленной в работе I. Mogeno и соавторами [15], восприятие и понимание таких речевых высказываний активирует моторные сети в человеческом мозге. Эта активация соответствует семантической интеграции нескольких слов в предложении, включая глагол действия. Таким образом, ключевым моментом является активация моторных репрезентаций, общих для наблюдаемых действий и восприятия их словесных описаний. При этом авторы указанной публикации отмечают, что пока недостаточно информации для однозначного ответа на вопрос: отражает ли десинхронизация мю-ритма активацию обычных двигательных нейронов или активации зеркальных нервных клеток. Чтобы выявить роль, которую в конечном итоге играют зеркальные нейроны в языке действий, потребуются новые

исследования. Согласно другой гипотезе [16], активация неокортекса при обработке глаголов действия обеспечивается двунаправленными связями между слуховой и моторной корой, основанными на актуализации общих сенсорных репрезентаций. Третья группа исследователей рассматривает синхронную активацию указанных зон неокортекса как отражение сенсомоторной интеграции с участием прямой (моторно-слуховой) и обратной (слухо-моторной) связи, что обеспечивает категоризации звуков речи с участием моторной системы [14], а также сохранение информации в рабочей памяти путем скрытой артикуляции [17].

Восприятие абсурдного словосочетания сопровождалось синхронизацией ЭЭГ в указанном частотном диапазоне (рис. 3, колонки 2, 4, 6, 8). Другие авторы [18, 19] также отмечали увеличение мощности ЭЭГ в диапазоне альфа-ритма при восприятии речевых сообщений. При этом мощность осцилляций нарастала вплоть до завершения фразы и была тем выше, чем продолжительнее и сложнее было предъявленное предложение. Была высказана гипотеза, что усиление альфа-активности связано с консолидацией ранее представленных языковых стимулов в рабочей памяти, предшествующей семантическому объединению существительных и глаголов. Такая консолидация требует сочетания процессов возбуждения и торможения в разных регионах коры больших полушарий. В нашем эксперименте восприятие абсурдного словосочетания, включающее осознание его противоречия здравому смыслу, по всей видимости, требовало наибольшего напряжения процессов памяти с попыткой активного торможения иррелевантной информации. Совокупность таких процессов и приводила к росту амплитуды мю-и тау-ритмов в центральных и височных областях неокортекса.

Как отмечалось выше, у участников исследования оценивали уровень интеллекта и психологических характеристик, ассоциированных с эмпатией. Данные психологического тестирования приведены в таблице 1. Уровень интеллекта испытуемых был в среднем выше нормы, которая составляет 100 баллов. Среднее значение общего уровня эмпатии по опроснику В. В. Бойко у участников исследования было несколько ниже средней величины для популяции (22–29 баллов). Среднее значение эмпатических тенденций по опроснику эмоциональной эмпатии А. Мехрабиана и Н. Эпштейна также находится на низком уровне (12–36 баллов). Средний показатель уровня сопереживания находился в пределах средних значений для популяции (32–51 балл). Средний уровень алекситимии соответствовал показателям популяции здоровых людей. В то же время, как видно из данных таблицы, у разных участников исследования психологические показатели значительно различались, что предоставляло возможность выявления их взаимосвязей с показателями реактивности ЭЭГ с помощью корреляционного анализа.

Результаты корреляционного анализа взаимосвязей психологических характеристик участников исследования и ИР ЭЭГ при восприятии ключевых фрагментов речевых сообщений представлены в таблице 2. Из таблицы видно, что показатели вербального и одной из шкал невербального интеллекта (субтест «Шифровка») значимо коррелировали с ИР ЭЭГ при восприятии фразы «Я поднимаю руки». При этом, чем выше были показатели интеллекта, тем сильнее подавлялась амплитуда мю-ритма ЭЭГ в центральных отведениях.

Таблица 1.
Значения показателей психологического тестирования группы испытуемых (баллы)

Психологическая переменная	Среднее значение и его ошибка	Минимальное значение	Максимальное значение
Вербальный интеллект	114,9±1,8	96,0	128,0
Невербальный интеллект	108,9±2,3	85,0	125,0
Общий интеллект	113,2±1,8	94,0	127,0
Общий уровень эмпатии	19,5±1,0	12,0	29,0
Рациональный канал эмпатии	3,0±0,3	1,0	5,0
Эмоциональный канал эмпатии	3,0±0,4	0,0	6,0
Интуитивный канал эмпатии	2,6±0,3	0,0	5,0
Установки, способствующие эмпатии	3,8±0,2	2,0	6,0
Проникающая способность эмпатии	3,7±0,3	0,0	6,0
Идентификация в эмпатии	3,5±0,3	1,0	6,0
Эмпатические тенденции	24,5	13,0	32,0
Сопереживание	40,1	13,0	59,0
Алекситимия	62,6	36,0	93,0

Таблица 2.
Взаимосвязь показателей психологического тестирования и индексов реактивности (ИР) ЭЭГ при восприятии фрагментов речевого сообщения

Коррелирующие показатели	Коэффициент корреляции, r	Уровень значимости, P
Вербальный интеллект & ИР «Я поднимаю руки», С4	-0,447	0,025
Субтест «Шифровка» & ИР «Я поднимаю руки», С3	-0,456	0,022
Субтест «Шифровка» & ИР «Я поднимаю руки», С4	-0,542	0,005
Эмоциональный канал эмпатии & ИР «Я оббегаю руки», С3	-0,408	0,043
Эмпатические тенденции & ИР «Я оббегаю руки», С3	-0,481	0,015
Эмпатические тенденции & ИР «Я оббегаю руки», С4	-0,512	0,009
Сопереживание & ИР «Я оббегаю руки», С3	-0,433	0,031
Сопереживание & ИР «Я оббегаю руки», С4	-0,420	0,037

Таким образом, испытуемые с наиболее высокими показателями интеллекта демонстрировали наибольшую активацию ЗСМ при восприятии правильной фразы. В то же время, корреляционный анализ показал, что при восприятии абсурдной фразы «Я оббегаю руки» наибольшая десинхронизация в центральных областях неокортекса выявлена у испытуемых с высокими показателями различных измерений эмпатии (эмоционального канала эмпатии, эмпатических тенденций, сопереживания). Другими словами, в этом случае при переработке словесной информации у них отмечался наименьший прирост амплитуды мю-ритма. С осторожностью интерпретируя полученные результаты, можно предположить, что люди с высоким уровнем эмпатии, т.е. с хорошим развитием эмоционального интеллекта, легче и быстрее осознавали абсурдность указанного словосочетания.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Наблюдение за движениями руки с компьютерной мышью на экране монитора и самостоятельное выполнение подобных движений сопровождалось у испытуемых снижением мощности мю- и тау-ритмов ЭЭГ в центральных и височных корковых регионах. Наличие такой реакции при наблюдении за движениями позволяет предположить, что определенный вклад в динамику активности неокортекса в данной ситуации вносит активация нейронов ЗСМ.
2. Предъявление участникам исследований речевых высказываний сопровождалось изменением амплитуды ЭЭГ, в том числе и в диапазоне альфа-ритма. Наиболее выраженные изменения ЭЭГ развивались через 0,3–0,5 с после окончания ключевых слов. Переработка информации при восприятии фразы «Я поднимаю руки и голову поднимаю» у большинства испытуемых отражалась в десинхронизации указанного ритма.
3. Восприятие абсурдного словосочетания «Я оббегаю руки и голову оббегаю» чаще сопровождалось усилением осцилляций ЭЭГ в диапазоне альфа-ритма. Восприятие такого словосочетания, включающее осознание его противоречия здравому смыслу, по всей видимости, требовало наибольшего напряжения процессов памяти с попыткой активного торможения иррелевантной информации. Совокупность таких процессов и приводила к росту амплитуды мю- и тау-ритмов в центральных и височных областях неокортекса.
4. Испытуемые с наиболее высокими показателями интеллекта демонстрировали наибольшую активацию ЗСМ при восприятии правильной фразы. В то же время, при восприятии абсурдной фразы наибольшая десинхронизация в центральных областях неокортекса выявлена у испытуемых с высокими показателями различных измерений эмпатии. Можно предположить, что люди с высоким уровнем эмпатии, т.е. с хорошим развитием эмоционального интеллекта, легче и быстрее осознавали абсурдность указанного словосочетания.
5. Полученные результаты рассматриваются как свидетельство участия ЗСМ в восприятии и осознании речевых сообщений, описывающих физические действия человека.

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

Список литературы

1. Лебедева Н. Н. Система зеркальных нейронов мозга: ключ к обучению, формированию личности и пониманию чужого сознания / Н. Н. Лебедева, А. И. Зуфман, В. Ю. Мальцев // Успехи физиологических наук. – 2017. – Т. 48, Вып. 4. – С. 16–28.
2. Pulvermüller F. Neural reuse of action perception circuits for language, concepts and communication / Pulvermüller F. // Prog Neurobiol. – 2018. – Vol. 160. – P. 1–44.
3. Arbib M. A. From monkey-like action recognition to human language: An evolutionary framework for neurolinguistics / Arbib M. A. // Behavioral and Brain Sciences. – 2015. – Vol. 28. – P. 105–124.
4. Начарова М. А. Нейрофизиологические механизмы восприятия речи и их особенности у детей в норме и при нарушениях развития / М. А. Начарова, А. А. Михайлова, Я. Ю. Говорун, А. А. Португальская, В. Б. Павленко // Ученые записки Крымского федерального университета имени В.И. Вернадского. Биология. Химия. – 2020. – Т. 6, Вып. 3. – С. 146–162.
5. Lam N. H. Neural activity during sentence processing as reflected in theta, alpha, beta, and gamma oscillations / N. H. Lam, J. Schoffelen, J. Uddén, A. Hultén, P. Nagoort // NeuroImage. – 2016. – Vol. 142. – P. 43–54.
6. Mai G. Delta, theta, beta, and gamma brain oscillations index levels of auditory sentence processing / G. Mai, J. W. Minett, W. S. Wang // NeuroImage. – 2016. – Vol. 133. – P. 516–528.
7. Махин С. А. Исследование реактивности мю-ритма при наблюдении, слуховом восприятии и имитации движений: взаимосвязь со свойствами личности, определяющими эмпатию / С. А. Махин, А. А. Макаричева, Н. В. Луцок, В. Б. Павленко // Физиология человека. – 2015. – Т. 41, Вып. 6. – С. 28–35.
8. Бродский И. Собрание сочинений: [в 4-х т.] / Под. ред. В. Марамзина. / Бродский И. – Л.: Самиздат, 1972.
9. Филипский Ю. К. Сравнительный анализ частотно-временных методов обработки сигналов / Ю. К. Филипский, А. Р. Агаджанян // Труды Одесского политехнического университета. – 2009. – Вып. 1 (33), 2 (34). – С. 175–179.
10. Филимоненко Ю. Руководство к методике исследования интеллекта для взрослых Д. Векслера (WAIS) / Ю. Филимоненко, В. Тимофеев. – СПб.: ГП "ИМАТОН". – 1995. – 93 с.
11. World Medical Association Declaration of Helsinki: ethical principles for medical research involving human subjects. – JAMA. – 2013. – Vol. 310, No 20. – P. 2191–2194.
12. Bazanova O. M. Interpreting EEG alpha activity / O. M. Bazanova, D. Vernon // Neurosci. Biobehav. Rev. – 2014. – Vol. 44 – P. 94–110.
13. Аликина М. А. Амплитудно-частотные, топографические, возрастные особенности и функциональное значение сенсомоторного ритма ЭЭГ / М. А. Аликина, С. А. Махин, В. Б. Павленко // Ученые записки Крымского федерального университета имени В. И. Вернадского. Биология. Химия. – 2016. – Т. 2 (68), Вып. 2. – С. 3–24.
14. Saltuklaroglu T. EEG mu rhythms: rich sources of sensorimotor information in speech processing / T. Saltuklaroglu, A. Bowers, A. W. Harkrider, D. Casenhiser, K. J. Reilly, D. E. Jenson, D. Thornton // Brain Lang. – 2018. – Vol. 187. – P. 41–61.
15. Moreno I. Brain dynamics in the comprehension of action-related language: a time frequency analysis of mu rhythms / I. Moreno, M. De Vega, I. León, MCM Bastiaansen, A. Glen Lewis, L. Magyari // NeuroImage. – 2015. – Vol. 109. – P. 50–62.
16. Bidet-Ildei C. A review of literature on the link between action observation and action language: advancing a shared semantic theory / C. Bidet-Ildei, S.-A. Beauprez, A. Badets // New Ideas in Psychology. – 2020. – Vol. 58. – PP.100777. DOI: 10.1016/j.newideapsych.2019.100777.
17. Jenson D. Influences of Cognitive Load on Sensorimotor Contributions to Working Memory: An EEG investigation of mu rhythm activity during speech discrimination / D. Jenson, D. Thornton, A. W. Harkrider, T. Saltuklaroglu // Neurobiology of Learning and Memory. – 2019. – Vol. 166. – DOI:10.1016/j.nlm.2019.107098.

18. Meyer L. Left parietal alpha enhancement during working memory-intensive sentence processing / L. Meyer, J. Obleser, A. D. Friederici // *Cortex*. – 2013. – Vol. 49, No 3. – P. 711–721.
19. Schneider J. M. Developmental differences in the neural oscillations underlying auditory sentence processing in children and adults / J. M. Schneider, A. D. Abel, D. A. Ogiela, C. McCord, M. J. Maguire // *Brain Lang.* – 2018. – Vol. 186. – P. 17–25.

THE ACTIVITY OF THE MIRROR SYSTEM OF THE BRAIN DURING THE PERCEPTION OF SPEECH AND ITS RELATIONSHIP WITH THE LEVEL OF INTELLIGENCE AND EMPATHY

Portugalskaia A. A., Levenchik G. Ja., Pavlenko V. B.

*V. I. Vernadsky Crimean Federal University, Simferopol, Crimea, Russian Federation
E-mail: a.portugalskaya@gmail.com*

Previously, researchers hypothesized that the emergence of a system of mirror neurons (MNS) in the process of evolution could be a key mechanism that ensured the appearance of speech in humans. The aim of this work was to establish a relationship between the activity of the MNS in the perception of speech messages, indicators of intelligence and empathy. 25 healthy men and women (18–35 years old) were test subjects. We found that when observing hand movements with a computer mouse on a monitor screen and performing such movements independently, the power of EEG mu- and tau rhythms in the central and temporal cortical regions decreased in subjects. Based on this, we consider it probable that a certain contribution to the dynamics of neocortex activity in this situation is made by the activation of neurons in the MNS.

Upon presentation of speech utterances to the research participants, the EEG amplitude changed, including in the range of the alpha rhythm. The most pronounced EEG changes developed 0.3–0.5 s after the end of the keywords. The processing of information during the perception of the phrase “I raise my hands and raise my head” in most of the subjects was reflected in the desynchronization of the indicated rhythm. The perception of the absurd phrase “I run around my hands and run around my head” was often accompanied by an increase in EEG oscillations in the range of the alpha rhythm. The perception of such a phrase, including the awareness of its contradiction to common sense, apparently caused stress in memory processes with an attempt to actively inhibit irrelevant information. These processes probably led to an increase in the amplitude of mu and tau rhythms in the central and temporal regions of the neocortex.

The subjects with the highest IQs showed the greatest activation of the mu-rhythm when perceiving the correct phrase. When an absurd phrase was perceived, the greatest desynchronization in the central regions of the neocortex developed in subjects with high indices of various dimensions of empathy. Probably people with a high level of empathy, i.e. with a good development of emotional intelligence, they more easily and quickly realized the absurdity of the specified phrase. We consider the obtained results as evidence of the participation of MNS in the perception and awareness of speech messages describing a person's physical actions.

Keywords: mirror neurons, electroencephalogram, speech, intelligence, empathy.

References

1. Lebedeva N. N., Zuhpman A. I., Maltsev V. Yu. Mirror Neuron System as a Key to Learning, Personality Formation and Understanding of Another's Mind, *Uspehi fiziologicheskikh nauk*, **48**, 16 (2017).
2. Pulvermüller F. Neural reuse of action perception circuits for language, concepts and communication. *Prog Neurobiol*, **160**, 1 (2018).
3. Arbib M. A. From monkey-like action recognition to human language: An evolutionary framework for neurolinguistics. *Behavioral and Brain Sciences*, **28**, 105 (2015).
4. Nacharova M. A., Mikhailova A. A., Govorun Ya. Yu., Portugalskaia A. A., Pavlenko V. B. Neurophysiological mechanisms of speech perception and their peculiarities in healthy children and children with developmental disorders, *Scientific Notes of V. I. Vernadsky Crimean Federal University. Biology. Chemistry*, **6**, 146 (2020).
5. Lam N. H., Schoffelen J., Uddén J., Hultén A., Hagoort P. Neural activity during sentence processing as reflected in theta, alpha, beta, and gamma oscillations, *NeuroImage*. **142**, 43 (2016).
6. Mai G., Minett J. W., Wang W. S. Delta, theta, beta, and gamma brain oscillations index levels of auditory sentence processing. *NeuroImage*, **133**, 516 (2016).
7. Makhin S. A., Makaricheva A. A., Lutsuk N. V., and Pavlenko V. B. Study of the reactivity of the μ rhythm during observation, auditory perception, and movement imitation: Correlation with empathic ability, *Human Physiology*, **41**, 593 (2015).
8. Brodsky I. *Collected works: [in 4 volumes]*, (Samizdat, 1972).
9. Filipovsky Yu. K., Aghajanyan A. R. Comparative analysis of time-frequency methods of signal processing, *Proceedings of the Odessa Polytechnic University*, **1(33)-2(34)**, 175 (2009).
10. Filimonenko Y., Timofeev V. *Guide to the method of research of intelligence for adults D. Veksler (WAIS)*, 93 p. (SPb.: SE "IMATON", 1995)
11. *World Medical Association Declaration of Helsinki: ethical principles for medical research involving human subjects*, *JAMA*, **310**, 2191 (2013).
12. Bazanova O.M., Vernon D. Interpreting EEG alpha activity, *Neurosci. Biobehav. Rev.*, **44**, 94 (2014).
13. Alikina M. A., Makhin S. A., Pavlenko V. B. EEG sensorimotor rhythm: amplitude, frequency, topography, age-dependency and functional meaning. *Scientific Notes of V.I. Vernadsky Crimean Federal University. Biology. Chemistry*, **2**, 3 (2016).
14. Saltuklaroglu T., Bowers A., Harkrider A.W., Casenhiser D., Reilly K. J., Jenson D. E., Thornton D. EEG μ rhythms: rich sources of sensorimotor information in speech processing, *Brain Lang*, **187**, 41 (2018).
15. Moreno I., De Vega M., León I., Bastiaansen MCM., Glen Lewis A., & Magyari L. Brain dynamics in the comprehension of action-related language: a time frequency analysis of μ rhythms, *NeuroImage*, **109**, 50 (2015).
16. Bidet-Ildei C., Beauprez S.-A., Badets A. A review of literature on the link between action observation and action language: advancing a shared semantic theory, *New Ideas in Psychology*, **58**, 100777 (2020). DOI: 10.1016/j.newideapsych.2019.100777.
17. Jenson D., Thornton D., Harkrider A. W., Saltuklaroglu T. Influences of Cognitive Load on Sensorimotor Contributions to Working Memory: An EEG investigation of μ rhythm activity during speech discrimination, *Neurobiology of Learning and Memory*. **166** (2019). DOI:10.1016/j.nlm.2019.107098.
18. Meyer L., Obleser J., Friederici A. D. Left parietal alpha enhancement during working memory-intensive sentence processing, *Cortex*, **49**, 711 (2013).
19. Schneider J. M., Abel A. D., Ogiela D. A., McCord C., Maguire M. J. Developmental differences in the neural oscillations underlying auditory sentence processing in children and adults, *Brain Lang*, **186**, 17 (2018).

УДК 581.93:502.72(292.471)

ФЕРМЕНТАТИВНАЯ АКТИВНОСТЬ ПОЧВ С УЧЕТОМ СЕЗОННОЙ ДИНАМИКИ В ПРЕДГОРНОЙ ЗОНЕ КРЫМА

Славинская А. В.^{1,2}, Ивашов А. В.¹, Кобечинская В. Г.¹, Громенко В. М.¹,
Якубовская А. И.², Каменева И. А.², Гритчин М. В.²

¹Таврическая академия (структурное подразделение) ФГАОУ ВО «Крымский Федеральный университет им. В. И. Вернадского», Симферополь, Республика Крым, Россия

²Федеральное государственное бюджетное учреждение науки «Научно-исследовательский институт сельского хозяйства Крыма», Симферополь, Республика Крым, Россия
E-mail: alina.slav.98@mail.ru

Выполнено исследование биологической активности почв предгорного Крыма, что позволило выявить сезонную динамику ряда ферментов: каталазы, пероксидазы и полифенолоксидазы, которые принимают участие в образовании гумуса и подвижных соединений, необходимых для питания растений. Установлено, что антропогенные факторы оказывают сильное воздействие на эти параметры, замедляя процессы гумификации. Наиболее высокие показатели по содержанию данных ферментов установлены в почвах старовозрастных листовых лесополос, самые низкие отмечены на сельхозугодьях (пашня), сосновые лесополосы и целинная степь занимают промежуточное положение. Следует отметить, что сезонная динамика накопления этих ферментов в почвах пробных площадей имеет также свою специфику, на которую оказывают влияние как абиотические факторы (влагообеспеченность и температурный режим), так и интенсивность воздействия на них техногенных факторов, которые замедляют микробиологическую и ферментативную активность почвенного покрова.

Ключевые слова: почвы, физико-химические показатели, активность ферментов, каталаза, пероксидаза, полифенолоксидаза, предгорный Крым.

ВВЕДЕНИЕ

Почвенная энзимология изучает широкий круг вопросов: природу биокаталитической способности почвы, происхождение, локализацию, состояние, состав и активность ферментов в ней; участие их в трансформации высокомолекулярных органических веществ, в образовании гумуса и подвижных соединений, необходимых для питания растений. Следовательно, выявление взаимоотношений компонентов в системе почва-ферменты-микроорганизмы-растение (корни) позволяют раскрыть роль ферментов при мониторинге функционирования почвы как центрального звена наземных экосистем.

Показатели ферментативной активности почв широко применяются в почвенно-генетических исследованиях, а также при решении прикладных задач, связанных с плодородием, оценкой эффективности агротехнологий и интенсивности воздействия на почвенный покров техногенных факторов. Интенсивность гумификационных процессов в значительной степени зависит от уровня антропогенной нагрузки [1–3]. Важна также возможность оценки прошлой

биохимической активности микроорганизмов в связи с тем, что выделяемые ими ферменты способны иммобилизоваться и накапливаться в почве в активном состоянии и, при создании соответствующих условий, проявлять специфические биокаталитические функции. Вышеуказанная проблематика обусловила выбор темы исследования и ее актуальность.

К настоящему времени в почве тестированы на наличие активности около 60 ферментов (известно более 2500 ферментов) и разработаны методы определения их активности [4].

Задачами данного исследования было выявить уровень ферментативной активности почв на четырех пробных площадях с разным уровнем антропогенного воздействия на них, а так же установить особенности ферментативной активности почв на этих участках с учетом сезонной динамики, что выполнено впервые для данного региона.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В качестве объектов исследования были взяты старовозрастные лесополосы разных пород: участок № 1 – хвойной и участок № 2 – лиственной, сельхозугодия – № 3 (пашня, с произрастающей здесь озимой пшеницей) и как контрольный – участок № 4 с ненарушенным почвенным профилем (слабо косиная целинная степь) (рис. 1).



Рис. 1. Места взятия почвенных проб вблизи г Симферополя [5].

Благодаря тому, что пробы с учетных площадей брались в сезонной динамике, это позволило проследить переменные параметры ферментативной активности. Пробы брались в трехкратной повторности. Площадки располагались в предгорной части полуострова в 7–8 км к северо-востоку от г. Симферополь (табл. 1.).

Таблица 1

Общая характеристика пробных площадей с размерами

№ п/п	Пробная площадь	Размеры
1	Хвойная лесополоса из сосны крымской	1,24 га
2	Лиственная лесополоса из гледичии	2,2 га
3	Пашня (озимая пшеница)	49,4 га
4	Целинная степь (слабо косимая)	13,0 га

Высота месторасположения пробных участков – около 180–190 м над уровнем моря. Гледичиевая лесополоса – № 2 расположена поперек нижней части склона, разграничивая поле озимой пшеницы – № 3 от косимой целинной степи. Сосновая лесополоса – № 1 простирается вдоль склона, соприкасаясь с гледичиевой полосой в её срединной части. Отбор проб производился зимой – в феврале, летом – в июле и осенью – в ноябре, (утром с 8:00 до 11:00 ч.), т.к. ферментативная активность динамична как по сезонам года, так и времени суток. Это связано с изменением температуры и влажности почвы. Пробы отбирались с разной глубины почвенного разреза – горизонт А – 0–10 см и горизонт В – 10–20 см со всех участков.

Почвенные образцы отбирались согласно требованиям, которые предъявляются к почвенно-микробиологическим исследованиям [6]. Предварительно делали подробные записи в дневнике с указанием района исследований, описанием выбранного места закладки разреза, участка или опытного поля (рельеф, растительность, предшествующие культуры, агротехника, внесение удобрений) с подробной характеристикой почвенного покрова и его разреза. При изучении ферментативной активности под различной растительностью образцы почвы нужно брать из зоны ризосферы и вне ризосферы по фазам развития растений. Следует учесть, что в целинных почвах и под многолетними травами максимальная ферментативная активность обнаруживается в слое 0–5 или 0–7 см, с глубиной она сильно уменьшается. После каждой делянки орудия взятия образцов (лопата, бур, нож) тщательно очищаются. Образцы до исследования в лаборатории хранят в холодильнике при 4 °С, при этих условиях ферментативная активность проб изменяется незначительно. Свежие образцы помещают в полиэтиленовые мешки или герметически закрытые сосуды. Эффективно хранение почв и в замороженном состоянии [4]. Перед анализами почву тщательно очищают от корней растений и других растительных остатков, камней и прочих включений. В свежих образцах почв необходимо разрушать структурные агрегаты, так как ферменты, находящиеся внутри водонепроницаемых агрегатов, не смогут реагировать с субстратом. Для этого

навеску почвы увлажняют небольшой аликвотой применяемого при анализе буферного раствора и растирают до пастообразного состояния резиновым пестиком. При взятии навески почвы нужно брать среднюю пробу, поскольку микроагрегаты характеризуются более высокой активностью, чем макроагрегаты. Ферментативную активность определяют в нескольких повторностях.

Для определения каталазной активности почвы была использована модификация метода А. Ш. Галстяна [7]. Активность пероксидазы (ПО) и полифенолоксидазы (ПФО) определяли по методу А. О. Грицаенко, В. П. Карпенко [8]. При вычислении окончательных результатов проводилась статистическая обработка данных [9].

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Анализ полученных результатов выявил, что ферментативная активность почв пробных площадей с учетом антропогенного воздействия на них в сезонной динамике существенно отличается. На биологическую активность почв большое влияние оказывают температура и влажность [10, 11]. Гидротермические условия почв при отборе с участков № 1 и № 2 значительно отличаются, т.к. они находятся под пологом деревьев, особенно в горизонте А, а участки № 3 и 4 – открытая местность, слабо затененная травянистой растительностью.

Наименьшая ферментативная активность на этих пробных участках, отмечена в зимний период (рис. 2, рис. 3), что согласуется с данными исследователей из иных регионов страны [12, 13 и др.]. При отрицательных значениях температуры активность ферментов практически не проявляется. По нашим материалам в зимний период наиболее высокая ферментативная активность почв по каталазе выявлена в гледичиевой лесополосе ($6,13 \pm 0,07$ см³О₂/г почвы), по пероксидазе (1,84 мг/ кг почвы) и полифенолоксидазе (1,4 мг/100 г почвы) – в сосновой лесополосе. Представляет интерес проведение более детального анализа распределения каталазы в почвенных образцах по горизонтам. В верхнем слое (0–10 см) в целинной степи (рис. 2), благодаря открытому пространству с сильными ветровыми потоками и очень слабой дерниной, которая здесь сохранилась фрагментарно из-за периодического сенокосения, происходит более глубокое промерзание почвы. Поэтому содержание фермента каталазы низкое – 4,30 см³/г, с глубиной снижаясь до 0,90 см³/г по сравнению с образцами, взятыми в лесополосах (уч. № 1 – 5,27 см³/г и уч. № 2 – 5,77 см³/г). Самые высокие величины каталазы выявлены на глубине 10–20 см в лиственной лесополосе (рис. 3) – уч. № 2 (6,13 см³/г), что обусловлено мощным лиственным опадом, сохраняющимся здесь до следующего сезона и обеспечивающего более благоприятный термический режим почв под пологом. В убывающем порядке следует участок № 3 – 6,00 см³/г.

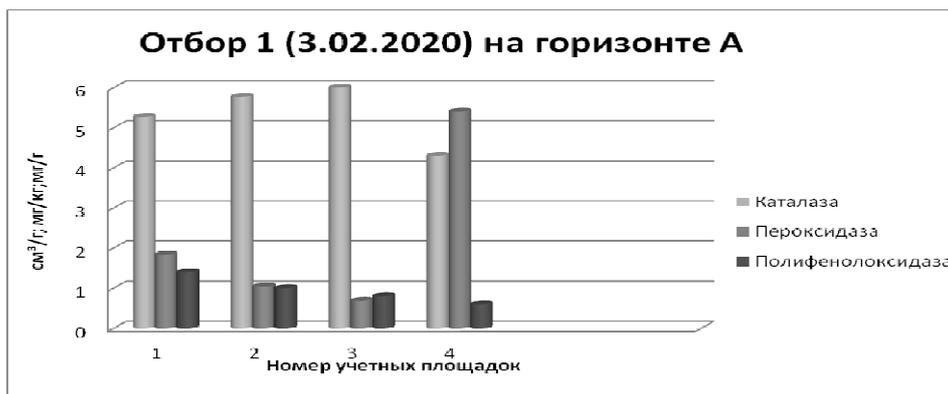


Рис. 2. Активность каталазы, пероксидазы, полифенолоксидазы в предгорной зоне Крыма в зимний период (2020 г).

Несколько иная динамика распределения, в образцах, фермента пероксидазы. Здесь на первом месте по показателям в верхнем горизонте (рис. 2) следует целинная степь – 5,40 мг/ кг, далее сосновая лесополоса (уч.1 – 1,84 мг/ кг), самые низкие показатели в гледичиевой лиственной лесополосе (уч № 2) по всему профилю (в горизонте А – 1,04 мг/ кг и в горизонте В – 1,12 мг/ кг). Наименьшие значения этого фермента выявлены на участке целинная степь и пашня (с глубиной залегания больше 10 см) (рис. 3) 0,50 мг/ кг и 0,69 мг/ кг соответственно. Показатели полифенолоксидазы не отличаются сильной вариабельностью по всем участкам в зимний период, показывая сходные низкие значения.



Рис. 3. Активность каталазы, пероксидазы, полифенолоксидазы в предгорной зоне Крыма в зимний период (2020 г).

Напротив, в летний и наиболее жаркий месяц – июль при не экстремальных значениях температур в период отбора проб (температура – +26⁰ С и влажность – 57 %), динамика иная. По ферменту каталаза она сохраняется и летом по всем

участкам, а по пероксидазе наиболее значительный показатель (рис. 4) выявлен под лиственной лесополосой (уч. № 2) – 7,54 мг/ кг почвы. Значит, для формирования данного фермента ограничивающим фактором выступает влажность и температура нагрева поверхности почвенного покрова. Для полифенолоксидазы в летний сезон (рис. 4, рис. 5), на всех участках, величины очень близки (9,4–10,6 мг/100 г почвы), поэтому на образование данного фермента в меньшей степени влияют климатические абиотические факторы, хотя именно в этот период она образуется наиболее активно по почвенному профилю.



Рис. 4. Активность каталазы, пероксидазы, полифенолоксидазы в предгорной зоне Крыма в летний период (2020 г).



Рис. 5. Активность каталазы, пероксидазы, полифенолоксидазы в предгорной зоне Крыма в летний период (2020 г).

В конце осени образование данного фермента, по нашим данным, резко замедляется почти в 3 раза (рис. 6, рис. 7). Каталазная активность всех почвенных образцов в осенний период находится в близком диапазоне от 5,53 до 7,37 см³/г. Минимальное значение (рис. 6) (5,53 см³/г) отмечено на участке № 1 в сосновой лесополосе, а максимальное (7,37 см³/г) – гледичиевой. Промежуточное положение

заняли целинная степь и пашня со значениями 6,27 см³/г и 6,20 см³/г соответственно. Участок гледичиевой лосополосы очень интересен тем, что на нем помимо максимального значения каталазной активности, в этот период года, отмечается и максимальная пероксидазная активность (75,04 см³/г) (рис. 6). Такие значительные биохимические показатели, резко выделяющиеся на фоне остальных пробных участков, свидетельствуют о наиболее высокой интенсивности процессов гумификации – одной из важнейших экологических функций почвы, имеющей значение для поддержания ее плодородия [14]. Все показатели полифенолоксидазы в верхнем горизонте (рис. 6) близки по участкам – 3,0–3,6 мл/г, но на фоне очень высокой пероксидазной активности под гледичиевой лесополосой, обращает на себя внимание снижение величины полифенолоксидазы – 2,2 мл/г в нижнем горизонте (рис. 7). Допускаем, что резкая активизация образования одного фермента, замедляет процессы формирования другого, но это предположение требует дополнительных исследований, что мы и планируем в дальнейшем.



Рис. 6. Активность каталазы, пероксидазы, полифенолоксидазы в предгорной зоне Крыма в позднесенний период (2020 г).



Рис. 7. Активность каталазы, пероксидазы, полифенолоксидазы в предгорной зоне Крыма в позднесенний период (2020 г).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Исследования по изучению ряда ферментов почв: каталазы, пероксидазы и полифенолосидазы, выполненные на пробных участках, отличающихся разной величиной антропогенного воздействия на них в предгорной зоне Крыма, позволили установить ряд закономерностей, как выявляющих сезонную динамику их образования и распада в течение года, так и значительную вариабельность их формирования. Выбор их в качестве объектов обусловлен тем, что данные ферменты являются ведущими индикаторами активности почвообразовательных процессов. Контрастность почв объектов исследования: лесополос – хвойной и лиственной, пашни и целинной степи без нарушения почвенного покрова, позволили установить как их биокаталитическую активность, так и сопряженную динамику образования и разрушения ферментов в течение года. В зимний период с учетом температурного режима, наиболее высокие показатели из изученных ферментов выявляет каталаза, для полифенолосидазы эти величины минимальны. Наиболее высокие, в это время, значения пероксидазы именно в ненарушенном почвенном покрове (уч. № 4 – целинная степь). В летний период наибольшую активность проявляет формирующаяся полифенолосидаза, резко активизирующая почвообразовательные процессы при достаточно высоких температурах и низкой влагообеспеченности. В позднесенний период интенсивность образования ферментов резко снижается, за исключением пероксидазы и каталазы на участке лесополосы из гледичии, а по показателям полифенолосидазы лидирует участок с открытой местностью – степь. Возможно, данная динамика обусловлена значительным поступлением элементов питания в почву при образовании листового опада и его активной минерализации почвенной микрофлорой, что резко и активизирует данные процессы.

Список литературы

1. Boyd S. A. Enzyme interactions with clays and clay-organic matter complexes / S. A. Boyd, M. M. Mortland // *Soil Biochemistry*. – New York: Marcel Dekker, 1990 – P. 1–28.
2. Bandick A. K. Field management effects on soil enzyme activities / A. K. Bandick, R. P. Dick // *Soil Biol. Biochem.* – 1999 – Vol. 31, № 11 – P. 1471–1479.
3. Caldwell B. A. Enzyme activities as a component of soil biodiversity: A review / B. A. Caldwell // *Pedobiologia*. – 2005 – Vol. 49 – P. 637–644.
4. Хазиев Ф. Х. Методы почвенной энзимологии / Ф. Х. Хазиев. – М.: Наука, 1990. – 189 с.
5. Яндекс карты URL <https://yandex.ru/maps> (Дата обращения 14.11.20)
6. Звягинцев Д. Г. Методы почвенной микробиологии и биохимии: учеб. пособие для почв. и агрохим. спец. ун-тов и с.-х. вузов / Звягинцев Д. Г., Асеева И. В., Бабьева И. П., Мирчинк Т. Г., Под ред. Звягинцева Д. Г. – М.: МГУ, 1980. – 224 с.
7. Галстян А. Ш. Определение активности ферментов почв / А. Ш. Галстян // *Почвоведение*. – 1978. – № 2. – С. 50–55.
8. Грицаенко З. М. Методи біологічних та агрохімічних досліджень рослин та ґрунтів / З. М. Грицаенко, А. О. Грицаенко, В. П. Карпенко – Киев: Нічлава, 2003. – 320 с.
9. Лакин Г. Ф. Биометрия. / Г. Ф. Лакин – М.: Высшая школа, 1978. – 343 с.
10. Хазиев Ф. Х. Системно-экологический анализ ферментативной активности почв / Ф. Х. Хазиев – М.: Наука, 1982. – 204 с.

11. Казеев К. Ш. Биogeография и биодиагностика почв юга России / Казеев К. Ш., Даденко Е. В., Денисова Т. В., Везденеева Л. С., Колесников С. И., Вальков В. Ф., Под ред. Казеева К. Ш. – Ростов-на-Дону: Ростиздат, 2007. – 226 с.
12. Козунь Ю. С. Влияние теневого эффекта Кавказа на биологическую активность почв / Ю. С. Козунь, К. Ш. Казеев, С. И. Колесников // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. – 2013. – №3. – С. 439–456.
13. Богдевич И. М. Агрохимическая характеристика почв сельскохозяйственных земель Республики Беларусь (2007–2010). / Богдевич И. М. – Минск: Ин-т почвоведения и агрохимии, 2012. – 276 с.
14. Лапа В. В. Ферментативная активность дерново-подзолистых почв при разных уровнях применения удобрений / Лапа В. В. // Доклады нан Беларуси. – 2005. – №5. – С. 139–145.

ENZYMATIC ACTIVITY OF SOILS TAKING INTO ACCOUNT SEASONAL DYNAMICS IN THE FOOTHILL ZONE OF THE CRIMEA

*Slavinskaya A. V.^{1,2}, Ivanov A. V.¹, Kobechinskaya V. G.¹, Gromenko V. M.¹,
Yakubovskaya A. I.², Kameneva I. A.², Gritchin M. V.²*

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

²FSBSI «Research Institute of Agriculture of Crimea», Simferopol, Crimea, Russian Federation

E-mail: alina.slav.98@mail.ru

The soils of the Crimea are very diverse in their structure and physical and chemical characteristics, have different levels of fertility and form the land resources of the peninsula. Their fertility is affected by many factors, especially the biological activity of the soil. This is due to microbiocenosis, as the most sensitive component of the soil ecosystem. The soil is affected by many factors, including anthropogenic ones, which can affect the balance of its component composition.

Under the enzymatic activity is understood such a characteristic of the soil, which is formed due to the combination of the processes of receipt of enzymes from living organisms, stabilization and, subsequently, their activation in the soil. Due to the action of these enzymes, the nutrients bound in organic residues are transferred to a state that is biologically accessible to plants and microorganisms, and low-molecular-weight organic compounds are formed. The increase in enzymatic activity is usually accompanied by an increase in the total number of microorganisms, especially those groups that are adapted to the production of the corresponding enzymes. Soil enzymes exhibit extraordinary resistance to adverse conditions.

Methods of enzymologist, indicators of the enzymatic activity of soils are widely used in soil genetic studies. Thus in the territory of the foothill Crimea, 4 sites were identified for soil research: test site (TS) № 1 – pine forest belt, TS № 2 – gleditschia forest belt, TS № 3 – field, TS № 4 – steppe. Due to the fact that samples from the registered areas were taken in seasonal dynamics, this allowed us to trace the variable parameters of enzymatic activity. Samples were taken in three-fold repetition. The sites were located in the foothill part of the peninsula, 7–8 km north-east of Simferopol. The height of the location of the test sites is about 180–190 m above sea level.

The aim of this work was to study the features of the enzymatic activity of the soils of the Simferopol district. Sampling was carried out in winter-in February, in summer-in July and in autumn-in November (in the morning from 8:00 to 11:00 am), because the enzymatic activity is dynamic both by season and time of day. Samples were taken from different depths of the soil section-horizon A 0–10 cm and horizon B 10–20 cm from all sites. They were studied in the laboratory by physico-chemical methods with subsequent statistical processing.

Studies on a number of soil enzymes: catalases, peroxidases, and polyphenoloxidases, performed on test sites, differ in the amount of anthropogenic impact on them in the foothill zone of the Crimea. The choice of objects is due to the fact that these enzymes are the leading indicators of the activity of soil-forming processes. The contrast of the soils of the objects of study: forest belts – coniferous and deciduous, arable land and virgin steppe without disturbing the soil cover, allowed us to establish both the biocatalytic activity of the soil on them, and the associated dynamics of their formation and destruction during the year.

In winter, taking into account the temperature regime, the highest values of the studied enzymes are revealed by catalase, for polyphenol oxidase these values are minimal. The highest values of peroxidase at this time are in the undisturbed soil cover (plot № 4 – virgin steppe).

In the summer, the most active is the emerging polyphenol oxidase, which sharply activates the soil-forming processes at sufficiently high temperatures and low moisture availability.

In the late-autumn period, the intensity of the formation of enzymes decreases sharply, with the exception of peroxidase and catalase in the area of the forest belt from *Gledichia*, and in terms of polyphenol oxidase, the area with open terrain – steppe-leads. It is possible that this dynamics is caused by a significant supply of nutrients to the soil during the formation of leaf litter and its active mineralization by soil microflora, which dramatically activates these processes.

Keywords: soils, physico-chemical parameters, enzyme activity, catalase, peroxidase, polyphenol oxidase, foothill Crimea.

References

1. Boyd, S.A. Enzyme interactions with clays and clay-organic matter complexes, *Soil Biochemistry*, 1 (New York: Marcel Dekker, 1990).
2. Bandick A. K, Dick R. P. Field management effects on soil enzyme activities, *Soil Biol. Biochem.*, **31**, 11, 1471 (1999).
3. Caldwell, B.A. Enzyme activities as a component of soil biodiversity: A review, *Pedobiologia*, **49**, 637 (2005).
4. Khaziev F. H. *Methods of soil enzymology*, 189 (M: Nauka, 1990).
5. Yandex Maps URL <https://yandex.ru/maps> (Accessed 14.11.20).
6. Zvyagintsev D. G., Aseeva I. V., Babeva I. P., Mirchink T. G., ed. Zvyagintseva D. G. *Methods of soil microbiology and biochemistry: textbook. manual for soils. and agrochem. spec. universities and agricultural universities*, 224(M: MSU, 1980).
7. Galstyan A. S. *Determination of the activity of soil enzymes*, **2**, 50 (1978).
8. Gritsayenko Z. M., Gritsayenko A. A., Karpenko V. P. Karpenko V. P. *Methods of biological and agrochemical research of plants and soils*, 320 (Kiev: Nichlava, 2003).

9. Lakin G. F. *Biometrics*, 343 (Higher School, 1978).
10. Khaziev F. Kh. *System-ecological analysis of the enzymatic activity of soils*, 204 (M.: Nauka, 1982).
11. Kazeev K. sh., Didenko E. V., Denisova T. V., Vedeneeva L. S., Kolesnikov S. I., Valkov V. F., ed. Kazeeva K. Sh. *Biogeography and biodiagnostics of soils in the South of Russia*, 226 (Rostov-on-Don: Rostizdat, 2007).
12. Kozun Yu. S., Kazeev K. Sh., Kolesnikov S. I. Influence of the shadow effect of the Caucasus on the biological activity of soils, *Polythematic network electronic scientific Journal of the Kuban State Agrarian University*, **3**, 439 (2013).
13. Bogdevich I. M. *Agrochemical characteristics of soils of agricultural lands of the Republic of Belarus (2007–2010)*, 276 (Minsk: Institute of Soil Science and Agrochemistry, 2012).
14. Lapa V. V. Enzymatic activity of sod-podzolic soils at different levels of fertilizer application, *Reports of the National Academy of Sciences of Belarus*, **5**, 139 (2005).

УДК 614.2: 615.9

**ОСОБЕННОСТИ МЕТАБОЛИЧЕСКИХ ИЗМЕНЕНИЙ В ПЕЧЕНИ
ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ЖИВОТНЫХ ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ СОЛЕЙ
КАДМИЯ**

*Смолянкин Д. А., Тимашева Г. В., Хуснутдинова Н. Ю., Зиатдинова М. М.,
Фазлыева А. С., Байгильдин С. С., Репина Э. Ф., Назарова Л. Ш., Каримов Д. Д.*

*ФБУН «Уфимский НИИ медицины труда и экологии человека», Уфа, Республика
Башкортостан, Россия
E-mail: smolyankin.denis@yandex.ru*

Увеличение антропогенного воздействия приводит к возрастающему загрязнению окружающей среды тяжелыми металлами, в том числе кадмием, который вызывает значительные метаболические изменения и повреждения биологических систем. В работе приведены результаты оценки функции печени у белых аутбредных крыс после 3-месячного перорального введения хлорида кадмия (CdCl_2) в различных дозах – 0,001 мг/кг, 0,01 мг/кг, 0,1 мг/кг. Показано, что воздействие металла привело к повышению активности аспаратаминотрансферазы и лактатдегидрогеназы в сыворотке крови лабораторных животных. Отмечено снижение уровня аланинаминотрансферазы и щелочной фосфатазы в сыворотке крови крыс, получавших соли кадмия в дозах 0,01 мг/кг и 0,1 мг/кг. Обнаружены изменения уровня общего белка, что подтверждает деструктивное воздействие CdCl_2 на гепатоциты. Полученные результаты характеризуют выраженное гепатотоксическое действие тяжелого металла, проявляющееся в нарушении метаболических процессов в печени.

Ключевые слова: экспериментальные животные, тяжелые металлы, кадмий, гепатотоксичность, биохимические маркеры, сыворотка крови.

ВВЕДЕНИЕ

Увеличение антропогенного воздействия приводит к возрастающему загрязнению окружающей среды геохимическими элементами, в том числе и тяжелыми металлами (ТМ). Накоплению различных загрязняющих веществ в атмосфере, почве и воде способствуют выбросы промышленных предприятий, бытовые и сельскохозяйственные отходы, в которые входят соединения, не имеющие природных разрушителей и обладающие токсическим действием на живые организмы [1]. Одним из наиболее распространенных представителей данной группы является кадмий.

Кадмий (Cd) обнаруживается на всех уровнях экосистемы [2, 3]. Тяжелый металл выделяется как из естественных источников (выщелачивание почв), так и в результате антропогенной деятельности (добыча полезных ископаемых, полиграфическая и фотографическая промышленность, плавка, гальваника, производство сплавов, батарей и пигментов) в водную и наземную среду [4]. Данный металл имеет исключительно длительный биологический период

полураспада, около 20–40 лет, что приводит к заметному накоплению в организме на протяжении всей жизни [5].

Кадмий (Cd) – это высокотоксичный поллютант, отравление которым происходит в результате потребления загрязненных пищевых продуктов и питьевой воды, вдыхания твердых частиц из окружающего воздуха, воздействия табачного дыма [6]. Кадмий и его соединения относятся к политропным ядам, вызывают значительные метаболические изменения и повреждения биологических систем [7], оказывают влияние на многие функции и системы организма, в том числе печень, почки и другие органы.

Как было показано в работе Klassen et al. [8], поглощение кадмия из желудочно-кишечного тракта является основным путем его попадания в организм человека. Печень является основным органом, который осуществляет процессы метаболизма токсикантов, а также выполняет синтетическую функцию для многих биохимических веществ, например белка, в организме [9]. Поэтому мониторинг активности печеночных ферментов может быть использован для определения закономерности и последовательности повреждения гепатоцитов тяжелыми металлами.

Принимая во внимание вышеизложенные факты, целью настоящего эксперимента явилась оценка метаболических изменений в печени белых аутбредных крыс после 3-месячного перорального введения хлорида кадмия в различных дозах.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Настоящее исследование выполнено на белых аутбредных крысах с массой тела 180–270 г, содержащихся в стандартных условиях экспериментальной клиники лабораторных животных ФБУН «УфНИИ медицины труда и экологии человека» при температуре воздуха 20–25 °С и уровне влажности 30–70 % с 12-часовым искусственным освещением (с 08:00 до 20:00 ч). Животные получали сухой сбалансированный корм «Чара» (ООО «МультиТорг», РФ) и воду в режиме *ad libitum*. Крыс, в количестве 40 особей, методом случайной выборки разделили на 4 группы по 10 животных (5 самцов и 5 самок) в каждой. Все манипуляции проводились с соблюдением правил, изложенных в «Европейской конвенции по защите позвоночных животных, используемых для экспериментальных и других научных целей» (Strasbourg, 1986).

Интрагастральный путь введения кадмия крысам является наиболее подходящим в долгосрочных экспериментах и лучше всего отражает воздействие, которое испытывает человек при употреблении продуктов питания и воды, загрязненных тяжелыми металлами. Принимая во внимание исследования Пермского научного центра медико-профилактических технологий управления рисками здоровью населения [10], для подопытных животных были рассчитаны дозы, составляющие 1 мкг кадмия / кг массы (0,001 мг/кг), а также в 10 (0,01 мг/кг) и 100 (0,1 мг/кг) раз больше для оценки токсикологического эффекта. Детали дизайна исследования показаны ниже:

- Группа К – (отрицательный контроль): крысы ежедневно перорально получали эквивалентное количество дистиллированной воды в течение трех месяцев;

- Группа I: крысы ежедневно перорально получали водный раствор CdCl₂ по 0,001 мг/кг массы тела / день в течение трех месяцев;
- Группа II: крысы ежедневно перорально получали водный раствор CdCl₂ по 0,01 мг/кг массы тела / день в течение трех месяцев;
- Группа III: крысы ежедневно перорально получали водный раствор CdCl₂ по 0,1 мг/кг массы тела / день в течение трех месяцев.

Спустя 3 месяца животные были выведены из эксперимента путем мгновенной декапитации. Для проведения биохимических исследований использовали сыворотку крови подопытных крыс. На анализаторе «Stat Fax 3300» («Awareness Technology», USA) определяли параметры, отражающие метаболизм и функциональное состояние печени: активность аспаратаминотрансферазы (АСТ), аланинаминотрансферазы (АЛТ), лактатдегидрогеназы (ЛДГ), щелочной фосфатазы (ЩФ), а также уровень общего белка (ОБ) и альбумина с использованием клинических тест-наборов и контрольных материалов производства ООО «Вектор-Бест» (РФ) в соответствии с инструкциями производителя.

Статистический анализ проводили с использованием программного обеспечения IBM SPSS Statistics 21 (IBM, USA). Проверка распределений на нормальность осуществлялась с помощью критерия Колмогорова-Смирнова. Для оценки значимости различий между группами использовали однофакторный дисперсионный анализ (ANOVA) с применением апостериорного критерия Тьюки. Данные представлены как среднее арифметическое и стандартная ошибка. Критический уровень значимости (p) принят равным 0,05.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Результаты проведенных биохимических исследований представлены в таблице 1.

Таблица 1

Изменения биохимических показателей у экспериментальных животных в зависимости от дозы воздействия хлорида кадмия

Показатели	Группа животных			
	К-	I	II	III
АСТ, Ед/л	147,9±9,7	174,9±8,8	159,3±8,3	174,1±8,3
АЛТ, Ед/л	51,1±2,6	51,1±4,0	47,8±2,2	47,5±2,6
ЛДГ, Ед/л	1458,1± ±90,5	2003,5± ±60,8*	1906,4± ±51,3*	1846,1± ±50,1*
ЩФ, Ед/л	207,0±16,4	229,5±21,3	203,8±24,6	159,8±17,8
Общий белок, г/л	58,3±1,2	80,7±2,2*	80,5±2,0*	45,3±1,1*
Альбумин, г/л	39,2±0,7	39,1±1,3	39,3±1,0	39,8±0,9

Примечание: * – статистически значимая разница между животными групп К- и I, II, III; p<0,001

В большинстве случаев измерение активности печеночных показателей (АСТ, АЛТ, ЛДГ, ЩФ) в биологических жидкостях (сыворотка, плазма крови) организма

может использоваться для оценки степени воздействия и токсичности химического соединения на орган [11].

Повреждение гепатоцитов под влиянием CdCl_2 подтверждалось повышением активности АСТ в трех опытных группах крыс (рис. 1). Так, при интрагастральном введении CdCl_2 , в I экспериментальной группе животных наблюдалось увеличение активности АСТ на 18,3 % относительно контроля. Во II и III группах крыс было отмечено повышение активности фермента на 7,7 % и 17,7 %, соответственно. Высокая активность АСТ свидетельствует о потере функциональной целостности клеточных мембран и высвобождению трансаминазы из цитоплазмы в кровотоки [12]. Результаты нашего эксперимента согласуются с более ранними исследованиями Торро et al. [13].

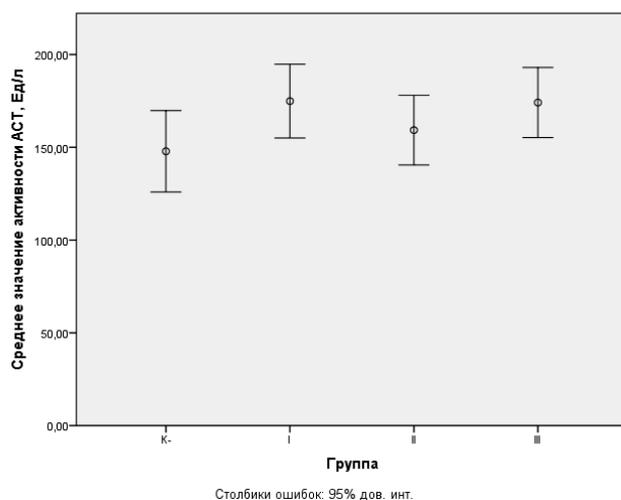


Рис. 1 Изменение активности аспартатаминотрансферазы в зависимости от дозы воздействия хлорида кадмия.

Другим наиболее специфическим маркером повреждения клеток печени является аланинаминотрансфераза. Выявлено незначительное снижение активности АЛТ во II и III опытных группах животных на 6,5 % и 7,1 %, соответственно, относительно контроля.

При анализе средних значений активности ЛДГ в экспериментальных группах установлены различия, статистически значимые по сравнению с контролем ($F=13,5$; $p=0,001$) (рис. 2). Определялось увеличение активности фермента на 37,4 % ($p=0,001$) в I опытной группе; на 30,8 % ($p=0,001$) и 26,6 % ($p=0,001$) во II и III группах, соответственно. По мнению Cheraghi et al. [14], повышение может происходить из-за повреждения плазматической мембраны гепатоцитов и нарушению биосинтеза лактатдегидрогеназы, вызванного кадмием, что приводит к выбросу энзима из цитозоля печени в кровеносную систему.

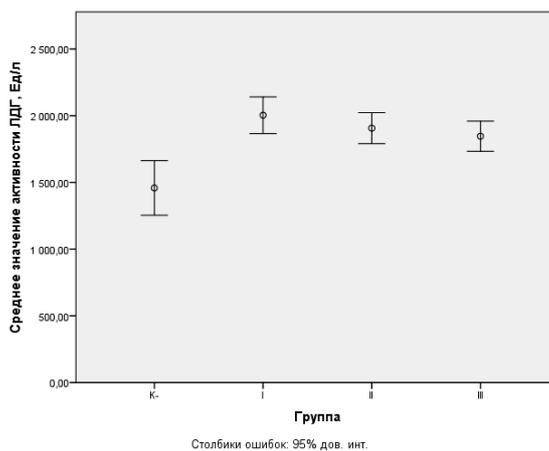


Рис. 2 Изменение активности лактатдегидрогеназы в зависимости от дозы воздействия хлорида кадмия.

Щелочная фосфатаза считается ферментом плазматической мембраны гепатоцитов и высвобождается неодинаково в зависимости от степени повреждающего эффекта кадмия на печень [15]. В настоящем исследовании выявлено (рис. 3), что введение хлорида кадмия в течение 3-х месяцев приводило к увеличению на 10,9 % активности ЩФ в сыворотке крови животных I экспериментальной группы относительно отрицательного контроля, что указывает на гепатоцеллюлярные повреждения и заболевания печени, и подтверждается работами [16–18]. В то же время, установленное снижение активности щелочной фосфатазы на 22,8 % у крыс III группы может быть связано с ухудшением работы ферментной системы в результате блокировки тяжелым металлом активных центров [19].

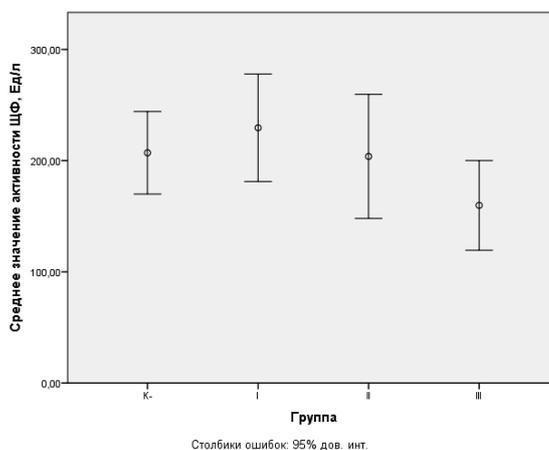


Рис. 3 Изменение активности щелочной фосфатазы в зависимости от дозы воздействия хлорида кадмия.

Изменение концентрации общего белка (ОБ) в сыворотке крови – один из важнейших диагностических инструментов при повреждении печени тяжелым металлом (рис. 4). При анализе средних величин уровня ОБ между группами отмечены статистически значимые различия ($F=104,8$; $p=0,001$). В I и II экспериментальных группах определялось статистически значимое увеличение уровня показателя на 38,4 % ($p=0,001$) и 38,1 % ($p=0,001$), соответственно, относительно контрольной группы. Повышение концентрации общего белка при воздействии поллютанта в течение 3 месяцев, вероятно, вызвано нарушением клеточных процессов, связанных с накоплением кадмия в печени и конъюгированием с металлотионином [20]. С другой стороны, в III группе крыс при использовании более высокой дозы хлорида кадмия (0,1 мг/кг), происходило статистически значимое снижение уровня ОБ на 22,3 % ($p=0,001$). Гипопротеинемия, обнаруженная у экспериментальных животных, вызвана воспалением и нарушением биосинтеза белка в клетках печени в результате воздействия Cd, что согласуется с выводами Lovasova et al. [21]. В тоже время, нами не установлены изменения уровня альбумина в сыворотке крови крыс опытных групп.

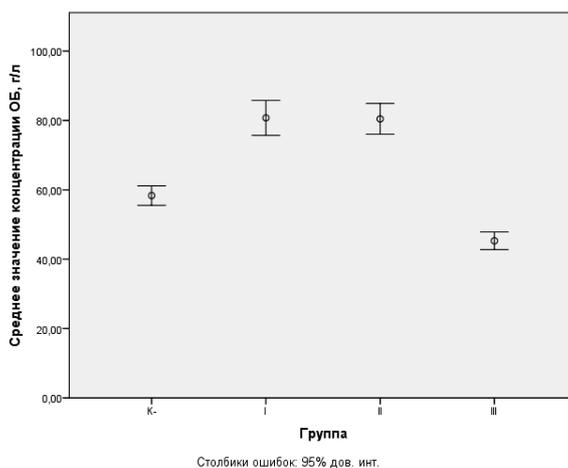


Рис. 4 Изменение концентрации общего белка в зависимости от дозы воздействия хлорида кадмия

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Кадмий вызывает широкий спектр токсикологических эффектов и биохимических дисфункций, представляющих серьезную опасность для здоровья. Молекулярный механизм данных процессов до сих пор полностью не выяснен. Но было высказано предположение, что под воздействием кадмия происходит образование активных форм кислорода (АФК), приводящих к окислительному стрессу, истощению активности ферментов за счет связывания тяжелого металла с сульфгидрильными группами, что вызывает гепато – и нефротоксичность [22].

В ходе нашего эксперимента, продолжительностью 3 месяца, показано, что пероральное введение хлорида кадмия в дозах 0,001 мг/кг, 0,01 мг/кг и 0,1 мг/кг

привело к повышению активности АСТ и ЛДГ ($p=0,001$) в сыворотке крови лабораторных животных. Одновременно отмечено снижение уровня АЛТ и ЩФ во II и III опытных группах крыс. Мы предполагаем, что накапливаясь в гепатоцитах, ионы кадмия могут вмешиваться в метаболизм клетки, в основном имитируя действие других двухвалентных катионов (особенно кальция), которые используются для активации или ингибирования действия маркерных ферментов. В том же ряду, продемонстрированы изменения уровня общего белка ($p=0,001$), что подтверждает деструктивное воздействие $CdCl_2$ на клетки печени. Представленные результаты согласуются с выводами Al-Kahtani et al. [23], которые называют изменения уровней функциональных маркеров печени главными индикаторами гепатотоксичности кадмия. Как утверждает Abdel Moneim et al. [24], печеночные ферменты являются важными показателями гепатоцеллюлярного повреждения.

Таким образом, полученные результаты свидетельствуют о негативном влиянии кадмия на метаболические процессы в печени экспериментальных животных, что дает основание говорить о выраженном гепатотоксическом действии металла, обусловленном накоплением в органе-мишени, и требуют дальнейших долгосрочных исследований.

Список литературы

1. Епимахов В. Г. Прижизненная оценка накопления тяжелых металлов в организме сельскохозяйственных животных (обзор) / В. Г. Епимахов, В. Я. Саруханов // Бюллетень науки и практики. – 2020. – Т. 6, Вып. 4. – С. 205–213.
2. Кадиков И. Р. Морфо-функциональная характеристика крови животных при сочетанном отравлении диоксином и кадмием в малых дозах / И. Р. Кадиков // Ученые записки Казанской государственной академии ветеринарной медицины им. Н. Э. Баумана. – 2015. – Т. 222, № 2. – С. 115–118.
3. Rafati Rahimzadeh M. Cadmium toxicity and treatment: An update / M. Rafati Rahimzadeh, S. Kazemi, A. A. Moghadamnia // Casp J Intern Med. – 2017. – Vol. 8, No 3. – P. 135–145.
4. Chen Y. Whole-body aerosol exposure of cadmium chloride ($CdCl_2$) and tetrabromobisphenol A (TBBPA) induced hepatic changes in CD-1 male mice / Y. Chen, Y. Hu, S. Liu [et al.] // Journal of hazardous materials. – 2016. – Vol. 318. – P. 109–116.
5. Bu T. Protective effect of quercetin on cadmium-induced oxidative toxicity on germ cells in male mice / T. Bu, Y. Mi, W. Zeng [et al.] // The Anatomical Record: Advances in Integrative Anatomy and Evolutionary Biology. – 2011. – Vol. 294, No 3. – P. 520–526.
6. Тимофеева С. Н. Влияние цинка на прирост массы, биохимические показатели и содержание металлов в органах при воздействии кадмия хлорида / С. Н. Тимофеева, И. Р. Кадиков, Р. Р. Хайбуллин // Вестник Марийского государственного университета. Серия «Сельскохозяйственные науки. Экономические науки». – 2020. – Т. 6, Вып. 1 (21). – С. 59–66.
7. Adaikpoh M. A. Cadmium-induced hepatorenal-toxicity in rats: Possible ameliorative effect of Talinum triangulare / M. A. Adaikpoh, N. E. J. Orhue // NISEB Journal. – 2020. – Vol. 12, No 1. – P. 21–26.
8. Klassen C. D. Metallothionein protection of cadmium toxicity / C. D. Klassen, J. Liu, B. A. Diwan // Toxicol. Appl. Pharmacol. – 2009. – Vol. 238, No 3. – P. 215–220.
9. Olajide J. E. Effect of methanol extract of Trema orientalis leaf on some biochemical and histopathological indices of wistar albino rats with cadmium-induced-hepatotoxicity / J. E. Olajide, M. Sanni, O. J. Achimugu [et al.] // Scientific African. – 2020. – Vol. 10. – P. e00568.
10. Шур П. З. К вопросу об оценке допустимого суточного поступления кадмия с продуктами питания / П. З. Шур, В. А. Фокин, В. Г. Новоселов // Здоровье населения и среда обитания. – 2015. – Т. 273, Вып. 12. – С. 30–32.

11. Sajjad S. Cadmium chloride toxicity revisited: effect on certain andrological, endocrinological and biochemical parameters of adult male rabbits / S. Sajjad, H. Malik, U. Farooq [et al.] // *Physiological research*. – 2014. – Vol. 63, No 4. – P. 505.
12. Rajesh M. G. Preliminary evaluation of the antihepatotoxic activity of Kamilari, a polyherbal formulation / M. G. Rajesh, M. S. Latha // *J Ethnopharmacol*. – 2004. – Vol. 91, No 1. – P. 99–104.
13. Toppo R. Hepatoprotective activity of *Moringa oleifera* against cadmium toxicity in rats / R. Toppo, B. K. Roy, R. H. Gora [et al.] // *Vet World*. – 2015. – Vol. 8, No 4. – P. 537–540.
14. Cheraghi E. The protective effect of curcumin against aluminum chloride-induced oxidative stress and hepatotoxicity in rats / E. Cheraghi, K. Roshanaei // *Pharm Biomed Res*. – 2019. – Vol. 5, No 1. – P. 11–18.
15. El-Shater A. E. R. A. Effect of Selenium and Bee Pollen Against Immunotoxicity and Hepatotoxicity Induced by Cadmium in Male Albino Rats / A. E. R. A. El-Shater, R. A. Ali // *Egyptian Academic Journal of Biological Sciences. Physiology and Molecular Biology*. – 2019. – Vol. 11, No 2. – P. 1–19.
16. Eldutar E. Restorative effects of Chrysin pretreatment on oxidant–antioxidant status, inflammatory cytokine production, and apoptotic and autophagic markers in acute paracetamol-induced hepatotoxicity in rats: an experimental and biochemical study / E. Eldutar, F. M. Kandemir, S. Kucukler [et al.] // *J. Biochem. Mol. Toxicol*. – 2017. – Vol. 31, No 11. – P. e21960.
17. Abdel-Moneim A. E. The redox status in rats treated with flaxseed oil and lead-induced hepatotoxicity / A. E. Abdel-Moneim, M. A. Dkhil, S. Al-Quraishy // *Biol. Trace Elem. Res*. – 2011. – Vol. 143, No 1. – P. 457–467.
18. Poosa M. Protective effect of *Antigonon leptopus* (Hook et. Arn) in cadmium induced hepatotoxicity and nephrotoxicity in rats / M. Poosa, S. R. Vanapatla // *Clinical Phytoscience*. – 2020. – Vol. 6, No 1. – P. 1–8.
19. Ansar S. Protective effect of diallylsulphide against mercuric chloride-induced hepatic injury in rats / S. Ansar, M. Iqbal // *Hum. Exp. Toxicol*. – 2016. – Vol. 35, No 12. – P. 1305–1311.
20. Godt J. The toxicity of cadmium and resulting hazards for human health / J. Godt, F. Scheidi, C. Grosse-Siestrup [et al.] // *J Occup Med Toxicol*. – 2006. – Vol. 22, No 1. – P. 1–6.
21. Lovasova E. Effects of chronic low-dose cadmium exposure on selected biochemical and antioxidant parameters in rats / E. Lovasova, O. Racz, I. Cimbolakova [et al.] // *J Toxicol Environ Health Part A*. – 2013. – Vol. 76, No 17. – P. 1033–1038.
22. Tchounwou P. B. Heavy metal toxicity and the environment / P. B. Tchounwou, C. G. Yedjou, A. K. Patlolla [et al.] // *Molecular, clinical and environmental toxicology*. – 2012. – No 1. – P. 133–164.
23. Al-Kahtani M. Ameliorative effect of selenium nanoparticles against aluminum chloride-induced hepatorenal toxicity in rats / M. Al-Kahtani, K. Morsy // *Environmental Science and Pollution Research*. – 2019. – Vol. 26, No 31. – P. 32189–32197.
24. Abdel-Moneim A. E. Pomegranate peel attenuates aluminum-induced hepatorenal toxicity / A. E. Abdel-Moneim, M. S. Othman, S. M. Mohmoud [et al.] // *Toxicology Mechanisms and Methods*. – 2013. – Vol. 23, No 8. – P. 624–633.

FEATURES OF METABOLIC CHANGES IN THE LIVER OF EXPERIMENTAL ANIMALS EXPOSED TO CADMIUM SALTS

*Smolyankin D. A., Timasheva G. V., Khusnutdinova N. Yu., Ziatdinova M. M.,
Fazlyeva A. S., Baigildin S. S., Repina E. F., Nazarova L. Sh., Karimov D. D.*

*Ufa Research Institute of Occupational Medicine and Human Ecology, Ufa, Republic of
Bashkortostan, Russia
E-mail: smolyankin.denis@yandex.ru*

An increase in anthropogenic impact leads to an increasing pollution of the environment by geochemical elements, including heavy metals (HM). One of the most common representatives of this group is cadmium.

Cadmium (Cd) is a highly toxic pollutant, poisoning with which occurs as a result of consumption of contaminated food and drinking water, inhalation of particulate matter from the ambient air, and exposure to tobacco smoke. Cadmium and its compounds are polytropic poisons that affect many functions and systems of the body, including the liver. The heavy metal is released from natural sources and as a result of anthropogenic activities into the aquatic and terrestrial environment. Cadmium has an extremely long biological half-life (20–40 years), which leads to accumulation in the body throughout life. Deposition of heavy metal in tissues and organs depends on the route, dose and duration of exposure, species sensitivity. Cd causes significant metabolic changes and damage to biological systems, inducing toxicity in a wide range of target organs.

The liver is the main organ that carries out the processes of metabolism of toxicants, performs a synthetic function in the body. Measurement of the activity of liver parameters, aspartate aminotransferase (AST), alanine aminotransferase (ALT), lactate dehydrogenase (LDH), alkaline phosphatase (ALP) in biological fluids (blood serum) is used to assess the degree of exposure and toxicity of a chemical compound to an organ. The article presents the results of studies of metabolic changes in the liver of experimental animals upon oral exposure to cadmium chloride (CdCl_2) for 3 months at doses of 0.001 mg / kg, 0.01 mg / kg and 0.1 mg / kg. The work was performed on white outbred rats weighing 180–270 g, kept under standard conditions of an experimental clinic of laboratory animals. After 3 months, the animals were withdrawn from the experiment by instant decapitation. The blood serum of experimental rats was used for biochemical studies.

It was shown that the introduction of CdCl_2 in doses of 0.001 mg / kg, 0.01 mg / kg and 0.1 mg / kg led to an increase in the activity of aspartate aminotransferase and lactate dehydrogenase ($p=0.001$) in the blood serum of laboratory animals. Thus, in experimental group I of rats, an increase in aspartate aminotransferase activity by 18.3 % was observed relative to the control. In groups II and III, an increase in the enzyme activity was noted by 7.7 % and 17.7 %, respectively. The high activity of aspartate aminotransferase indicates the loss of functional integrity of cell membranes and the release of transaminase from the cytoplasm into the bloodstream. At the same time, a statistically significant increase in lactate dehydrogenase was found in the three experimental groups by 37.4 % ($p = 0.001$); 30.8 % ($p = 0.001$) and 26.6 % ($p = 0.001$), respectively. The increase in the enzyme is associated with damage to the plasma membrane of hepatocytes induced by cadmium.

There was a decrease in the level of alanine aminotransferase and alkaline phosphatase in the blood serum of rats receiving cadmium salts at doses of 0.01 mg / kg and 0.1 mg / kg. A decrease in the activity of the indicator enzyme alanine aminotransferase indicates a deep damage to liver cells. The established decrease in the activity of alkaline phosphatase by 22.8 % in the blood serum of rats treated with an aqueous solution of cadmium chloride at a dose of 0.1 mg / kg is associated with a deterioration in the functioning of the enzyme system as a result of blocking active centers by heavy metal. Accumulating in hepatocytes, cadmium ions can interfere with cell metabolism, mainly mimicking the action of other divalent cations (especially calcium), which are used to activate or inhibit the action of marker enzymes.

When analyzing the mean values of the total protein (TP) level in the experimental groups receiving cadmium salts at doses of 0.001 mg / kg and 0.01 mg / kg, a statistically significant increase in the level of the indicator was noted by 38.4 % ($p = 0.001$) and 38.1 % ($p = 0.001$), respectively, relative to the control group. It is assumed that an increase in the concentration of total protein under the influence of a pollutant for 3 months is caused by a violation of cellular processes associated with the accumulation of cadmium in the liver and conjugation with metallothioneine. When using a higher dose of cadmium chloride (0.1 mg / kg), there was a significant decrease in the total protein level by 22.3 % ($p = 0.001$). The detected hypoproteinemia observed in experimental animals is caused by inflammation and impaired protein biosynthesis in liver cells as a result of exposure to cadmium. The demonstrated changes in the level of total protein confirm the destructive effect of CdCl_2 on liver cells. At the same time, significant changes in the level of albumin in the blood serum of animals from the experimental groups have not been established.

The results obtained indicate a negative effect of cadmium on metabolic processes in the liver of experimental animals, which gives grounds to speak of a pronounced hepatotoxic effect of the metal, caused by accumulation in the target organ, and require further long-term studies.

Keywords: experimental animals, heavy metals, cadmium, hepatotoxicity, biochemical markers, blood serum.

References

1. Yepimakhov V. G., Sarukhanov V. Ya. [Lifetime assessment of the accumulation of heavy metals in the body of farm animals (review)], *Byulleten' nauki i praktiki*, **6** (4), 205 (2020). (in Russ.)
2. Kadikov I. R. [Morpho-functional characteristics of the blood of animals in case of combined poisoning with dioxin and cadmium in small doses], *Uchenyye zapiski Kazanskoy gosudarstvennoy akademii veterinarnoy meditsiny im. N. E. Baumana*, **222** (2), 115 (2015). (in Russ.)
3. Rafati Rahimzadeh M., Kazemi S, Moghadamnia A. A. Cadmium toxicity and treatment: An update, *Casp J Intern Med.*, **8** (3), 135 (2017).
4. Chen Y., Hu Y., Liu S., Zheng H., Wu X., Huang Z., Li H., Peng B., Long J., Pan B., Huang C., Dong Q. Whole-body aerosol exposure of cadmium chloride (CdCl_2) and tetrabromobisphenol A (TBBPA) induced hepatic changes in CD-1 male mice, *Journal of hazardous materials*, **318**, 109 (2016).
5. Bu T., Mi Y., Zeng W., Zhang C. Protective effect of quercetin on cadmium-induced oxidative toxicity on germ cells in male mice, *The Anatomical Record: Advances in Integrative Anatomy and Evolutionary Biology*, **294** (3), 520 (2011).
6. Timofeyeva S. N., Kadikov I. R., Khaybullin R. R. [The effect of zinc on weight gain, biochemical parameters and metal content in organs under the influence of cadmium chloride], *Vestnik Mariyskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya «Sel'skokhozyaystvennyye nauki. Ekonomicheskiye nauki»*, **6**, 1 (21), 59 (2020). (in Russ.)
7. Adaikpoh M. A., Orhue N. E. J. Cadmium-induced hepatorenal-toxicity in rats: Possible ameliorative effect of Talinum triangulare, *NISEB Journal*, **12** (1), 21 (2020).
8. Klaassen C.D., Liu J., Diwan B.A. Metallothionein protection of cadmium toxicity, *Toxicol. Appl. Pharmacol.*, **238** (3), 215 (2009).
9. Olajide J. E., Sanni M., Achimugu O. J., Suleiman M. S., Jegede E. R., Sheneni V. D. Effect of methanol extract of *Trema orientalis* leaf on some biochemical and histopathological indices of wistar albino rats with cadmium-induced-hepatotoxicity, *Scientific African*, **10**, e00568 (2020).
10. Shur P. Z., Fokin V. A., Novoselov V. G. [On the issue of assessing the permissible daily intake of cadmium with food], *Zdorov'ye naseleniya i sreda obitaniya*, **12** (273), 30 (2015). (in Russ.)

11. Sajjad S., Malik H., Farooq U., Rashid F., Nasim H., Tariq S., Rehman S. Cadmium chloride toxicity revisited: effect on certain andrological, endocrinological and biochemical parameters of adult male rabbits, *Physiological research*, **63** (4), 505 (2014).
12. Rajesh M. G., Latha M. S. Preliminary evaluation of the antihepatotoxic activity of Kamilari, a polyherbal formulation, *J Ethnopharmacol*, **91** (1), 99 (2004).
13. Toppo R., Roy B. K., Gora R. H., Baxla S. L., Kumar P. Hepatoprotective activity of *Moringa oleifera* against cadmium toxicity in rats, *Vet World*, **8** (4), 537 (2015).
14. Cheraghi E., Roshanaei K. The protective effect of curcumin against aluminum chloride-induced oxidative stress and hepatotoxicity in rats, *Pharm Biomed Res.*, **5** (1), 11 (2019).
15. El Shater A. E. R. A., Ali R. A. Effect of Selenium and Bee Pollen Against Immunotoxicity and Hepatotoxicity Induced by Cadmium in Male Albino Rats, *Egyptian Academic Journal of Biological Sciences. Physiology and Molecular Biology*, **11** (2), 1 (2019).
16. Eldutar E., Kandemir F. M., Kucukler S., Caglayan C. Restorative effects of Chrysin pretreatment on oxidant-antioxidant status, inflammatory cytokine production, and apoptotic and autophagic markers in acute paracetamol-induced hepatotoxicity in rats: an experimental and biochemical study, *J. Biochem. Mol. Toxicol.*, **31** (11), e21960 (2017).
17. Abdel-Moneim A. E., Dkhil M. A., Al-Quraishy S. The redox status in rats treated with flaxseed oil and lead-induced hepatotoxicity, *Biol. Trace Elem. Res.*, **143** (1), 457 (2011).
18. Poosa M., Vanapatla S. R. Protective effect of *Antigonon leptopus* (Hook et. Arn) in cadmium induced hepatotoxicity and nephrotoxicity in rats, *Clinical Phytoscience*, **6** (1), 1 (2020).
19. Ansar S., Iqbal M. Protective effect of diallylsulphide against mercuric chloride-induced hepatic injury in rats, *Hum. Exp. Toxicol.*, **35** (12), 1305 (2016).
20. Godt J., Scheidig F., Grosse-Siestrup C., Esche V., Brandenburg P., Reich A., Groneberg D. A. The toxicity of cadmium and resulting hazards for human health, *J Occup Med Toxicol.*, **22** (1), 1 (2006).
21. Lovasová E., Rácz O., Cimbaláková I., Nováková J., Dombrovský P., Ništiar F. Effects of chronic low-dose cadmium exposure on selected biochemical and antioxidant parameters in rats, *J Toxicol Environ Health Part A.*, **76** (17), 1033 (2013).
22. Tchounwou P. B., Yedjou C. G., Patlolla A. K., Sutton D. J. Heavy metal toxicity and the environment, *Molecular, clinical and environmental toxicology*, **1**, 133 (2012).
23. Al-Kahtani M., Morsy K. Ameliorative effect of selenium nanoparticles against aluminum chloride-induced hepatorenal toxicity in rats, *Environmental Science and Pollution Research*, **26** (31), 32189 (2019).
24. Abdel-Moneim A. E., Othman M. S., Mohmoud S. M., El-Deib K. M. Pomegranate peel attenuates aluminum-induced hepatorenal toxicity, *Toxicology Mechanisms and Methods*, **23** (8), 624 (2013).

УДК 597.94:591.9

СОВРЕМЕННОЕ РАСПРОСТРАНЕНИЕ ОБЫКНОВЕННОЙ ЖАБЫ, *BUFO* *BUFO* (AMPHIBIA, BUFONIDAE) В НОВОЙ МОСКВЕ

Степанкова И. В., Африн К. А., Иволга Р. А., Петровский А. Б., Кидов А. А.

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

Обыкновенная жаба, *Bufo bufo* является самым уязвимым земноводным в городах. В работе обсуждается распространение вида в Москве. Отмечается, что в старой части города жаба почти полностью вымерла. Целью настоящей работы являлось изучение распространения *B. bufo* на территории, присоединенной к городу в 2012 г. (проект «Новая Москва»). Отмечается, что в Новой Москве вид пока распространен достаточно широко. По данным авторов и наблюдениям других исследователей, известно 35 точек находок обыкновенной жабы, в том числе 8 – в Новомосковском и 27 – в Троицком округах. Авторы считают, что вид в городе еще возможно сохранить. Для этого необходимы организация ООПТ с четкими границами на существующих крупных островах древесной растительности и проведение биотехнических мероприятий.

Ключевые слова: бесхвостые земноводные, урбанизированные территории, биология сохранения, вымирание амфибий.

ВВЕДЕНИЕ

Обыкновенная, или серая жаба, *Bufo bufo* (Linnaeus, 1758) – один из наиболее широко распространенных видов бесхвостых земноводных в Палеарктике. Населяет разнообразные лесные биотопы на территории Европы и Северной Азии от Британских островов и севера Франции до Восточной Сибири [1]. На большей части своего ареала *B. bufo* является обычным или многочисленным видом, уступающим лишь бурым лягушкам рода *Rana* и гладким тритонам *Lissotriton*. На периферии ареала, совпадающей обычно с границами лесного пояса, обыкновенная жаба может быть редка или даже находится в угрожаемом состоянии, что послужило основанием для ее внесения в списки охраняемых животных на региональном уровне [2–4]. Несмотря на то, что *B. bufo* может сохраняться в селитебных биотопах [1], считается [5], что она является наименее адаптивным к изменениям местообитаний видом. В связи с этим, ее обитание в пределах крупных городов возможно только при сохранении больших участков природных ландшафтов.

В странах Европы численность обыкновенной жабы стремительно сокращается как в условиях населенных пунктов, так и за их пределами. В обоих случаях наиболее распространенными причинами являются сокращение мест обитания, расширение транспортной сети и её загруженности [6–8]. В России исчезновение *B. bufo* в крупных городах является давно известной проблемой. Это относится не

только к крупнейшему мегаполису страны – Москве, но и к другим крупным городам, например – к Казани [9], Самаре, Тольятти, Ульяновску [5], Уфе [10].

На территории «старой» Москвы, то есть в границах города до присоединения к нему в 2012 г. площадей из Троицкого и Наро-Фоминского районов Московской области (так называемый проект «Новая Москва»), обыкновенная жаба в прошлом была весьма распространенным видом и заселяла большинство зеленых зон города [11, 12]. Обширные сборы этого вида с территории столицы хранятся в фондах Научно-исследовательского зоологического музея МГУ имени М. В. Ломоносова (далее по тексту – ZMMU) [13, 14]. К самым ранним свидетельствам обитания серой жабы в Москве относится сообщение Н. М. Кулагина в 1888 г. [15]. До начала XX в. обыкновенная жаба отмечалась в Измайлово (с. Измайлово и Измайловский зверинец) в 1892 г. (ZMMU №А-235, А-237, А-242, А-245) и Крылатском в 1899 г. (ZMMU №А-244). В XX в. вид был найден (в хронологическом порядке) в 1902 г. – в Ростокино (до 1917 г. – с. Леоново) (ZMMU №А-247) и Лесной опытной даче Тимирязевской сельскохозяйственной академии (ZMMU №А-250), в 1905 г. – Свиблово [16], в 1916 г. – в Петровско-Разумовском (ZMMU №А-255, А-2799), в 1918–1919 гг. – в Сокольниках [11], в 1921 г. – в Косино и в Останкино [11], в 1922 г. – в саду Вдовьего дома и на Новой территории Московского зоопарка [12], в 1920-е гг. – на Арбате [12], до 1924 г. – в Бутово, Кунцево, Лосином острове [11], в 1924 г. – на Новинском бул. [12] и в Измайлово (ZMMU №А-258), в 1927 г. – в Фили, в 1928 г. – на Патриарших прудах и Краснопресненской Заставе, в 1932 г. – в Лужниках, Серебряном бору, Сокольниках и Лианозово, в 1933 г. – в Ботаническом саду МГУ, Лосином острове, Петровском парке и Кунцево [12], в 1922 г. – в Тимирязевском районе [11], в 1936 г. – в Лесной опытной даче (ZMMU №А-260, А-267, А-274), в 1938 г. – в Люблино, в 1940 г. – в Останкино [12], в 1960 г. – в р-не улицы Метростроевской (сейчас – ул. Остоженка), в 1963 г. – в Лесной опытной даче [12], в 1965 г. [17] и 1966–1979 гг. [1] – в окрестностях Речного вокзала, в 1966 г. – в Химки-Ховрино, Лосином острове, в усадьбе «Узкое» [12], в 1973–1977 гг. – в Нагатинском Затоне [18], в 1973 г. – на Лиственничной аллее [17], в 1975 г. – в пос. Мелькисарово [18], в 1978 г. – в Лосином острове у истоков р. Яузы (ZMMU №А-1944), в 1979 г. – в окрестностях ул. Ферсмана [17], в 1980–1989 гг. – в Битцевском лесу и Воронцовском парке [17, 19], в 1995–2000 гг. – в Лосином острове, Очаковском лесу, усадьбе «Знаменское-Садки» [18, 20], в 1997 г. – в Серебряном бору [20]. Имеется также находка обыкновенной жабы в с. Наташино (сейчас – улица Наташинская) (ZMMU №А-236, год находки не указан) [11].

В настоящее время в большинстве парков и лесопарков на территории «старой» Москвы обыкновенная жаба, видимо, исчезла совсем, либо сократила свою численность до критически малой. Ее находки за последние десятилетия немногочисленны, находятся на периферии современных границ города и только в пределах наиболее крупных из существующих ООПТ: в 2001–2010 гг. [21], 2014 г. (личн. сообщ. Н. Ужова), 2018 г. (личн. сообщ. Ю. П. Соколкова и Д. Д. Юркевича) и в 2020 г. (наши данные) – в национальном парке «Лосиный остров», в 2007 г. – в Рублёвском лесопарке (природный заказник «Рублевский») [21], в 2001–2010 гг. – в

природно-историческом парке «Битцевский лес» и усадьбе «Знаменское-Садки» [21].

В Новой Москве, где еще сохранились большие по площади участки лесной растительности, специального исследования распространения *B. bufo* не проводилось. Целью настоящей работы было выявление современного распространения обыкновенной жабы в Новой Москве.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Собственные исследования проводили в 2017–2020 гг. на территории Новомосковского и Троицкого административных округов г. Москвы. Обследование осуществляли с апреля по сентябрь. Весной в дневные часы обследовали потенциальные нерестовые водоемы, отмечая находки кладок яиц, личинок, взрослых особей. Летом и осенью жаб отмечали на маршрутах в сумеречное и ночное время, использовали находки погибших под колесами автотранспорта животных.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

В XX в. известно немного находок обыкновенной жабы на территории, относящейся сейчас к Новой Москве (находки приведены в хронологическом порядке): в 1933 г. в окр. ж.-д. ст. «Крекшино» и «Кокошкинская» [1]; в окр. д. Мачихино в 1990 г. (ZMMU №А-2942). В XXI в. вид был найден (в хронологическом порядке) в 2001–2010 гг. – в д. Лапшинка на территории Акатовской биологической станции [22], в 2007 г. – в окр. ж.-д. ст. «Мичуринец» и долине р. Алешинка [21], 12. 04. 2008 (личн. сообщ. В. Решетниковой) и 05. 07. 2017 [23] – на территории биостанции ИПЭЭ РАН «Малинки», 30. 04. 2016 – в окр. п. Внуково (личн. сообщ. Р. Провидухина), 26. 04. 2019 – на территории бывшего заказника «Широколиственные леса. Крестовское лесничество» и в окр д. Кленовка (личн. сообщ. А. П. Серегина), 01. 05. 2020 – в д. Мешково (личн. сообщ. Столбовского), в окр. с. Свитино, р. Вороновки и п. Косовка (личн. сообщ. А. П. Серегина), 04. 05. 2020 и 28. 06. 2020 г. – в окр. п. Птичное (личн. сообщ. Д. Ходжамиряна), 19. 06. 2020 – в Валуевском лесопарке (личн. сообщ. Е. Тихоновой), 11. 07. 2020 – в окр. ж.-д. ст. «Мичуринец» и ул. Железнодорожная (личн. сообщ. М. Верещагиной), 08. 08. 2020 – в окр. г. Троицк [24].

Нами обыкновенная жаба отмечена в 25 локалитетах (4 точки находок в Новомосковском и 21 – в Троицком округах) (табл. 1).

Таким образом, обыкновенная жаба пока еще достаточно широко распространена в Новой Москве. Учитывая наши данные и наблюдения других исследователей, для обсуждаемой территории к настоящему времени известно 35 точек находок вида, в том числе 8 – в Новомосковском и 27 – в Троицком округах (рис. 1).

Таблица 1
Собственные находки обыкновенной жабы на территории Новой Москвы

№ п/п	Локалитет	Координаты находки		Дата находки
		с.ш., °	в.д., °	
1	окр. п. Внуково	55.6461	37.2780	23.05.2020 г.
2	д. Крекшино	55.5922	37.1061	05.05.2020 г.
3	окр. ст. м. «Филатов луг»	55.6004	37.3958	11.07.2020 г.
4	Валуевский лесопарк	55.5705	37.3111	28.04.2019 г.
5	п. Птичное	55.4992	37.2201	14.05.2020 г.
6	Киевское шоссе в окр. п. Рассудово	55.4860	36.9498	06.06.2020 г.
7	окр. п. Рассудово	55.4736	36.9254	14.05.2020 г.
8	д. Пучково	55.4864	37.2671	06.05.2020 г.
9	биостанция ИПЭЭ РАН «Малинки»	55.4592	37.1798	05.07.2017 г.
10	СНТ «Дыбино»	55.4530	37.1902	15.06.2019 г.
11	с. Красная Пахра	55.4470	37.2780	04.06.2019 г.
12	п. Киевский	55.4319	36.8626	06.05.2020 г.
13	п. Круги	55.4114	36.9432	20.06.2020 г.
14	д. Юрьево	55.4209	37.0003	20.06.2020 г.
15	КП «Европейская долина»	55.4276	37.3873	23.06.2018 г.
16	п. Зосимова Пустынь	55.4059	36.9120	20.06.2020 г.
17	п. Шишкин лес	55.4099	37.1761	30.04.2019 г.
18	окр. ж/д ст. «Бекасово»	55.4067	36.8903	06.06.2020 г.
19	окр. СНТ «Бонитет»	55.3925	36.8692	06.06.2020 г.
20	СНТ «Лесное»	55.3955	37.0081	20.06.2020 г.
21	окр. д. Лукошкино	55.3235	37.2702	27.06.2020 г.
22	СНТ «Застройщик»	55.2806	37.1471	20.06.2020 г.
23	д. Кресты	55.2619	37.0949	06.05.2020 г.
24	СНТ «Песчаный»	55.2308	37.0540	13.06.2020 г.
25	д. Кузовлево	55.1844	36.9940	13.06.2020 г.

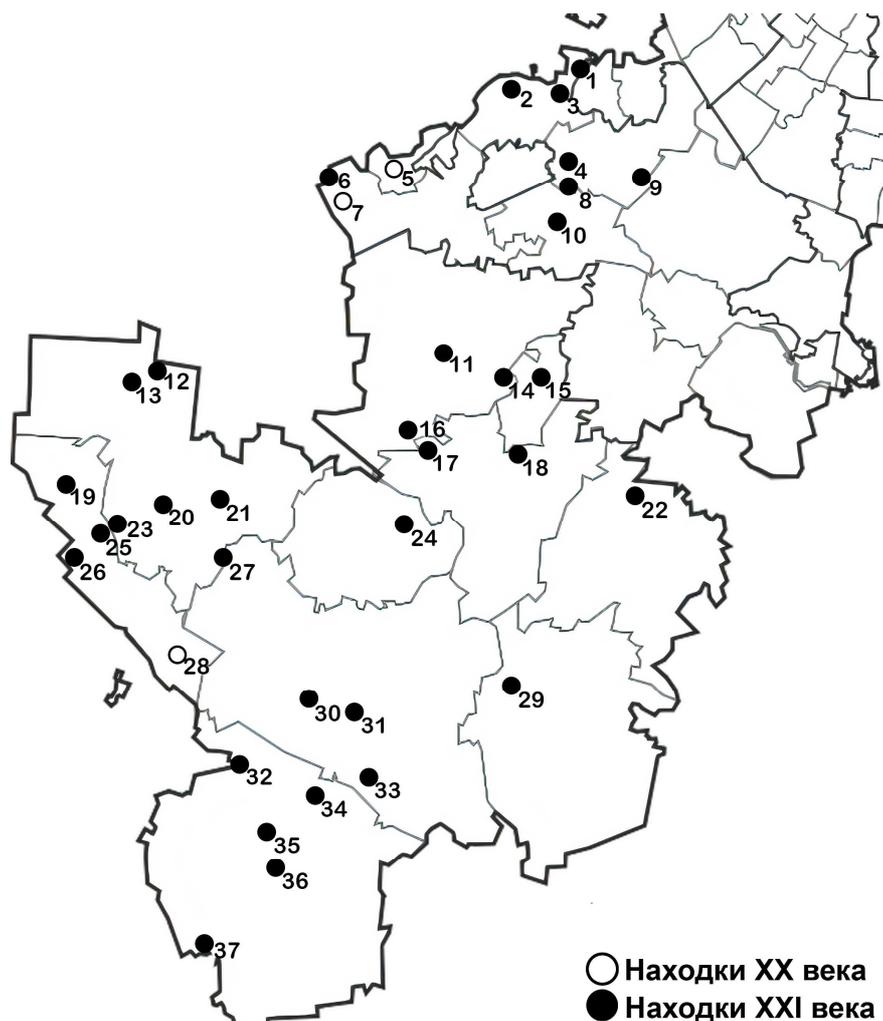


Рис. 1. Находки *Bufo bufo* на территории Новой Москвы. 1 – окр. ст. ж/д Мичуринец, ул. Железнодорожная; 2 – окр. п. Внуково; 3 – окр. ст. ж/д Мичуринец, долина р. Алешинка; 4 – д. Лапшинка на территории Акатовской биологической станции; 5 – окр. ж.-д. ст. «Кокошкинская»; 6 – д. Крекшино; 7 – окр. ж.-д. ст. «Крекшино»; 8 – д. Мешково; 9 – окр. ст. м. «Филатов луг»; 10 – Валуевский лесопарк; 11 – п. Птичное; 12 – Киевское шоссе в окр. п. Рассудово; 13 – окр. п. Рассудово; 14 – д. Пучково; 15 – окр. г. Троицка; 16 – биостанция ИПЭЭ РАН «Малинки»; 17 – СНТ «Дыбино»; 18 – с. Красная Пахра; 19 – п. Киевский; 20 – п. Круги; 21 – д. Юрьево; 22 – КП «Европейская долина»; 23 – п. Зосимова Пустынь; 24 – п. Шишкин лес; 25 – окр. ж/д ст. «Бекасово»; 26 – окр. СНТ «Бонитет»; 27 – СНТ «Лесное»; 28 – окр. д. Мачихино. 29 – окр. д. Лукошкино; 30 – окр. с. Свитино; 31 – окр. р. Вороновки, п. Косовка; 32 – территория бывшего заказника «Широколиственные леса. Крестовское лесничество»; 33 – СНТ «Застройщик»; 34 – д. Кресты; 35 – окр. д. Кленовка; 36 – СНТ «Песчаный»; 37 – д. Кузовлево.

Существенная часть известных находок (55,9 %) расположена в пределах особо охраняемых зеленых территорий (ООЗТ) Москвы. Учитывая, что из-за токсичных кожных выделений личинок на популяции обыкновенной жабы, в отличие от других московских земноводных [25, 26], в наименьшей степени воздействует инвазивный ротан-головешка, *Perccottus glenii* Dybowski, 1877, перспективы сохранения вида на охраняемых участках Новой Москвы с достаточно большими массивами древесной растительности можно было бы считать оптимистичными. Однако, ООЗТ не являются полноценными охраняемыми территориями, т.к. Постановлением Правительства Москвы от 22.10.2014 №616-ПП «О внесении изменений в постановления Правительства Москвы от 22 августа 2012 г. №423-ПП и от 22 августа 2012 г. №424-ПП» на них были разрешены «строительство, реконструкция и эксплуатация линий электропередачи, линий связи (в том числе линейно-кабельных сооружений), трубопроводов, автомобильных дорог, железнодорожных линий и других линейных объектов, а также зданий, строений, сооружений, являющихся неотъемлемой технологической частью указанных объектов». Таким образом, даже на ООЗТ обыкновенные жабы массово погибают на автомобильных дорогах, их местообитания и нерестовые водоемы разрушаются. При этом существовавшие ООПТ Московской области при присоединении к Москве утратили свой статус. Все больше усугубляется изоляция популяций этого вида плотной многоэтажной застройкой и автотрассами, что неминуемо приведет к снижению генетического разнообразия и устойчивости в долгосрочной перспективе.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Обыкновенная жаба пока еще распространена во всех зеленых зонах Новой Москвы. Однако, учитывая стремительное антропогенное преобразование природных ландшафтов, игнорирующее интересы сохранения биологического разнообразия, обыкновенная жаба в городе может полностью исчезнуть уже в ближайшие десятилетия.
2. Сохранение обыкновенной жабы в Новой Москве возможно только в случае придания фактического охранного статуса существующим зеленым зонам, проведения биотехнических мероприятий (воспрепятствование зарастанию и заболачиваемости существующих водоемов, обустройство новых мест размножения, воспреещение передвижения колесного транспорта (включая велосипеды) по паркам в сумеречное и ночное время весной и летом, организация защитных сооружений между местообитаниями жаб и проезжей частью автодорог, организация подземных переходов в местах массовых миграций, перенос кладок и личинок между популяциями для генетического обмена).

БЛАГОДАРНОСТИ

Авторы выражают благодарность А. В. Трофимцу и С. Г. Гарбузову за содействие в проведении полевых работ, В. Ф. Орловой и Р. А. Назарову – за

предоставленную возможность изучения сборов земноводных, хранящихся в фондах Научно-исследовательского зоологического музея МГУ им. М. В. Ломоносова.

Список литературы

1. Кузьмин С. Л. Земноводные бывшего СССР / С. Л. Кузьмин. – М: Товарищество научных изданий КМК, 2012. – 370 с.
2. Павлов А. В. Жаба серая Соры гёберле бака *Bufo bufo* Linnaeus, 1758 / А. В. Павлов, В. И. Гаранин // Красная книга Республики Татарстан. Животные, растения грибы. – Казань: Идел-Пресс, 2016. – С. 128.
3. Кассал Б. Ю. Жаба серая *Bufo bufo* Linnaeus, 1758 / Б. Ю. Кассал, Г. Н. Сидоров // Красная книга Омской области. 2-е изд., перераб. и доп. – Омск : Изд-во ОмГПУ, 2015. – С. 146–148.
4. Красная книга Воронежской области. Животные. – Изд. 2-е. – Воронеж: Центр духовного возрождения Черноземного края, 2018. – С. 257.
5. Файзулин А. И. Амфибии урбанизированных территорий Среднего Поволжья: Видовой состав, распространение и их использование для биоиндикации качества среды / А. И. Файзулин // Вестник Томского Государственного Университета. – 2014. – Т. 19, №. 5. – С. 1362–1364.
6. Mazgajska J. Two amphibian species in the urban environment: changes in the occurrence, spawning phenology and adult condition of common and green toads / J. Mazgajska, T. D. Mazgajski // The European Zoological Journal. – 2020. – Vol. 87, № 1. – P. 170–179.
7. Budzik K. A. Amphibian situation in urban environment – history of the common toad *Bufo bufo* in Kraków (Poland) / K. A. Budzik, K. M. Budzik, K. Żuwała // Ecological Questions. – 2013. – № 18. – P. 73–77.
8. Salazar R. D. Mapping the Relative Probability of Common Toad Occurrence in Terrestrial Lowland Farm Habitat in the United Kingdom / R. D. Salazar, R. A. Montgomery, S. E. Thresher, D. W. Macdonald // PLoS ONE. – 2016. – Vol. 11, № 2. – e0148269.
9. Замалетдинов Р. И. Развитие урбанизированных территорий и перспективы сохранения герпетофауны (на примере г. Казань) / Р. И. Замалетдинов // Современная герпетология. – 2017. – Т. 17, № 1/2. – С. 21–27.
10. Зарипова Ф. Ф. Амфибии урбанизированных территорий Республики Башкортостан / Ф. Ф. Зарипова, А. И. Файзулин, А. Е. Кузовенко, А. М. Конькова // Изв. Самарского научного центра РАН. – 2014. – Т. 16. №1. – С 148–151.
11. Терентьев П. В. Очерк земноводных (Amphibia) Московской губернии / П. В. Терентьев. – М. : Госиздат, 1924. – 98 с.
12. Банников А. Г. О земноводных в г. Москве / А. Г. Банников, Ю. А. Исаков // Животное население Москвы и Подмосковья, его изучение, охрана и направленное преобразование: Материалы совещания (Москва, 27–28 апреля 1967 г.). – М.: Институт географии АН СССР, 1967. – С. 92–96.
13. Орлова В. Ф. К систематике кавказских серых жаб группы *Bufo bufo verrucosissimus* (Pallas) (Amphibia, Anura, Bufonidae) / В. Ф. Орлова, Б. С. Туниев // Бюллетень Московского общества испытателей природы. Отдел биологический. – 1989. – Т. 94, № 3. – С. 13–23.
14. Орлова В. Ф. Коллекции земноводных и пресмыкающихся Московской области, хранящиеся в Зоологическом музее Московского государственного университета / В. Ф. Орлова, А. Т. Божанский // Земноводные и пресмыкающиеся Московской области : мат. совещ. по герпетофауне Москвы и Московской области. – М. : Наука, 1989. – С. 11–25.
15. Кулагин Н. М. Списки и описание предметов, находящихся в Зоологическом музее Императорского Московского университета. Отдел второй. Списки и описание коллекции земноводных и пресмыкающихся музея / Н. М. Кулагин // Известия Императорского общества любителей естествознания, антропологии и этнографии. – 1888. – Т. 56, Вып. 2. – С. 1–39.
16. Сабанеев Л. Л. Amphibia. Дополнение к спискам животных Московской губернии (N.5) / Л. Л. Сабанеев // Известия Императорского общества любителей естествознания, антропологии и этнографии. Т.98. Дневник зоол. отд. Имп. о-ва любит. естествознания. – 1905. – Т. 3, № 6. – С. 7.

17. Семенов Д. В. К состоянию герпетофауны Москвы / Д. В. Семенов, О. А. Леонтьева // Земноводные и пресмыкающиеся Московской области : мат. совещ. по герпетофауне Москвы и Московской области. – М. : Наука, 1989. – С. 60–70.
18. Kuzmin S. L. Amphibians of Moscow Province: distribution, ecology, and conservation / S. L. Kuzmin, V. V. Bobrov, E. A. Dunaev // Zeitschr. f. Feldherpetol. Magdeburg. – 1996. – Vol. 3. – P. 19–72.
19. Короткие заметки о фауне земноводных и пресмыкающихся Москвы и Московской области / М. Я. Войтехов, Т. С. Лещева, В. Е. Флинт, Н. А. Формозов, К. Ю. Гарушянц // Земноводные и пресмыкающиеся Московской области : мат. совещ. по герпетофауне Москвы и Московской области. – М. : Наука, 1989. – С. 43–48.
20. Самойлов Б. Л. Серая жаба *Bufo bufo* (Linnaeus, 1758) // Б. Л. Самойлов, Г. В. Морозова // Красная книга города Москвы. 1-е изд. М. Департамент природопользования и охраны окружающей среды города Москвы, 2001. – С. 227–229.
21. Самойлов Б. Л. Серая жаба – *Bufo bufo* (Linnaeus, 1758) // Б. Л. Самойлов, Г. В. Морозова // Красная книга города Москвы. 2-е изд., перераб. и доп. – Москва, 2017. – С. 274–276.
22. Никифорова Е. В. Динамика численности и пути сохранения фоновых видов амфибий ближнего Подмосковья / Е. В. Никифорова, В. И. Николаев // Вестн. ТвГУ. Сер. Биология и экология. – 2014. – № 2. – С. 78–83.
23. Кидов А. А. Свидетельства локального расширения ареала зеленой жабы, *Bufo viridis* (Laurenti, 1768) в Московской области и Новой Москве / А. А. Кидов, А. А. Иванов, Я. А. Вяткин, И. В. Степанкова // Сохранение разнообразия животных и охотничье хозяйство России : материалы 8-й Междунар. науч.-практ. конф. – Москва, 2019. – С. 33–35.
24. Обыкновенная жаба из ул. Центральная, проходная «ФИАН» // iNaturalist/ – URL: <https://www.inaturalist.org/observations/55853766>
25. Степанкова И. В. Сравнительная характеристика морфометрических и репродуктивных показателей травяной лягушки, *Rana temporaria* (Amphibia, Ranidae) популяций «старой» и Новой Москвы / И. В. Степанкова, К. А. Африн, Р. А. Иволга, А. А. Кидов // Современная герпетология. – 2020. – Т. 20, № 1/2. – С. 53–60.
26. Петровский А. Б. О распространении обыкновенной чесночницы – *Pelobates fuscus* (Pelobatidae, Amphibia) в Москве / А. Б. Петровский, К. А. Африн, И. В. Степанкова, А. А. Шпагина, А. А. Кидов // Современная герпетология. – 2020. – Т. 20, № 3/4. – С. 168–173.

CURRENT DISTRIBUTION OF THE COMMON TOAD, *BUFO BUFO* (AMPHIBIA, BUFONIDAE) IN NEW MOSCOW

Stepankova I. V., Afrin K. A., Ivolga R. A., Petrovskiy A. B., Kidov A. A.

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

Background. The common toad, *Bufo bufo* is the most vulnerable urban amphibian. In European countries, this abundant species is rapidly decreasing both inside the settlements and outside them. The shrinking habitats, expansion and congestion transportation network are the most common causes in both cases. The common toad in the past was a widespread species and inhabited most of the green urban areas on the territory of Old Moscow, i.e., before its expansion due to the annexation of some large areas from the Troitskiy and Naro-Fominskiy districts of the Moscow region in 2012 (the so-called "New Moscow" project). At present, the common toad has apparently disappeared in most parks and forest parks of Old Moscow, or has reduced its population

to critically small. In recent decades, it has been found only in few places and only within the largest existing protected areas on the periphery of the modern Moscow boundaries. The purpose of this paper is to study the distribution of *B. bufo* on the territory attached by Moscow in 2012 (the "New Moscow" project).

Materials and methods. Our research was conducted in 2017–2020 on the territory of the Novomoskovskiy and Troitskiy administrative districts of Moscow. The distribution investigation was carried out from April to September. Potential spawning reservoirs were examined in the spring, during the daytime, also clutches of eggs, larvae, and adult toads were marked. In the summer and autumn, toads were found on the routes at twilight and at night; sometimes we counted dead toads on the roads.

Results. The species is still widespread in New Moscow. According to our data and studies of other researchers, there are 35 locations of the common toad, including 8 in Novomoskovskiy and 27 in Troitskiy districts. The authors believe that there is a chance to preserve the common toad in Moscow. It requires the organization of protected areas with clearly defined boundaries on the existing green urban areas and conducting activities aimed at improving the habitat

Keywords: anurans, urbanized territories, conservation biology, amphibian extinction.

References

1. Kuzmin S. L. *Amphibians of the former USSR*, 370 p. (Tovarishchestvo nauchnykh izdaniy KMK, Moscow, 2012).
2. Pavlov A. V., Garanin V. I. *The Red Data Book of the Republic of Tatarstan. Animals, plants, fungi*, 128 p. (Idel-Press, Kazan, 2016).
3. Kassal B. Yu., Sidorov G. N. *The Red Data Book of the Omsk Oblast*, 146 p. (Izd-vo OmGPU, Omsk, 2015).
4. *The Red Data Book of the Voronezh Oblast. Vol. 2* / ed. by R. V. Andreeva, 257 p. (Tsentr dukhovnogo vrozozhdeniia Chernozemnogo kraia, Voronezh, 2018).
5. Fayzulin A. I. Amphibians urbanized areas of middle Volga: species composition, distribution and use of bio-indication for environmental quality, *Tambov University Reports. Series: Natural and Technical Sciences*, **19** (5), 1362 (2014).
6. Mazgajska J., Mazgajski T. D. Two amphibian species in the urban environment: changes in the occurrence, spawning phenology and adult condition of common and green toads, *The European Zoological Journal*, **87** (1), 170 (2020).
7. Budzik K. A., Budzik K. M., Żuwała K. Amphibian situation in urban environment – history of the common toad *Bufo bufo* in Kraków (Poland), *Ecological Questions*, **18**, 73 (2013).
8. Salazar R. D., Montgomery R. A., Thresher S. E., Macdonald D. W. Mapping the Relative Probability of Common Toad Occurrence in Terrestrial Lowland Farm Habitat in the United Kingdom, *PLoS ONE*, **11** (2), e0148269 (2016).
9. Zamaletdinov R. I. Development of Urbanized Areas and Herpetofauna Conservation Prospects (on an example of Kazan city), *Current Studies in Herpetology*, **17** (1/2), 21 (2017).
10. Zaripova F.F., Fayzulin A. I., Kuzovenko A. E., Konkova A. M. Amphibians urban areas Republic of Bashkortostan, *Proceedings of the Samara Scientific Center of the Russian Academy of Sciences*, **16** (1), 148 (2014).
11. Terentjev P. V. *A Survey of Amphibia of the Moscow District*, 98 p. (Gosizdat publ., 1924)
12. Bannikov A. G., Isakov Y. A. On Amphibians in Moscow City, *Animal Population of Moscow and Moscow Region, Its Study, Protection and Directed Transformation*. (Moscow, 1967), p. 92.

13. Orlova V. F., Tuniyev B. S. On the taxonomy of the Caucasian common toads belonging to the group *Bufo bufo verrucosissimus* (Pallas) (Amphibia, Anura, Bufonidae), *Bulletin of Moscow Society of Naturalists. Biological Series*, **94 (3)**, 13 (1989).
14. Orlova V. F., Bozhansky A. T. Collections of Amphibians and Reptiles, Based in Zoological Museum of Moscow University, *Amphibia and Reptilia of Moscow Region*. (Nauka Publ., Moscow, 1989), p. 11.
15. Kulagin N. M. Lists and description of the collection of amphibians and reptiles of the Museum, *Proceedings of the Society of Natural History, Anthropology and Ethnography*, **56 (2)**, 1 (1888).
16. Sabaneev L. L. Amphibia, *Proceedings of the Zoological Department of the Society of Natural History, Anthropology and Ethnography*, **3 (6)**, 7 (1905).
17. Semenov D. V., Leontyeva O. A. On the herpetofauna status of Moscow, *Amphibia and Reptilia of Moscow Region*. (Nauka Publ., Moscow, 1989), p. 60.
18. Kuzmin S. L., Bobrov V. V., Dunaev E. A. Amphibians of Moscow Province: distribution, ecology, and conservation, *Zeitschrift für Feldherpetologie*, **3**, 19 (1996).
19. Voytehov M. Ya., Leshcheva G. S., Flint V. E., Formozov N. A., Garushyants K. Y. Short notes on the amphibian and reptilian fauna of Moscow and the Moscow region, *Amphibia and Reptilia of Moscow Region*. (Nauka Publ., Moscow, 1989), p. 43.
20. Samoylov B. L., Morozova G. V. *The Red Data Book of the Moscow*, 227 p. (Departament prirodopol'zovaniia i okhrany okruzhaiushchei sredy goroda Moskvy Publ., Moscow, 2001)
21. Samoylov B. L., Morozova G. V. *The Red Data Book of the Moscow*, 274 p. (Departament prirodopol'zovaniia i okhrany okruzhaiushchei sredy goroda Moskvy Publ., Moscow, 2017)
22. Nikiforova E. V., Nikolaev V. I. Population dynamics and protection approaches of common amphibians in Moscow suburbs, *Herald of Tver State University. Series: Biology and Ecology*, **2**, 78 (2014).
23. Kidov A. A., Ivanov A. A., Vyatkin Ya. A., Stepankova I. V. The evidence of local range expansion of the European green toad's *Bufo viridis* (Laurenti, 1768) in the Moscow region and New Moscow, *Conservation of animal diversity and wildlife management in Russia* (Moscow, 2019), p. 33.
24. iNaturalist / Available at: <https://www.inaturalist.org/observations/55853766>
25. Stepankova I. V., Afrin K. A., Ivolga R. A., Kidov A. A. Comparative Characteristics of Morphometric and Reproductive Parameters of the Common Brown Frog, *Rana temporaria* (Amphibia, Ranidae) from the Populations of Old and New Moscow, *Current Studies in Herpetology*, **20 (1/2)**, 53 (2020).
26. Petrovskiy A. B., Afrin K. A., Stepankova I. V., Shpagina A. A., Kidov A. A. On the Distribution of the European Common Spadefoot, *Pelobates fuscus* (Pelobatidae, Amphibia) in Moscow, *Current Studies in Herpetology*, **20 (3/4)**, 168 (2020).

УДК 591.182: 612.015.6/018: 612.741: 57.084.1

ОЦЕНКА В ЭКСПЕРИМЕНТАХ НА ЖИВОТНЫХ ЭФФЕКТОВ ДЛИТЕЛЬНО ВВОДИМОГО АЛЬФАКАЛЬЦИДОЛА НА ФУНКЦИОНАЛЬНОЕ СОСТОЯНИЕ СКЕЛЕТНОЙ МЫШЦЫ

Труш В. В.¹, Соколов В. И.²

¹*ГОУ ВПО «Донецкий национальный университет», Донецк, Украина*

²*Гуманитарно-педагогическая академия (филиал) ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет имени В.И. Вернадского», Ялта, Республика Крым, Россия*
E-mail: ver.trush@yandex.ru

В экспериментах на крысах с помощью электрофизиологических методов изучали влияние длительно вводимого альфакальцидола (АЛФ) в умеренной фармакологической дозе (0,06 мкг/кг, на протяжении от 10 до 60 дней) на функциональные параметры скелетной мышцы смешанного типа с преобладанием гликолитических волокон (*m. tibialis anterior*). Установлено, что АЛФ спустя 60 дней введения обусловил значимое в сравнении с контролем ($p < 0,05$) увеличение амплитуды одиночного (на 29 %) и тетанического (на 25–28 %) сокращений мышцы на фоне увеличения ее массы (на 27 %). Кроме этого, к данному сроку улучшались и силовые характеристики мышцы, в пользу чего свидетельствует значимо большее в сравнении с контролем ($p < 0,05$) отношение скорости развития тетануса при большей внешней нагрузке (70 г) относительно таковой при меньшей внешней нагрузке (20 г). Уже спустя 30 дней введения АЛФ наблюдалось улучшение относительно контроля скоростных характеристик мышцы, в пользу чего указывает увеличение скорости развития тетануса как при малых (на 58 %), так и больших внешних нагрузках (на 42 %), а также мощности тетанического сокращения (на 48 %). Спустя 60 дней ежедневного введения АЛФ наблюдалось значимое в сравнении с контролем ($p < 0,05$) увеличение продолжительности периода максимальной работоспособности мышцы (на 57 %), и уже после первых 10 дней введения АЛФ – более быстрое восстановление сократительных параметров мышцы после выполнения утомляющей работы.

Ключевые слова: скелетная мышца, витамин D, альфакальцидол, кальцитриол, крысы.

ВВЕДЕНИЕ

Альфакальцидол (АЛФ) является частично активированной формой витамина D₃, которая в результате гидроксирования в различных тканях превращается в активный гормон – кальцитриол (КТ), или витамин-D-гормон [1]. Установлено, что витамин-D-гормон способен регулировать не только фосфорно-кальциевый баланс, как полагали ранее, но и оказывать влияние на многие физиологические процессы [2]. Так, доказана способность КТ участвовать в регуляции пролиферации и дифференцировки клеток практически всех органов и тканей, обменных процессов в организме, функциональной активности сердечно-сосудистой, пищеварительной, иммунной, нервной и других систем организма [3]. В последние годы появляются данные в пользу способности КТ предотвращать развитие опухолевых заболеваний и уменьшать агрессивность их течения [4], предотвращать и ослаблять выраженность аутоиммунных реакций в организме [5], участвовать в регуляции

функционального состояния нервной системы, через стимуляцию синтеза нейротрофических агентов регулировать созревание и дифференцировку нервной ткани [6]. Выявлена способность КТ регулировать экспрессию IRS-I в клетках-мишенях для инсулина и ИФР-I [7], а также стимулировать экспрессию инсулиновых рецепторов в клетках-мишенях [8], тем самым оказывая влияние на реализацию эффектов инсулина в организме.

Наконец, в ряде исследований получены данные, свидетельствующие о позитивном влиянии КТ на мышечную систему. Так, выявлена способность КТ стимулировать метаболизм в мышечных волокнах (МВ) [9], увеличивать мышечную силу [10], стимулировать рост и дифференцировку МВ [11], повышать мышечную массу, диаметр и процент МВ II типа в скелетных мышцах (СМ) [12], улучшать их функцию у пожилых пациентов [13]. Некоторые авторы [14] высказывают предположение относительно эффективности КТ в снижении риска нервно-мышечных заболеваний. В литературе встречается и точка зрения, согласно которой дефицит КТ в организме может быть одной из причин мышечной боли, утомляемости и слабости у людей [15]. В частности, установлено, что дефицит витамина D может предопределять снижение синтеза мышечных белков, в том числе актина и тропонина, ослабление поглощения кальция саркоплазматическим ретикулумом (СР) и усиление апоптоза МВ [16], уменьшение диаметра МВ II типа [17], снижение мышечной силы, особенно в проксимальных группах мышц, и дегенеративные изменения МВ [6].

Установлено, что активация рецепторов для витамин-D-гормона (VDR) в скелетных МВ приводит к повышению активности генов, регулирующих их рост и дифференцировку, особенно МВ быстрого (гликолитического) типа, и подавлению активности миостатина – фактора, тормозящего синтез белков в МВ [17]. Обнаружена способность КТ ослаблять выраженность воспалительной реакции в МВ после сложной комбинированной физической нагрузки [18].

Вместе с тем, в наблюдениях некоторых авторов установлено, что улучшение функциональных параметров и массы СМ под действием АЛФ наблюдается только у обследуемых с исходным дефицитом витамина D [12, 19]. Еще в одной из работ показано, что позитивный эффект АЛФ на СМ может зависеть от возраста [20]. Имеются и сообщения о том, что лечение витамином D не оказывает достоверного позитивного влияния на мышечный аппарат пожилых людей [21]. В некоторых зарубежных обзорах литературы [22], основанных на клинических наблюдениях, а также исследованиях последних лет, выполненных на клеточных линиях и животных моделях, авторы приходят к выводу относительно неоднозначного влияния производных витамина D на структуру и функцию СМ.

Учитывая противоречивость литературных данных относительно влияния КТ на нервно-мышечный аппарат, отчасти обусловленных использованием разных доз витамина D и его метаболитов, а также разным возрастом обследуемых и сопутствующими патологиями, представляет интерес изучение в экспериментах на животных эффектов умеренных фармакологических доз АЛФ на состояние СМ смешанного типа, что позволит отчасти решить вопрос о его эффективности в плане улучшения мышечной функции.

В связи с этим *целью настоящей работы* явилось изучение в экспериментах на крысах электрофизиологических и сократительных параметров СМ смешанного типа (*m. tibialis anterior*) в динамике длительного введения в животный организм (на протяжении от 10 до 60 дней) АЛФ в дозе, соответствующей умеренной фармакологической для человека (0,06 мкг/кг/сутки). В качестве объекта исследования была выбрана передняя большеберцовая мышца, характеризующаяся существенным преобладанием МВ II типа, проявляющих высокую чувствительность к анаболическому действию КТ [17].

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Все эксперименты выполнены в соответствии с «Руководством по проведению доклинических исследований лекарственных средств» [23]. Животные содержались в помещении кафедры физиологии человека и животных Донецкого национального университета с температурой воздуха 22 °С и 12-часовым циклом свет/темнота, имели свободный доступ к воде и пище. Протокол эксперимента, содержание животных и выведение их из опыта были составлены в соответствии с Европейской конвенцией о защите животных, используемых в эксперименте (директива 86/609/ЕЕС).

Исследования проводились на 40 половозрелых молодых крысах-самках 4-5-ти месячного возраста с исходной массой тела 195–205 г. Животные были первоначально случайным образом разделены на 2 группы: контрольную (n=10, интактная, не подвергалась никаким воздействиям, К-группа) и опытную (n=30, животные получали альфакальцидол, АЛФ). АЛФ (торговая марка «Альфа D3-Тева» производства фирмы Catalent Germany Eberbach GmbH, Германия) вводили ежедневно в дозе 0,06 мкг/кг, перорально на протяжении 10, 30 и 60 дней. Таким образом, опытная группа была в последующем разделена на 3 подгруппы (по 10 животных в каждой) в зависимости от количества полученных инъекций АЛФ: 10АЛФ-, 30АЛФ- и 60АЛФ-группы, что позволило нам исследовать функциональное состояние мышцы в динамике введения препарата.

По окончании сроков введения АЛФ на наркотизированных животных (тиопентал натрия, 100 мг/кг, внутривенно) проводили острый опыт, в ходе которого изучали электрофизиологические и эргометрические параметры передней большеберцовой мышцы с помощью экспериментальной установки, включающей 3 канала [24, 25]: *канал электростимулятора* (использовался для электрического раздражения малоберцового нерва), *электромиографический* (предназначался для регистрации М-ответов мышцы) и *эргометрический* (служил для измерения высоты, на которую поднимается груз во время сокращения мышцы с грузом).

Канал электростимулятора представлен собственно электростимулятором (построен на основе функционального генератора ICL8038CCDP), оптронной гальванической развязкой и биполярными игольчатыми стальными электродами с межэлектродным расстоянием 1 мм. *Электромиографический канал* представлен отводящими биполярными игольчатыми стальными электродами (с межэлектродным расстоянием 1 мм) и электромиографическим биоусилителем (построен на основе измерительного усилителя INA118). *Эргометрический канал*

включал потенциометрический датчик ПТП-1 с усилителем. Все каналы были связаны с регистрирующим устройством – запоминающим цифровым осциллографом Tektronix (TDS2004C).

У наркотизированного животного препаровали малоберцовый нерв и подводили под него раздражающие электроды стимулятора. Стопу задней лапки с помощью лигатуры крепили к потенциометрическому датчику перемещения, а в среднюю часть передней большеберцовой мышцы вводили игольчатые ЭМГ-электроды с межэлектродным расстоянием 1 мм.

Алгоритм опыта состоял из 6 этапов. На 1-ом этапе опыта регистрировали несколько М-ответов мышцы, которые вызывали сверхпороговыми электрическими импульсами (сила тока – 500 мкА, длительность – 150 мкс каждый и частота – 0,2 имп/с). На основании записей М-ответов мышцы определяли их латентный период, амплитуду и длительность.

На 2-ом этапе в течение 4-х секунд регистрировалась серия из 40 М-ответов при стимуляции импульсами с линейно нарастающей силой тока от 2,5 до 500 мкА (частота – 10 имп/с, длительность импульсов – 150 мкс). На основании процентного изменения амплитуды максимального М-ответа относительно амплитуды минимального определяли приблизительное количество активируемых двигательных единиц (ДЕ) мышцы.

На 3-ем этапе в течение 5 секунд регистрировали одиночные сокращения мышцы с внешней нагрузкой 20 г при стимуляции нерва сверхпороговыми электрическими импульсами с частотой 4 имп/с (сила тока – 500 мкА, длительность – 150 мкс каждый). На основании полученных записей измеряли ряд параметров одиночного сокращения мышцы: амплитуду, латентный период, скорость укорочения и расслабления.

На 4-ом этапе дважды регистрировали сокращение мышцы с внешней нагрузкой 20 г и 70 г. Использовали серию сверхпороговых импульсов с плавно нарастающей частотой от 4 до 70 имп/с (длительность импульса – 50 мкс, сила тока – 1000 мкА). На основании полученных записей определяли максимально достижимую амплитуду тетануса, время и скорость ее достижения.

На 5-ом этапе опыта проводилась регистрация кривой тетанического сокращения мышцы с грузом 70 г в процессе выполнения утомляющей работы (УР). Последнюю индуцировали путем раздражения нерва импульсами силой тока 1000 мкА при частоте 70 имп/с (длительность импульсов – 0,5 мс) вплоть до фактического расслабления мышцы. На основании полученных записей определяли максимальную амплитуду тетанического сокращения мышцы, время ее достижения, мощность сокращения, продолжительность удержания амплитуды сокращения на максимально возможном уровне (период максимальной устойчивой работоспособности мышцы) и до момента полурасслабления (период субмаксимальной работоспособности).

На 6-ом этапе после выполнения мышцей УР вновь регистрировали серии М-ответов при частоте раздражения нерва 0,2 имп/с и при нарастающей силе тока от 2,5 до 500 мкА, а также одиночные сокращения при частоте стимуляции 4 имп/с.

По окончании острого опыта в условиях глубокого наркоза проводили эвтаназию животных путем введения летальной дозы (300 мг/кг) тиопентала натрия.

Статистическая обработка экспериментальных данных проводилась с использованием пакетов прикладных программ Microsoft Excel 2010 и Statistica 7.0. Статистическую значимость различий между двумя средними арифметическими величинами (при условии сохранения нормального закона распределения, W-тест Шапиро-Уилка) определяли с помощью двухвыборочного t-теста Стьюдента для выборок с различными дисперсиями при заданном уровне значимости $p < 0.05$. В общем случае сравнение анализируемых показателей и статистическую оценку различий проводили общепринятыми методами, используемыми в вариационной статистике, на основании проверки нулевой и альтернативной гипотез. Численное значение исследуемых параметров выражали в виде «среднее \pm стандартная ошибка».

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Изолированное введение АЛФ обусловило увеличение амплитуды М-ответов (на 41–68 % в 10АЛФ-60АЛФ-группах относительно контроля, $p < 0,05$) на фоне их нормальной длительности и отсутствия значимых изменений латентного периода (см. табл. 1). В связи с тем, что увеличение амплитуды М-ответов мышцы наблюдалось на фоне отсутствия значимых изменений их длительности, наиболее вероятной причиной этого увеличения может быть повышение степени синхронизации возбуждения в мышце и возможное увеличение амплитуды потенциала действия (ПД) МВ, в том числе обусловленное их гипертрофией.

Вместе с тем, масса мышцы значимо увеличивалась относительно контроля только спустя 60 дней введения препарата (на 27 %, $p < 0,05$), тогда как амплитуда М-ответа возрастала уже спустя первые 10 дней введения АЛФ. Следовательно, наиболее вероятной причиной увеличения амплитуды М-ответа на начальных этапах введения АЛФ (спустя первые 10–30 дней) является повышение степени синхронизации возбуждения в МВ или амплитуды их ПД.

В пользу способности КТ стимулировать анаболические процессы в МВ особенно гликолитического типа, что может сопровождаться некоторым увеличением массы мышцы, указывают другие исследователи. Так, установлено, что активация VDR в скелетных МВ сопровождается повышением экспрессии гена инсулиноподобного фактора роста 1Ес, выступающего в роли паракринного стимулятора мышечного роста и регенерации мышц при травме [26]. Выявлена способность КТ увеличивать через активацию MAPK-каскада миогенную дифференциацию и пролиферацию, усиливать рост МВ и подавлять активность миостатина – фактора, тормозящего синтез белков в МВ [17], значительно ослаблять экспрессию катаболических маркеров мышечной ткани (атрогина-1 или MuRF1) при СД уже через 2 недели лечения [27]. Все эти факты указывают в пользу способности КТ усиливать анаболизм структурных белков в МВ. И, действительно, некоторые авторы наблюдали увеличение мышечной массы, силы, диаметра и процента мышечных волокон II типа при длительном введении АЛФ [12], а также отмечают положительную корреляцию между уровнем кальцидиола в крови и мышечной массой и силой [26].

Таблица 1

Средние значения ($\bar{X} \pm m$) параметров М-ответа, количества активируемых двигательных единиц (ДЕ) и массы передней большеберцовой мышцы крыс контрольной группы и животных, получавших альфакальцидол (АЛФ) на протяжении от 10 до 60 дней

Группа животных		Параметры одиночного сокращения			Количество активируемых ДЕ	Масса мышцы, мг
		Латентный период, мс	Амплитуда, мВ	Длительность, мс		
К	исходное значение	1,2±0,05	2,6±0,22	5,5±0,51	14,1±1,21	399,8±6,81
	после УР	1,3±0,06	1,7±0,25 (-36±8,4•)	7,6±0,62 (+38±3,9•)	10,4±0,91 (-26±2,0•)	
10АЛФ	исходное значение	1,3±0,08	3,7±0,38, [+41*]	6,4±0,62	15,8±1,13	404,5±9,12
	после УР	1,5±0,13	2,6±0,28 (-30±7,2•), [+56*]	9,0±0,86 (+41±7,2•)	11,3±1,33 (-28±3,0•)	
30АЛФ	исходное значение	1,3±0,06	4,0±0,38, [+53*]	6,2±0,63	17,1±1,76	399,0±8,70
	после УР	1,5±0,11	2,6±0,29 (-34±7,1•), [+58*]	9,2±0,78 (+48±6,2•)	12,2±1,15 (-28±2,6•)	
60АЛФ	исходное значение	1,3±0,06	4,4±0,44, [+68*]	6,6±0,51	16,2±1,81	509,0±11,3 [+27*]
	после УР	1,4±0,09	3,1±0,34 (-29±6,1•), [+87*]	9,9±0,98 (+50±6,7•)	11,3±1,13 (-30±2,7•)	

Примечание: • – в круглых скобках указана статистически значимая разница показателя после выполнения утомляющей работы (УР) относительно исходного значения соответствующей группы (в %, $p < 0,05$); * – в квадратных скобках указана статистически значимая разница показателя относительно соответствующего значения контрольной группы (в %, $p < 0,05$).

В то же время, в литературе имеются сообщения, согласно которым АЛФ оказался эффективным в плане увеличения мышечной массы только у больных остеопорозом с исходно сниженной мышечной массой [19]. Более того, в некоторых работах установлено, что слишком высокие дозы витамина D, вводимые на протяжении 6 недель, способны вызывать атрофию СМ у старых крыс (27,5 месяцев), затрагивающую преимущественно МВ Пв типа (гликолитические в икроножной мышце), что связано с повышенной экспрессией MuRF-1 без сопутствующего изменения экспрессии инсулиноподобного фактора роста 1, миостатина и интерлейкина 6 [28].

В наших исследованиях получен факт увеличения амплитуды М-ответов СМ уже через 10 дней введения АЛФ, а массы мышцы – спустя 2-х месячный период введения препарата.

Несмотря на увеличение исходной амплитуды М-ответов, изолированное применение АЛФ существенным образом не отразилось на характере изменения параметров М-ответа после выполнения УР в сравнении с контролем. Так,

латентный период М-ответа после выполнения УР у животных АЛФ-групп, подобно контрольным особям, характеризовался некоторой тенденцией к удлинению, которая не имела статистически значимого характера (см. табл. 1). Исходно повышенная относительно контроля амплитуда М-ответа у животных всех АЛФ-групп уменьшалась после УР примерно в такой же степени, как и у контроля (на 30–29 % у крыс 10АЛФ-60АЛФ-групп относительно исходных значений), но оставалась значимо выше соответствующего контрольного значения ($p < 0,05$, см. табл. 1). Аналогично амплитуде длительность М-ответов у крыс АЛФ-групп после УР возрастала примерно в такой же степени, как и у контроля (на 41–50 % у животных 10АЛФ-60АЛФ-групп, см. табл. 1). Количество активируемых ДЕ мышцы у животных АЛФ-групп после УР уменьшалось относительно исходных значений примерно в такой же степени (на 28–30 % у животных 10АЛФ-60АЛФ-групп), как и у контрольных особей (на 26 %, см. табл. 1).

Таким образом, на основании характера изменения параметров М-ответа после выполнения УР относительно исходного уровня у крыс АЛФ-групп нельзя сделать однозначный вывод относительно эффективности АЛФ в повышении устойчивости мышцы к развитию утомления. Для полноты понимания характера влияния длительно вводимого АЛФ на устойчивость мышцы к утомлению необходимо также проанализировать изменение сократительных ее параметров после выполнения УР.

Анализ параметров одиночных сокращений мышцы показал, что изолированное введение АЛФ определенным образом отразилось как на исходных их значениях, так и на характере изменения после выполнения УР.

В частности, спустя первые 10 дней введения АЛФ параметры исходных (до УР) одиночных сокращений мышцы – их амплитуда, латентный период, скорость сокращения и расслабления – значимо не отличались от соответствующих контрольных значений (см. табл. 2). Вместе с тем, у животных 10АЛФ-группы не наблюдалось типичного для контрольных особей уменьшения амплитуды одиночных сокращений после УР, вследствие чего этот параметр после УР превышал соответствующее контрольное значение (на 67 %, $p < 0,05$, см. табл. 2). Кроме того, степень изменения скорости расслабления после выполнения УР у животных 10АЛФ-группы была значимо меньше таковой контроля (см. табл. 2). Данный факт, наряду с отсутствием значимого уменьшения амплитуды одиночных сокращений после УР, типичного для контрольных особей, свидетельствует в пользу более высокой устойчивости мышцы крыс 10АЛФ-группы к утомлению и, возможно, большей скорости ее восстановления после выполнения УР.

По мере дальнейшего введения АЛФ в организм, спустя 30–60 дней его введения, отмеченные особенности изменения параметров одиночного сокращения после УР, типичные для животных 10АЛФ-группы, сохранялись с той лишь разницей, что у крыс 30АЛФ- и 60АЛФ-групп наблюдалось и менее выраженное в сравнении с контролем изменение скорости укорочения после УР (см. табл. 2). Кроме того, спустя 2-х месячный период введения АЛФ имело место увеличение в сравнении с контролем амплитуды исходных одиночных сокращений (на 29 %, $p < 0,05$). Как уже обсуждалось ранее, к данному сроку значимо увеличивалась в сравнении с контролем и масса мышцы (на 27 %, $p < 0,05$, см. табл. 1). Данные факты

могут косвенно свидетельствовать в пользу некоторой гипертрофии МВ под действием длительно вводимого АЛФ.

Таблица 2

Средние значения ($\bar{X} \pm m$) параметров одиночного сокращения мышцы контрольных животных и крыс, получавших альфакальцидол (АЛФ) на протяжении от 10 до 60 дней

Параметры одиночного сокращения	Группы животных			
	К	10АЛФ	30АЛФ	60АЛФ
Амплитуда одиночного сокращения, мм				
исходная	3,0±0,22	3,5±0,34	3,2±0,26	3,9±0,23, [+29*]
Латентный период одиночного сокращения, мс				
исходный	11,2±0,57	12,3±0,59	12,4±0,68	9,8±0,48
после УР	16,0±0,83 (+43±7,5●)	16,5±0,76 (+34±4,8●)	17,0±1,1 (+37±6,8●)	14,2±1,17 (+44±8,0●)
Скорость укорочения при одиночном сокращении, мм/мс				
исходная	0,10±0,005	0,11±0,006	0,10±0,006	0,13±0,008, [+21*]
после УР	0,09±0,008	0,10±0,009	0,10±0,009	0,12±0,010
Скорость расслабления при одиночном сокращении, мм/мс				
исходная	0,05±0,004	0,06±0,007	0,05±0,007	0,06±0,005
после УР	0,04±0,004	0,06±0,009	0,06±0,009	0,06±0,011

Примечание: ● – в круглых скобках указана статистически значимая разница показателя относительно исходного значения соответствующей группы (в %, $p < 0,05$); * – в квадратных скобках указана статистически значимая разница показателя относительно соответствующего значения контрольной группы (в %, $p < 0,05$).

Таким образом, в наших исследованиях получен факт некоторого улучшения под действием АЛФ способности мышцы к восстановлению после выполнения УР, в пользу чего свидетельствует отсутствие типичного для контроля уменьшения амплитуды одиночных сокращений после УР у животных всех АЛФ-групп. Вместе с тем, как уже обсуждалось ранее, амплитуда М-ответов, в отличие от амплитуды одиночных сокращений, а также количество активируемых ДЕ после УР у животных АЛФ-групп значительно уменьшались относительно исходного уровня, и это уменьшение было аналогичным таковому контроля (см. табл. 1).

Известно, что восстановление мышечной силы после утомления происходит медленнее, чем восстановление возбудимости и амплитуды М-волны, что обусловлено длительным сохранением нарушения сопряжения между возбуждением и сокращением после утомления (в частности, уменьшением выделения кальция из СР в цитозоль) [29]. Наблюдаемое нами отсутствие значимого относительно исходного уровня уменьшения амплитуды одиночных сокращений после УР у животных АЛФ-групп на фоне снижения амплитуды М-ответов указывает в пользу более быстрого, в сравнении с контролем, восстановления у них эффективности сопряжения между возбуждением и

сокращением. В основе более быстрого восстановления эффективности электромеханического сопряжения после утомления под действием АЛФ может лежать способность его активного метаболита КТ индуцировать инфлюкс кальция в МВ в результате как активации ядерного механизма, так и негеномного действия, реализующегося вследствие активации с участием G-белков фосфалипазы D и аденилатциклазы, вызывающих активацию фосфокиназ C и A, обуславливающих стимуляцию высвобождения Ca^{2+} из внутриклеточных депо (боковых цистерн CP) и активацию потенциалзависимых Ca^{2+} каналов L-типа в плазматической мембране МВ, обуславливающую дополнительный вход кальция в МВ из межклеточных щелей [30]. Установлено также, что вызванное КТ повышение концентрации кальция в миоплазме МВ и культуре миобластов приводит к повышению концентрации связанного с мембранами кальмодулина при одновременном снижении его свободной фракции в цитозоле МВ [30]. Очевидно, какие-то из указанных механизмов действия КТ на выделение кальция в цитозоль МВ обусловили более быструю нормализацию электромеханического сопряжения в МВ животных АЛФ-групп после УР.

Следовательно, некоторое ухудшение после выполнения УР электрофизиологических параметров СМ (в частности, уменьшение амплитуды М-ответа) у животных АЛФ-групп, в отличие от контрольных особей, не отражалось на сократительных параметрах мышцы, что может быть связано с более быстрой нормализацией электромеханического сопряжения в их МВ.

Литературные данные относительно влияния АЛФ на устойчивость СМ к утомлению противоречивы. Если одни авторы [31] указывают в пользу эффективности АЛФ в поддержании нормальной силы мышц и их способности выдерживать нагрузки, то другие [13] отмечают его позитивный эффект на данные параметры только в случае исходного дефицита в организме, а третьи [32] – не выявили существенного влияния длительного (в течение 1 месяца) введения АЛФ на мышечную утомляемость у крыс, тогда как увеличение максимальной силы икроножной мышцы имело место.

Таким образом, в наших экспериментах получены факты значимого увеличения амплитуды одиночных сокращений мышцы спустя 60 дней введения АЛФ, сочетавшегося с увеличением мышечной массы, а также более быстрого восстановления сократительных параметров СМ после УР в сравнении с контролем. Вместе с тем, для более детальной оценки сократительной функции мышцы животных всех групп на заключительном этапе наших исследований мы сочли необходимым оценить параметры тетанического сокращения мышцы, которое она зачастую развивает в реальных условиях при необходимости развить достаточную для выполнения внешней работы мощность.

Для этого проводили регистрацию кривых сокращения мышцы (эргограмм) в условиях 6-ти секундных тетанусов с внешними нагрузками 20 г и 70 г, а также в момент выполнения мышцей УР в режиме гладкого тетануса с внешней нагрузкой 70 г вплоть до полного расслабления мышцы на фоне продолжающейся стимуляции.

Анализ параметров 6-ти секундных тетанических сокращений мышцы при малых (20 г) и больших (70 г) нагрузках показал следующее. Длительное изолированное

применение АЛФ существенно не повлияло на амплитуду тетануса при малой внешней нагрузке (20 г), но привело к существенному увеличению в сравнении с контролем скорости развития тетанического сокращения (на 58–63 % у животных 30АЛФ- и 60АЛФ-групп в сравнении с контролем, $p < 0,05$, см. табл. 3). При работе мышцы с большей внешней нагрузкой (70 г) наблюдалось значимое относительно контроля увеличение амплитуды тетануса у животных 60АЛФ-группы (на 25 %, $p < 0,05$) и существенное увеличение скорости развития тетануса (на 42–110 % у особей 30АЛФ-60АЛФ-групп относительно контроля, $p < 0,05$, см. табл. 3). Более того, уже спустя первые 10 дней введения АЛФ отмечалась выраженная тенденция к увеличению скорости развития тетануса при внешней нагрузке 70 г, достигавшая значимого характера спустя месяц ежедневного введения АЛФ (см. табл. 3). Кроме того, у животных 60АЛФ-группы процентное отношение скорости развития тетануса при нагрузке в 70 г к таковой при нагрузке в 20 г значимо превосходило ($p < 0,05$) соответствующее контрольное значение (см. табл. 3).

В целом, наблюдаемое нами увеличение скорости развития тетанического сокращения у животных 30АЛФ- и 60АЛФ-групп как при малой (20 г), так и при большей (70 г) нагрузке может отражать увеличение степени синхронизации возбуждения и сокращения МВ и отчасти быть обусловлено улучшением электромеханического сопряжения в них благодаря способности АЛФ увеличивать инфлюкс кальция в цитозоль МВ при возбуждении [30]. В то же время, наблюдаемое нами у животных 60АЛФ-группы увеличение в сравнении с контролем процентного отношения скорости развития тетануса при нагрузке в 70 г относительно таковой в 20 г косвенно свидетельствует в пользу не только улучшения электромеханического сопряжения в МВ, как одной из причин ускорения тетануса, но и в пользу увеличения силовых характеристик исследуемой мышцы.

Таблица 3

Средние значения ($\bar{X} \pm m$) амплитуды и скорости развития тетанического сокращения мышцы контрольных животных и крыс, получавших альфакальцидол (АЛФ) на протяжении от 10 до 60 дней, при внешних нагрузках 20 г и 70 г

Группа животных	Внешняя нагрузка – 20 г		Внешняя нагрузка – 70 г		Изменение скорости тетануса при нагрузке 70 г относительно таковой при нагрузке 20 г, %
	амплитуда тетануса, мм	скорость развития тетануса, мм/с	амплитуда тетануса, мм	скорость развития тетануса, мм/с	
Контроль	15,6±1,14	5,9±0,39	13,8±1,13	4,8±0,32	-20,0±4,19
10АЛФ	15,5±1,15	7,8±0,76	14,0±1,06	5,8±0,43	-24,7±4,56
30АЛФ	17,9±1,12	9,4±1,08, [+58*]	16,3±0,96	6,7±0,59, [+42*]	-28,4±4,29
60АЛФ	18,0±0,98	9,7±0,84, [+63*]	17,3±0,86, [+25*]	10,0±0,93, [+110*]	3,1±0,22*

Примечание: * – различия статистически значимы относительно соответствующего значения контрольной группы ($p < 0,05$).

При работе мышцы с внешней нагрузкой 70 г вплоть до полного ее расслабления на фоне продолжающейся электрической стимуляции малоберцового нерва выявлены следующие эффекты АЛФ на параметры тетанического сокращения мышцы при выполнении ею УР. Длительное введение АЛФ обусловило некоторое улучшение временных параметров тетанического сокращения мышцы. В частности, спустя 30 дней ежедневного введения АЛФ наблюдалась некоторая тенденция к увеличению максимально достижимой амплитуды тетануса, не достигавшая значимого относительно контроля уровня, но обусловившая увеличение мощности сокращения (на 39 %, $p < 0,05$, см. табл. 4). По окончании 2-х месячного периода введения АЛФ имело место значимое в сравнении с контролем увеличение амплитуды тетануса (на 28 %, $p < 0,05$), которое обусловило еще большее увеличение мощности тетанического сокращения (на 48 %, $p < 0,05$ относительно контроля), чем у животных 30АЛФ-группы (см. табл. 4). Как уже обсуждалось ранее, при анализе 6-ти секундных тетанусов с внешней нагрузкой 20 и 70 г также было выявлено увеличение скорости развития тетануса в 30АЛФ- и 60АЛФ-группах (см. табл. 3). Кроме того, по окончании 2-х месячного периода введения АЛФ наблюдалось также значимое в сравнении с контролем увеличение продолжительности периода максимальной устойчивой работоспособности мышцы (на 57 %, $p < 0,05$ относительно контроля, см. табл. 4).

Таким образом, длительное изолированное введение АЛФ (на протяжении 30–60 дней) обусловило как увеличение скорости развития тетануса и соответственно его мощности, так и удлинение периода максимальной устойчивой работоспособности мышцы, косвенно свидетельствующее в пользу повышения ее устойчивости к утомлению.

Таблица 4

Средние значения ($\bar{X} \pm m$) силовых и временных параметров тетанического сокращения мышцы контрольных животных и крыс, получавших альфакальцидол (АЛФ) на протяжении от 10 до 60 дней

Группа крыс	Амплитуда тетанического сокращения, мм	Время достижения максимальной амплитуды сокращения, с	Мощность тетанического сокращения, мВт	Длительность удержания максимальной амплитуды тетанического сокращения, с	Длительность снижения амплитуды сокращения на 50% относительно максимальной, с
Контроль	13,4±1,17	0,8±0,13	11,1±0,96	3,6±0,39	9,1±1,08
10АЛФ	13,1±1,19	0,7±0,11	13,1±1,28	3,6±0,28	8,4±0,97
30АЛФ	14,6±1,29	0,7±0,10	15,4±1,3, [+39*]	4,0±0,55	8,7±0,73
60АЛФ	17,1±1,0, [+28*]	0,7±0,09	16,4±1,8, [+48*]	5,7±0,5, [+57*]	10,0±0,95

Примечание: * – в квадратных скобках указана статистически значимая разница показателя относительно контрольной группы (в %, $p < 0,05$).

Подводя итог характеру влияния АЛФ на функциональное состояние СМ смешанного типа с преобладанием гликолитических МВ, необходимо отметить следующие факты. Во-первых, АЛФ спустя 60 дней введения обусловил значимое в сравнении с контролем ($p < 0,05$) увеличение амплитуды одиночного (на 29 %) и тетанического (на 25–28 %) сокращений мышцы на фоне увеличения ее массы (на 27 %). Кроме этого, к данному сроку улучшались и силовые характеристики мышцы, в пользу чего свидетельствует значимо большее в сравнении с контролем ($p < 0,05$) отношение скорости развития тетануса при большей внешней нагрузке (70 г) относительно таковой при меньшей внешней нагрузке (20 г). Во-вторых, уже спустя 30 дней введения АЛФ наблюдалось улучшение относительно контроля скоростных характеристик мышцы, в пользу чего указывает увеличение скорости развития тетануса как при малых (на 58 %), так и больших внешних нагрузках (на 42 %), а также мощности тетанического сокращения (на 48 %). Данные факты отражают увеличение под влиянием длительно вводимого АЛФ степени синхронизации возбуждения и сокращения в МВ, отчасти обусловленное улучшением электромеханического сопряжения в них. В-третьих, спустя 60 дней ежедневного введения АЛФ наблюдалось значимое в сравнении с контролем ($p < 0,05$) увеличение продолжительности периода максимальной работоспособности мышцы (на 57 %), и уже после первых 10 дней введения АЛФ – более быстрое восстановление сократительных параметров мышцы после выполнения УР, обусловленное, вероятнее всего, более быстрым восстановлением эффективности сопряжения между возбуждением и сокращением в МВ.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Полученные нами в модельных экспериментах на животных факты некоторого улучшения амплитудных и скоростных параметров сокращения СМ под влиянием длительно вводимого АЛФ (на протяжении 1–2-х месяцев) в умеренной фармакологической дозе (0,06 мкг/кг), а также повышения ее устойчивости к утомлению и более быстрого восстановления сократительных параметров мышцы после утомляющей работы, позволяют рассматривать АЛФ как одно из потенциальных средств, способных улучшить состояние нервно-мышечного аппарата не только в патологии, как указывает ряд авторов, но и в норме.

Список литературы

1. Крюкова И. В. Возможности альфакальцидола в профилактике и лечении различных форм остеопороза / И. В. Крюкова. – Российский медицинский журнал (РМЖ). – 2016. – № 20. – С. 1359–1363.
2. Combs F. G. Jr. (ed.). The vitamins. Fundamental aspects in nutrition and health. / Combs F. G. Jr. – 3rd ed. Amsterdam-Boston: Elsevier Academic Press, 2008. – 584 p.
3. Казюлин А. Н. Витамин D: монография / А. Н. Казюлин. – М.: ГОУ НТЦ АМТ, 2007 – 106 с.
4. Древаль А. В. Внекостные эффекты витамина D (обзор литературы) / Древаль А. В., Крюкова И. В., Барсуков И. А., Тевосян Л. Х. // Российский медицинский журнал (РМЖ). – 2017. – №1. – С. 53–56.
5. Azizieh F. Association between levels of vitamin D and inflammatory markers in healthy women / F. Azizieh, K. O. Alyahya, R. Raghupathy // J. Inflamm. Res. – 2016. – № 9. – P. 51–57.

6. Салухов В. В. Костные и внекостные эффекты витамина D, а также возможности медикаментозной коррекции его дефицита / В. В. Салухов, Е. А. Ковалевская, В. В. Курбанова // Медицинский совет. – 2018. – № 4. – С. 90–99.
7. Zheng J. S. Circulating 25-Hydroxyvitamin D, IRS1 variant rs2943641, and insulin resistance: replication of a gene-nutrient interaction in 4 populations of different ancestries / Zheng J. S., Parnell L. D., Smith C. E., Lee Y. C., Jamal-Allial A., Ma Y., D. Li, K. L. Tucker, J. M. Ordovás, Ch.-Q. Lai // Clin. Chem. – 2014. – V. 60, №1. – P. 186–196.
8. Vaidya A. Vitamin D and insulin sensitivity: Can gene association and pharmacogenetic studies of the vitamin d receptor provide clarity? / A. Vaidya, J. S. Williams // Metabolism. – 2012. – V. 61, №6. – P. 759–761.
9. Schacht E. The therapeutic effects of alfacalcidol on bone strength, muscle metabolism and prevention of falls and fractures / E. Schacht, F. Richey, J.-Y. Reginster // J. Musculoskelet. Neuronal. Interact. – 2005. – V. 5, №3. – P. 273–284.
10. Judd S. E. Vitamin D deficiency and incident stroke risk in community-living black and white adults / S. E. Judd, C. J. Morgan, B. Panwar, V. J. Howard, V. G. Wadley, N. S. Jenny, B. M. Kissela, O. M. Gutiérrez // Int. J. Stroke. – 2016. – V. 11, №1. – P. 93–102.
11. Громова О. А. Полногеномный анализ сайтов связывания рецептора витамина D / О. А. Громова, И. Ю. Трошин, В. Б. Спиричев // Медицинский совет. – 2016. – № 1. – С. 12–21.
12. Stockton K. A. Effect of vitamin D supplementation on muscle strength: a systematic review and meta-analysis / K. A. Stockton, K. Mengersen, J. D. Paratz, D. Kandiah, K. L. Bennell // Osteoporos. Int. – 2011. – Vol. 22. – P. 859–871
13. Capatina C. Short-term Administration of Alphacalcidol is Associated with More Significant Improvement of Muscular Performance in Women with Vitamin D Deficiency Compared to Native Vitamin D / C. Capatina, A. Carageorghopol, M. Berteanu, C. Poiana // Exp. Clin. Endocrinol. Diabetes. – 2016. – V. 124, №8. – P. 461–465.
14. Peterlik M. Vitamin D and calcium insufficiency-related chronic diseases: molecular and cellular pathophysiology / M. Peterlik, H. S. Cross // Eur. J. Clin. Nutr. – 2009. – V. 63, №12. – P. 1377–1386.
15. Heidari B. Association between nonspecific skeletal pain and vitamin D deficiency / B. Heidari, J. S. Shirvani, A. Firouzjahi, P. Heidari, K. O. Hajian-Tilaki // Int. J. Rheum. Dis. – 2010. – V. 13, №4. – P. 340–346.
16. Ceglia L. Vitamin D and its role in skeletal muscle / L. Ceglia // Curr. Opin. Clin. Nutr. Metab. Care. – 2009. – Vol. 12, №6. – P. 628–633
17. Gröber U. Vitamin D – Die Heilkraft des Sonnenvitamins / U. Gröber, M. F. Holick // Zeitschrift. für Orthomolekulare Medizin. – 2020. – T. 18, №02. – P. 30–31.
18. Barker T. Supplemental vitamin D enhances the recovery in peak isometric force shortly after intense exercise / T. Barker, E. D. Schneider, B. M. Dixon, V. T. Henriksen, L. K. Weaver // Nutr. Metab. (Lond). – 2013. – V. 10, №1. – P. 69.
19. Ito S. Use of alfacalcidol in osteoporotic patients with low muscle mass might increase muscle mass: an investigation using a patient database / S. Ito, A. Harada, T. Kasai, Y. Sakai, M. Takemura, Y. Matsui, T. Hida, N. Ishiguro // Geriatr. Gerontol. Int. – 2014. – V. 14, № 1. – P. 122–128
20. Hara S. Effects of alfacalcidol on back extensor strength gained through back extensor exercise in postmenopausal women with osteoporosis / S. Hara, K. N. Kishimoto, H. Okuno, M. Tanaka, H. Saito, A. Oizumi, E. Itoi // Am. J. Phys. Med. Rehabil. – 2013. – V. 92, №2. – P. 101–110.
21. Janssen H. C. Vitamin D deficiency, muscle function, and falls in elderly people / H. C. Janssen, M. M. Samson, H. J. Verhaar // Am. J. Clin. Nutr. – 2002. – V. 75, №4. – P. 611–615.
22. Vervloet M. Clinical uses of 1-alpha-hydroxycholecalciferol / M. Vervloet // Curr. Vasc. Pharmacol. – 2014. – V. 12, №2. – P. 300–305.
23. Руководство по проведению доклинических исследований лекарственных средств. / Миронова А. Н., Бунатян Н. Д., ред. Москва: Минздрав РФ, ЗАО «Гриф и К», 2012. – 944 с.
24. Труш В. В. Сравнительная оценка влияния длительно вводимого адреналина и селективного β 2-адреноагониста формотерола на функциональное состояние скелетной мышцы белых крыс / В. В. Труш, В. И. Соболев // Ученые записки Крымского федерального университета имени В. И. Вернадского. Биология. Химия. – 2018. – Т. 4(70), №1. – С. 118–136.

25. Труш В. В. Оценка эффективности β_2 -адреноагониста формотерола в компенсации электрофизиологических проявлений стероидной миопатии в модельных экспериментах на животных / В. В. Труш, В. И. Соболев // Патологическая физиология и экспериментальная терапия. – 2019. – Том. 63, № 3. – С. 35–47.
26. Hamilton B. Vitamin D and human skeletal muscle / B. Hamilton // Scand. J. Med. Sci. Sports. – 2010. – V. 20, № 2. – P. 182–190.
27. Akagawa M. Effects of activated vitamin D, alfacalcidol, and low-intensity aerobic exercise on osteopenia and muscle atrophy in type 2 diabetes mellitus model rats / M. Akagawa, N. Miyakoshi, Y. Kasukawa, Y. Ono, Y. Yuasa, I. Nagahata, C. Sato, H. Tsuchie, H. Nagasawa, M. Hongo, Y. Shimada // PLoS One. – 2018. – V. 13, №10. – P. e0204857.
28. Testerink J. Effects of alfacalcidol on circulating cytokines and growth factors in rat skeletal muscle / J. Testerink, R. T. Jaspers, J. Rittweger, A. de Haan, H. Degens // J. Physiol Sci. – 2011. – V. 61, №6. – P. 525–535.
29. MacIntosh B. R. Skeletal Muscle: Form and Function. / MacIntosh B. R., Gardiner P. F., McComas A. J. – Champaign: Human Kinetics, 2006. – 423 p.
30. Vazquez G. Involvement of calmodulin in 1,25-dihydroxyvitamin D₃ stimulation of store-operated Ca²⁺ influx in skeletal muscle cells / G. Vazquez, A. R. de Boland, R. Boland // J. Biol. Chem. – 2000. – V. 275, №21. – P. 16134–16138.
31. Pludowski P. Vitamin D effects on musculoskeletal health, immunity, autoimmunity, cardiovascular disease, cancer, fertility, pregnancy, dementia and mortality – a review of recent evidence / P. Pludowski, M. F. Holick, S. Pilz, C. L. Wagner, B. W. Hollis, W. B. Grant, Y. Shoenfeld, E. Lerchbaum, D. J. Llewellyn, K. Kienreich, M. Soni // Autoimmun. Rev. – 2013. – V. 12, №10. – P. 976–989.
32. Kasukawa Y. Effects of alfacalcidol on muscle strength, muscle fatigue, and bone mineral density in normal and ovariectomized rats / Y. Kasukawa, N. Miyakoshi, S. Maekawa, K. Nozaka, H. Noguchi, Y. Shimada // Biomed. Res. – 2010. – V. 31, №5. – P. 273–279.

EVALUATION IN EXPERIMENTS ON ANIMALS OF THE EFFECTS OF LONG-TERM ADMINISTRATION OF ALPHACALCIDOL ON THE FUNCTIONAL STATE OF THE SKELETAL MUSCLE

Trush V. V.¹, Sobolev V. I.²

¹*Donetsk national university, Donetsk, Ukraine*

²*V. I. Vernadsky Crimean Federal University, Simferopol, Russia*

E-mail: ver.trush@yandex.ru

The aim of the research was to study the functional parameters of skeletal muscle of the mixed type with a predominance of glycolytic fibers (*m. tibialis anterior*) in the dynamics of administration of alfacalcidol (ALF) in a medium pharmacological dose (0,06 $\mu\text{g}/\text{kg}$) of 10 to 60 days in experiments on animals.

Methods. The experiments were performed on sexually mature female rats (of 4–5 months of age), initially divided into 2 groups: control (n=10, C-group) and experimental (n=30, ALF-group), animals of which received alfacalcidol (ALF, "Alpha D3-Teva", Catalent Germany Eberbach GmbH, Germany) at a dose of 0,06 $\mu\text{g}/\text{kg}$ (daily, orally) for 10, 30 and 60 days. Thus, the experimental group was subsequently divided into 3 subgroups (n=10 in each), each of which received ALF during different time intervals: 10 (10ALF-group), 30 (30ALF-group) and 60 (60ALF-group) days.

At the end of the ALF administration on anesthetized animals (sodium thiopental, 100 mg/kg, intraperitoneally) an acute experiment some functional parameters of the tibialis anterior muscle were studied using the stimulation electromyography and myography methods under conditions of induced excitation and contraction of the muscle, which were induced by stimulation of the fibular nerve with a suprathreshold electric current.

Results. It was found that ALF after 60 days of administration caused a significant increase of the amplitude of single (by 29 %) and tetanic (by 25–28 %) muscle contractions in comparison with the control ($p < 0,05$) against the background of an increase in its mass (by 27 %). Moreover, the strength characteristics of the muscle improved by this time, which is evidenced by the significantly higher ratio of the rate of development of tetanus with a greater external load (70 g) relative to that with a lower external load (20 g). Already after 30 days of ALF administration, an improvement of the speed characteristics of the muscle relative to the control was observed, which is indicated by an increase in the rate of development of tetanus both at low (by 58 %) and large external loads (by 42 %), as well as by the power of tetanic contraction (by 48 %). These facts reflect an increase in the degree of synchronization of excitation and contraction in muscle fibers under the influence of long-term administration of ALF, partly due to an improvement in the electromechanical coupling in them. After 60 days of daily administration of ALF, a significant increase in the duration of the period of maximum muscle performance (by 57 %) was observed in comparison with the control ($p < 0,05$), and after the first 10 days of administration of ALF was observed a faster recovery of the contractile parameters of the muscle after performing fatiguing work, most likely due to a more rapid recovery of the efficiency of the coupling between excitation and contraction in muscle fibers.

Conclusion. Obtained in model experiments on animals, the facts of some improvement of the amplitude and speed parameters of skeletal muscle contraction under the influence of long-term administration of ALF (for 1–2 months) in a medium pharmacological dose (0,06 $\mu\text{g}/\text{kg}$), as well as an increase in its resistance to fatigue and faster recovery of the contractile parameters of the muscle after fatiguing work, allow us to consider ALF as one of the potential means that can improve the state of the neuromuscular apparatus not only in pathology, but also in normal conditions.

Keywords: skeletal muscle, vitamin D, alfacalcidol, calcitriol, rats.

References

1. Kryukova I. V. Alfacalcidol for the prevention and treatment of osteoporosis, *Rossiiskij medicinskij zhurnal (Russian medical journal)*, **20**, 1359 (2016) (In Russian)
2. Combs F. G. Jr. (ed.). *The vitamins. Fundamental aspects in nutrition and health*. (3rd ed., Amsterdam-Boston: Elsevier Academic Press, 2008).
3. Kazyulin A. N. Vitamin D: monograph. (Moscow: GOU NTC AMT, 2007) (In Russian)
4. Dreval' A. V., Kryukova I. V., Barsukov I. A., Tevosyan L. H. The extra-osseous effects of vitamin D (literature review), *Rossiiskij medicinskij zhurnal (Russian medical journal)*, **1**, 53 (2017) (In Russian)
5. Azizieh F., Alyahya K. O., Raghupathy R. Association between levels of vitamin D and inflammatory markers in healthy women, *J. Inflamm. Res.*, **9**, 51 (2016). DOI: <https://doi.org/10.2147/jir.s103298>

6. Salukhov V. V., Kovalevskaya E. A., Kurbanova V. V. Osteal and extraosteal effects of vitamin D and its opportunities of medication correction of its deficiency, *Meditsinskiy sovet (Medical council)*, 4, 90 (2018). DOI: <https://doi.org/10.21518/2079-701X-2018-4-90-99>. (In Russian)
7. Zheng J. S., Parnell L. D., Smith C.E., Lee Y.C., Jamal-Allial A., Ma Y., Li D., Tucker K. L., Ordovás J. M., Lai Ch.-Q. Circulating 25-Hydroxyvitamin D, IRS1 variant rs2943641, and insulin resistance: replication of a gene-nutrient interaction in 4 populations of different ancestries, *Clin. Chem.*, **60** (1), 186 (2014). DOI: <https://doi.org/10.1373/clinchem.2013.215251>
8. Vaidya A., Williams J. S. Vitamin D and insulin sensitivity: Can gene association and pharmacogenetic studies of the vitamin d receptor provide clarity? *Metabolism*, 61 (6), 759 (2012). DOI: <https://doi.org/10.1016/j.metabol.2011.12.009>
9. Schacht E., Richey F., Reginster J-Y. The therapeutic effects of alfacalcidol on bone strength, muscle metabolism and prevention of falls and fractures, *J. Musculoskelet. Neuronal. Interact.*, **5** (3), 273 (2005).
10. Judd S.E., Morgan C. J., Panwar B., Howard V. J., Wadley V. G., Jenny N. S., Kissela B. M., Gutiérrez O. M. Vitamin D deficiency and incident stroke risk in community-living black and white adults. *Int. J. Stroke*, **11** (1), 93 (2016). DOI: <https://doi.org/10.1177/1747493015607515>
11. Gromova O. A., Troshin I. Yu., Spirichev V. B. Genome-wide view of vitamin D receptor binding sites. *Meditsinskiy Sovet (Medical council)*, 1, 12 (2016). (In Russian)
12. Stockton K. A., Mengersen K., Paratz J. D. Kandiah D., Bennell K.L. Effect of vitamin D supplementation on muscle strength: a systematic review and meta-analysis, *Osteoporos. Int.*, 22, 859 (2011). DOI: <https://doi.org/10.1007/s00198-010-1407-y>
13. Capatina C., Caragheorgeopol A., Berceanu M., Poiana C. Short-term Administration of Alphacalcidol is Associated with More Significant Improvement of Muscular Performance in Women with Vitamin D Deficiency Compared to Native Vitamin D, *Exp. Clin. Endocrinol. Diabetes*, **124** (8), 461 (2016). DOI: <https://doi.org/10.1055/s-0042-103932>
14. Peterlik M., Cross H. S. Vitamin D and calcium insufficiency-related chronic diseases: molecular and cellular pathophysiology, *Eur. J. Clin. Nutr.*, **63** (12), 1377 (2009). DOI: <https://doi.org/10.1038/ejen.2009.105>
15. Heidari B., Shirvani J. S., Firouzjahi A., Heidari P., Hajian-Tilaki K. O. Association between nonspecific skeletal pain and vitamin D deficiency. *Int. J. Rheum. Dis.*, **13** (4), 340 (2010). DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1756-185x.2010.01561.x>
16. Ceglia L. Vitamin D and its role in skeletal muscle, *Curr. Opin. Clin. Nutr. Metab. Care*, **12** (6), 628 (2009). DOI: <https://doi.org/10.1097/mco.0b013e328331c707>
17. Gröber U., Holick M. F. Vitamin D – Die Heilkraft des Sonnenvitamins. *Zeitschrift für Orthomolekulare Medizin*, **18** (02), 30 (2020). DOI: <https://doi.org/10.1055/a-1207-4076>
18. Barker T., Schneider E. D., Dixon B. M., Henriksen V. T., Weaver L. K. Supplemental vitamin D enhances the recovery in peak isometric force shortly after intense exercise. *Nutr. Metab. (Lond.)*, **10** (1), 69 (2013). DOI: <https://doi.org/10.1186/1743-7075-10-69>
19. Ito S., Harada A., Kasai T., Sakai Y., Takemura M., Matsui Y., Hida T., Ishiguro N. Use of alfacalcidol in osteoporotic patients with low muscle mass might increase muscle mass: an investigation using a patient database, *Geriatr. Gerontol. Int.*, 14 (1), 122 (2014). DOI: <https://doi.org/10.1111/ggi.12222>
20. Hara S., Kishimoto K. N., Okuno H., Tanaka M., Saito H., Oizumi A., Itoi E. Effects of alfacalcidol on back extensor strength gained through back extensor exercise in postmenopausal women with osteoporosis, *Am. J. Phys. Med. Rehabil.*, **92** (2), 101 (2013). DOI: <https://doi.org/10.1097/PHM.0b013e31826ed991>
21. Janssen H. C., Samson M. M., Verhaar H. J. Vitamin D deficiency, muscle function, and falls in elderly people, *Am. J. Clin. Nutr.*, **75** (4), 611 (2002). DOI: <https://doi.org/10.1093/ajcn/75.4.611>
22. Vervloet M. Clinical uses of 1-alpha-hydroxycholecalciferol, *Curr. Vasc. Pharmacol.*, **12** (2), 300 (2014). DOI: <https://doi.org/10.2174/15701611113119990132>
23. *Rukovodstvo po provedeniyu doklinicheskikh issledovaniy lekarstvennykh sredstv (Guidelines for conducting preclinical studies of medicines)*, A. N. Mironova, N. D. Bunatyan, eds. Moscow: Minzdrav RF, ZAO «Grif i K»; 2012. (In Russian)
24. Trush V. V., Sobolev V. I. Comparative assessment of the influence of long-term administration of adrenaline and selective β_2 -adrenoagonist formoterol on the functional condition of the skeletal muscle of

- white rats, *Scientific Notes of V. I. Vernadsky Crimean Federal University. – Series: Biology, Chemistry*, **4** (70), 118 (2018). (In Russian).
25. Trush V. V., Sobolev V. I. Beta-2-adrenergic agonist formoterol efficiency evaluation in compensation of the electrophysiological manifestations of steroid myopathy in model experiments on the animals, *Pathological physiology and experimental therapy*, **63** (3), 35 (2019). (In Russian). DOI: <https://doi.org/10.25557/0031-2991.2019.03.35-47>
 26. Hamilton B. Vitamin D and human skeletal muscle, *Scand. J. Med. Sci. Sports*, **20** (2), 182 (2010). DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1600-0838.2009.01016>.
 27. Akagawa M., Miyakoshi N., Kasukawa Y., Ono Y., Yuasa Y., Nagahata I., Sato C., Tsuchie H., Nagasawa H., Hongo M., Shimada Y. Effects of activated vitamin D, alfacalcidol, and low-intensity aerobic exercise on osteopenia and muscle atrophy in type 2 diabetes mellitus model rats, *PLoS One*, **13** (10), e0204857 (2018). DOI: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0204857>
 28. Testerink J., Jaspers R. T., Rittweger J., de Haan A., Degens H. Effects of alfacalcidol on circulating cytokines and growth factors in rat skeletal muscle, *J. Physiol. Sci.*, **61** (6), 525 (2011). DOI: <https://doi.org/10.1007/s12576-011-0174-7>
 29. MacIntosh B. R., Gardiner P. F., McComas A. J. *Skeletal Muscle: Form and Function*. – Champaign: Human Kinetics, 2006. – 423 p. DOI: <https://doi.org/10.5040/9781492596912>
 30. Vazquez G., de Boland A. R., Boland R. Involvement of calmodulin in 1,25-dihydroxyvitamin D₃ stimulation of store-operated Ca²⁺ influx in skeletal muscle cells, *J. Biol. Chem.*, **275** (21), 16134 (2000). DOI: <https://doi.org/10.1074/jbc.c901008199>
 31. Pludowski P., Holick M. F., Pilz S., Wagner C. L., Hollis B. W., Grant W. B., Shoenfeld Y., Lerchbaum E., Llewellyn D. J., Kienreich K., Soni M. Vitamin D effects on musculoskeletal health, immunity, autoimmunity, cardiovascular disease, cancer, fertility, pregnancy, dementia and mortality – a review of recent evidence, *Autoimmun. Rev.*, **12** (10), 976 (2013). DOI: <https://doi.org/10.1016/j.autrev.2013.02.004>
 32. Kasukawa Y., Miyakoshi N., Maekawa S., Nozaka K., Noguchi H., Shimada Y. Effects of alfacalcidol on muscle strength, muscle fatigue, and bone mineral density in normal and ovariectomized rats, *Biomed. Res.*, **31** (5), 273 (2010). DOI: <https://doi.org/10.2220/biomedres.31.273>

УДК 577.115.3 +577.359

DOI 10.37279/2413-1725-2021-7-1-218-228

СОСТОЯНИЕ ЭКОСИСТЕМ ВОСТОЧНОГО И ЗАПАДНОГО БАССЕЙНОВ САКСКОГО ОЗЕРА (РЕСПУБЛИКА КРЫМ)

Чабан В. В.¹, Руднева И. И.², Гуськова Н. В.¹, Шайда В. Г.²

¹*ГУНПП РК «Крымская ГГРЭС», Саки, Республика Крым, Россия.*

²*Институт биологии южных морей им. А.О. Ковалевского РАН, Севастополь, Россия*

E-mail: vic_84@list.ru

Сравнительный анализ катионов и анионов рапы Сакского озера, проведенный в августе 2019 г, показал существенные различия в их содержании. рН, соленость, удельный вес и окислительно-восстановительный потенциал рапы Восточного бассейна озера был существенно ниже по сравнению с соответствующими значениями Западного бассейна, тогда как уровень растворенного кислорода выше. В рапе Восточного бассейна Сакского озера в августе 2019 г. присутствовали все стадии артемии, в рапе Западного бассейна только цисты. Полученные данные могут отражать специфику процессов, происходящих в экосистемах двух водоемов и их зависимость от антропогенного воздействия.

Ключевые слова: гидрохимические показатели, соленость, катионы, анионы, рН.

ВВЕДЕНИЕ

Сакское озеро — одно из наиболее изученных крупных соленых озер Крымского полуострова (рис.1). В экосистеме озера под воздействием специфических гидрометеорологических, гидрогеологических, гидрохимических и биологических условий происходило формирование донных отложений, которые являются природными лечебными ресурсами. В настоящее время Сакское озеро разделено на семь изолированных друг от друга бассейнов, два из которых лечебные, а остальные выполняют защитную функцию от попадания паводковых и сточных вод. Для стабильного функционирования экосистемы озера в условиях интенсивного техногенеза организована сложная гидротехническая система (ГТС) защиты, состоящая из разделительных дамб, обводных каналов, насосных станций и вододелителей. С помощью этих конструкций осуществляется отведение от лечебных бассейнов пресных вод из защитных водоемов и расположенных поблизости подтопляемых территорий. Для компенсации интенсивного испарения рапы в жаркое время года посредством ГТС из Каламитского залива Черного моря происходит подача морской воды, гидрохимические параметры которой имеют сходство с рапой лечебных водоемов. Таким образом искусственно регулируется водно-солевой баланс, что, в свою очередь, обеспечивает поддержание физико-химических параметров гидроминеральных ресурсов в пределах установленных кондиций, а также поддерживает благоприятные условия для развития гидробионтов [1, 2].

На протяжении последних пятидесяти лет Восточный бассейн Сакского озера, являющийся участком добычи пелоидов (лечебных иловых сульфидных грязей) и озерной рапы, почти полностью был исключен из естественной системы питания поверхностными и грунтовыми водами и привносимыми ими продуктами почвенной эрозии. В этих условиях водоем практически трансформировался в грязевой бассейн, в котором геохимическая функция литосферы оказывает незначительное влияние на процесс формирования донных отложений. В результате в последние годы наблюдается некоторое приостановление естественного грязеобразования [3, 4].

Восточный бассейн является участком промышленной добычи природных лечебных гидроминеральных ресурсов: лечебных грязей и рапы. Площадь водного зеркала составляет 1,27 км². Максимальные глубины зафиксированы в восточной части бассейна, в районе добычи лечебных грязей, где они составляют 0,7–2,0 м. Среднемноголетний уровень водоема -1,02 м.абс. При регулировании водного баланса Восточного бассейна необходимо стремиться к поддержанию оптимального уровня рапы в диапазоне от -0,8 до 1,05 м.абс.

Западный бассейн – самый крупный из водоемов Сакского озера, его площадь составляет 3,8 км², а диапазон глубин изменяется от 0,5 м до 1,0 м. Добыча минеральных ресурсов в акватории Западного бассейна не проводится.

В настоящее время прилегающие к озеру территории претерпевают повышенную антропогенную нагрузку в связи с интенсивным ведением строительных работ (реконструкция набережных и коммуникационных сетей города), что создает необходимость оценить экологическое состояние лечебных водоемов, в частности, содержание различных ионов, в том числе таких элементов как Sr⁺², As⁺⁵, Zn⁺², Cu⁺², Cd⁺², Co⁺², Ni⁺² и Pb⁺², избыточные концентрации которых в водных объектах могут нанести существенный вред экосистеме и биоте, а также здоровью человека, использующего водные ресурсы [5].

В связи с этим целью настоящей работы явился сравнительный анализ характерных физико-химических параметров рапы Восточного и Западного бассейнов Сакского озера, проведенный в период интенсивной застройки его берегов летом 2019 г.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Пробы рапы отбирали в августе 2019 г в двух контрольных участках Западного и Восточного бассейнов Сакского озера. Содержание ионов и катионов определяли титриметрическим методом с использованием лабораторных весов типа ВТУ210 и HR-150AZ, фотоколориметрическим методом с применением спектрофотометра SPEKOL-11 и колориметра фотоэлектрического концентрационного КФК-2, а также атомно-абсорбционным методом на атомно-абсорбционном спектрофотометре ААС-1, как было описано ранее [6]. Указанные лабораторные исследования проведены на базе Центральной испытательной лаборатории ГУНПП РК «Крымская ГПРЭС» по типовым методикам в соответствии с действующими нормативными документами.

Показатели рН, окислительно-восстановительного потенциала (Eh) и содержания кислорода оценивали в лабораторных условиях при помощи анализатора Expert-001 («Ecopix-Expert Моеха CoLtd.», Россия) с использованием соответствующих селективных электродов фирмы «Вольта» (Россия). Соленость воды измеряли с помощью рефрактометра PAL-06S LTA GO (Япония) и выражали в промилле (‰). Перед определением всех параметров образцы воды выдерживали в холодильнике при +4° С в течение 4–6 часов после отбора проб. Все измерения проводили в лаборатории Экотоксикологии ИнБЮМ им. А.О. Ковалевского РАН. Измерения проводили в трех повторностях, вычисляли среднее значение.

Анализ жизненных стадий популяций артемии из двух водоемов проводили путем отбора проб рапы с помощью специального устройства объемом рабочей части 5 л. Пробы концентрировали с использованием мелкоячеистого фильтра и подсчитывали различные жизненные стадии рачка под бинокулярным микроскопом МБС-10, показатели выражали в экземпляр/л [7].



Рис. 1. Схема расположения точек отбора проб в лечебных бассейнах.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Результаты исследований физико-химических показателей рапы Восточного и Западного бассейнов Сакского озера приведены в Табл. 1.

Таблица 1.
Физико-химические показатели рапы Восточного и Западного бассейнов
Сакского озера

Показатели		Места отбора проб	
		Восточный бассейн	Западный бассейн
Органолептические показатели		прозрачная, бесцветная, без запаха	сильноопалесцирующая, светло-розового цвета, без запаха
рН	ед. рН	7,75	7,44
Удельный вес	г/см ³	1,14	1,21
Содержание кислорода	мг/л	4,56	3,80
Соленость	‰	266	334
Eh	мВ	-37,7	-11,8

Из приведенных данных видно, что физико-химические показатели рапы в двух бассейнах различаются: соленость и удельный вес выше в рапе Западного бассейна, тогда как остальные параметры снижены по сравнению с соответствующими значениями рапы Восточного бассейна. Более существенные различия отмечены для содержания катионов в воде двух исследуемых водоемов (табл. 2).

Как можно видеть, в отличие от рапы Восточного бассейна, ионы аммония в Западном бассейне не обнаружены. Содержание катионов лития, калия, натрия, магния, кальция и стронция в рапе Восточного водоема почти в 1,5–2 раза меньше, чем в рапе Западного бассейна. Существенно снижена концентрация ионов Fe⁺², Fe⁺³ и Cd⁺², тогда как содержание Zn⁺² выше. Ионы кобальта, мышьяка, меди и свинца обнаружены в следовых количествах, и их концентрация не отличается в двух водоемах. Таким образом, суммарное содержание катионов в рапе Западного бассейна превышает соответствующие показатели рапы Восточного бассейна в 1,5 раза, что согласуется с данными о солености и величине удельного веса, приведенных в табл. 1.

Содержание анионов в рапе двух тестируемых бассейнов представлено в табл. 3. Анион PO₄⁻⁵ не обнаружен в рапе обоих бассейнов, CO₃⁻² идентифицирован только в воде Восточного бассейна, а NO₂⁻ в рапе Западного бассейна. Концентрация нитратов и фторидов выше в Восточном бассейне, а остальных тестируемых анионов – в Западном. Таким образом, общая сумма анионов, так же как и катионов, в 1,5 раза выше в рапе Западного бассейна по сравнению с соответствующими значениями рапы Восточного бассейна. Аналогичная закономерность установлена и для общей суммы анионов, которая в 1,5 раза превышает этот показатель в Западном бассейне по сравнению с Восточным (301,54 против 196,67 соответственно).

Содержание недиссоциированных ионов и некоторых других показателей в рапе Восточного и Западного бассейнов Сакского озера приведено в таблице 4. Концентрация метакремниевой кислоты, перманганатная окисляемость и сухой

остаток значительно выше в рапе Западного бассейна, сероводород не обнаружен, а содержание ортоборной кислоты одинаково.

Таблица 2.
Содержание катионов в рапе Восточного и Западного бассейнов Сакского озера

Место отбора проб		Восточный бассейн			Западный бассейн		
Компоненты	Ион	г/дм ³	мг/экв	% мг/экв	г/дм ³	мг/экв	% мг/экв
Аммоний	NH ₄ ⁺	0,00001	-	-	не обн.	-	-
Литий	Li ⁺	0,001	0,14	-	0,002	0,29	-
Калий	K ⁺	2,20	56,41	1,66	3,20	81,84	1,58
Натрий	Na ⁺	59,73	2596,81	76,64	90,95	3954,45	76,23
Магний	Mg ⁺²	8,44	694,14	20,48	13,68	1125,03	21,69
Кальций	Ca ⁺²	0,81	40,43	1,19	0,47	23,66	0,46
Стронций	Sr ⁺²	0,04	0,90	0,02	0,10	2,28	0,04
Железо (окисное)	Fe ⁺²	0,00007	-	-	0,0007	0,02	-
Железо (заокисное)	Fe ⁺³	0,000002	-	-	0,0001	-	-
Марганец	Mn ⁺²	0,0001	-	-	0,0001	-	-
Мышьяк	As ⁺⁵	< 0,00001	-	-	< 0,00001	-	-
Цинк	Zn ⁺²	0,00001	-	-	0,000005	-	-
Медь	Cu ⁺²	0,000005	-	-	0,000006	-	-
Кадмий	Cd ⁺²	< 0,000001	-	-	< 0,00001	-	-
Кобальт	Co ⁺²	< 0,00001	-	-	< 0,00001	-	-
Никель	Ni ⁺²	< 0,00001	-	-	< 0,00001	-	-
Свинец	Pb ⁺²	< 0,00001	-	-	< 0,00001	-	-
Сумма катионов		71,22	3388,83	100	108,40	5187,57	100

Поскольку гидроминеральные ресурсы соленых водоемов зависят в том числе от деятельности гидробионтов, выполняющих фильтрационную функцию, было проведено сравнение состояния популяции артемии в Западном и Восточном бассейнах Сакского озера. Сравнительный анализ численности различных жизненных стадий артемии позволил установить, что в Западном бассейне присутствовали только цисты рачка на фоне большого количества взвешенного органического вещества и мелких частиц, тогда как в Восточном бассейне были также обнаружены цисты в количестве 10–70 (в среднем 40 яиц в 1 л), небольшое число науплиев (в среднем 0,2 в 1 л), а количество взрослых половозрелых самок колебалось в пределах 1–7 (в среднем 4 экземпляра в 1 л).

Таблица 3.
Содержание анионов в рапе Восточного и Западного бассейнов Сакского озера

Место отбора проб		Восточный бассейн			Западный бассейн		
		г/дм ³	мг/экв	% мг/экв	г/дм ³	мг/экв	% мг/экв
Фторид	F ⁻	0,0003	0,02	-	0,0001	0,01	-
Хлорид	Cl ⁻	105,92	2987,53	88,16	158,89	4481,52	86,39
Сульфат	SO ₄ ⁻²	18,78	391,00	11,54	33,16	690,40	13,31
Карбонат	CO ₃ ⁻²	0,012	0,40	0,01	отс.	-	-
Гидрокарбонат	HCO ₃	0,308	5,05	0,15	0,50	8,25	0,16
Бромид	Br ⁻	0,386	4,83	0,14	0,59	7,38	0,14
Иодид	I ⁻	0,0008	-	-	0,001	0,01	-
Гидрофосфат	PO ₄ ⁻⁵	не обн.	-	-	не обн.	-	-
Нитрит	NO ₂ ⁻	не обн.	-	-	0,00002	-	-
Нитрат	NO ₃ ⁻	0,0004	-	-	0,0002	-	-
Сумма анионов		125,41	3388,83	100,00	193,14	5187,57	100

Таблица 4.
Содержание недиссоциированных ионов и других показателей в рапе Восточного и Западного бассейнов Сакского озера

Показатели	Место отбора проб	
	Восточный бассейн	Западный бассейн
Метакремниевая кислота	3,04	5,98
Ортоборная кислота	228,8	228,8
Сероводород общий	не обн.	не обн.
Сероводород свободный	не обн.	не обн.
Перманганатная окисляемость	49,2	132,0
Сухой остаток	196,4	303,2
Формула химического состава	M ₁₉₇ $\frac{Cl_{88}}{Na_{77} Mg_{20}}$ pH 7,75	M ₃₀₂ $\frac{Cl_{86}}{Na_{76} Mg_{22}}$ pH 7,44

Таким образом, на основании проведенных исследований были выявлены существенные различия гидрохимических параметров двух водоемов, составе и соотношении ионов, что отразилось и на состоянии популяций артемии. При этом следует отметить, что токсичные катионы металлов (свинец, кадмий, мышьяк, цинк, медь, никель) присутствовали в обоих водоемах в достаточно низких концентрациях, не превышающих ПДК. В то же время для большинства исследуемых катионов концентрация была выше в Западном бассейне по сравнению с Восточным, что обусловило как различие величин pH, так и показателей

солености и значений окислительно-восстановительного потенциала, которые были существенно выше в рапе Западного бассейна.

Повышенное содержание большинства исследуемых анионов отмечено в рапе Западного бассейна. Кроме этого, здесь же выявлены нитриты и нитраты в концентрациях значительно ниже ПДК, тогда как в Восточном бассейне идентифицированы нитраты и ион аммония, концентрации которых не превышали нормативных уровней. Незначительное содержание нитратов и нитритов в рапе отмечали и в предыдущие годы [8], поэтому наличие этих компонентов в экосистеме нельзя связать с ведущимися на берегах строительными работами. В то же время наличие азотсодержащих соединений в рапе двух водоемов может быть обусловлено как естественными природными процессами, характерными для этой части Крыма и приморских территорий [9], так и антропогенной активностью в зоне расположения Сакского озера и других крымских соляных озер, что неминуемо приводит к изменению их экологического состояния [10]

На основании проведенного анализа можно заключить, что химические процессы, протекающие в экосистемах обоих водоемов, различаются, что подтверждается также большим количеством взвешенного органического вещества, величиной перманганатной окисляемости и сухого остатка в Западном бассейне в исследуемый период времени.

Установленная разница гидрохимического состава изучаемых водоемов обусловлена различными гидрогеологическими условиями формирования водной массы: Восточный бассейн практически полностью исключен из природной системы водообмена, компенсация дефицита рапы происходит за счет искусственной подачи морских вод [11, 12]. Метеорные и грунтовые воды не оказывают значительного влияния на приходную составляющую водного баланса. На формирование гидрохимического режима Западного бассейна значительное влияние оказывают грунтовые воды, преимущественно сульфатно-хлоридно-натриевого и кальцево-натриево-магниевое состава, а также фильтрующиеся через песчаную пересыпь воды моря.

Совершенно очевидно, что химический состав рапы повлиял и на состояние популяции артемии в двух исследуемых водоемах. В Восточном бассейне экологические условия для артемии оказались лучшими по сравнению с таковыми в Западном, и популяция была представлена всеми жизненными стадиями рачка, тогда как в Западном водоеме были обнаружены только цисты, которые способны переносить экстремальные условия среды обитания [13]. В то же время следует отметить, что качество рапы и количественные показатели ионов, также как соотношение жизненных стадий артемии в двух исследуемых водоемов могут существенно варьировать в различные сезоны, что требует самостоятельного изучения и мониторинга двух бассейнов Сакского озера.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. рН, соленость, удельный вес и окислительно-восстановительный потенциал рапы Восточного бассейна Сакского озера был существенно ниже по сравнению

- с соответствующими значениями Западного бассейна, тогда как уровень растворенного кислорода выше.
2. Концентрация ионов рапы Западного бассейна выше, чем в Восточном бассейне, что связано с различными гидрогеологическими условиями формирования водной массы водоемов.
 3. Происходящие на прилегающих к озеру территориях антропогенные процессы, связанные с ведением масштабных строительных работ, не оказывают негативного влияния на экосистему озера.
 4. В рапе Восточного бассейна Сакского озера в августе 2019 г. присутствовали все стадии артемии, в рапе Западного бассейна были обнаружены только цисты.

Работа частично выполнена в соответствии с темой государственного задания ФИЦ Институт биологии южных морей им. А. О. Ковалевского РАН «Функциональные, метаболические и токсикологические аспекты существования гидробионтов и их популяций в биотопах с различным физико-химическим режимом» номер гос. регистрации АААА-А18-118021490093-4.

Список литературы

1. Тютюник Е. В. Практическое значение биологических исследований на Сакском грязевом месторождении / Тютюник Е. В., Хохлов В. А. // Сборник статей специалистов ДП «Сакская ГГРЭС» 1995–2007 гг. Саки: ДП «Сакская ГГРЭС». – 2007. – С. 53–58.
2. Чабан В. В. Влияние техногенных изменений геологической среды на экологическое состояние Сакского соленого озера / Чабан В. В. // Вестник Днепропетровского национального университета. Серия «Геология. География». – 2013. – Т. 2, Вып. 16. – С. 77–84.
3. Хохлов В. А. Геоэкологическое изучение, режим, эксплуатация и горно-санитарная охрана месторождений гидроминеральных ресурсов Республики Крым в зоне действия ГУ НПП РК «Крымская ГГРЭС» / Хохлов В. А., Васенко В. И., Чабан В. В. и др. // Отчет о научно-практической работе за 2017 г. Саки: ГУ НПП РК «Крымская ГГРЭС». – 2018. – 255 с.
4. Хохлов В. А. Геоэкологическое изучение, режим, эксплуатация и горно-санитарная охрана месторождений гидроминеральных ресурсов Республики Крым в зоне действия ГУ НПП РК «Крымская ГГРЭС». / Хохлов В. А., Васенко В. И., Чабан В. В. и др. // Отчет о научно-практической работе за 2018 г. Саки: ГУ НПП РК «Крымская ГГРЭС». – 2019. – 251 с.
5. Gerringa L. J. A. Dissolved Trace Metals in the Ross Sea. / Gerringa L. J. A., Alderkamp A.-C., van Dijken G., Laan P., Middag R., Arrigo K. R. // *Frontiers in Marine Science*. – 2020. – V.7. – Article 577098.
6. Иваницкий В. А. Геоэкологическое изучение, режим, эксплуатация и горно-санитарная охрана месторождений гидроминеральных ресурсов Республики Крым в зоне действия ГУ НПП РК «Крымская ГГРЭС». / Иваницкий В. А., Васенко В. И., Чабан В. В. и др. // Отчет о научно-практической работе за 2019 г. Саки: ГУ НПП РК «Крымская ГГРЭС». – 2020. – 213 с.
7. Руднева И. И. Сезонная динамика гиперсоленого озера Ойбург (Крым) как модель для изучения последствий изменения климата / Руднева И. И., Шайда В. Г. // *Водные ресурсы*. – 2020. – Т. 47, № 4. – С. 426–437.
8. Чабан В. В. Исследование сезонного изменения экологической обстановки Сакского соленого озера. / Чабан В. В., Сурова Н. А. // *Вестник «Крымское качество»*. – 2007. – № 1 (9). – С. 56–60.
9. Горячкин Ю. И. Межгодовая изменчивость береговой линии участка аккумулятивного берега Западного Крыма (мыс Евпаторийский – озеро Донузлав) / Горячкин Ю. И. // *Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зоны*. – 2019. – Вып. 3. – С. 25–36.
10. Гулов О. А. Экоцид крымских соляных озер / Гулов О. А. // *Теория и практика восстановления внутренних водоемов*. – Санкт-Петербург: Лема, 2007. – С. 60–78.

11. Шкловский О. А. Технологическая схема разработки рапы озерной Сакского месторождения, курорт Саки, Республика Крым. / Шкловский О. А. – М: ООО «Геоминвод», 2016. – 158 с.
12. Васенко В. И. Геоэкологическое изучение, режим, эксплуатация и горно-санитарная охрана месторождений гидроминеральных ресурсов Республики Крым в зоне действия ГУНПП РК «Крымская ГГРЭС». / Васенко В. И., Чабан В. В. // Отчет о научно-практической работе за 2018 г. Саки: ГУНПП РК «Крымская ГГРЭС», 2019. – 213 с.
13. Руднева И. И. Артемия: перспективы использования в народном хозяйстве / Руднева И. И. – Киев: Наукова думка, 1991. – 138 с.

ECOSYSTEMS STATE OF EASTERN AND WESTERN BASINS OF SAKSKOE LAKE (CRIMEAN REPUBLIC)

Chaban V. V.¹, Rudneva I. I.², Guskova N. V.¹, Shaida V. G.²

¹*GUP NPP RK "Crimean GGRES", Saky, Crimea, Russia*

²*A. O. Kovalovsky Institute of the Biology of the Southern Seas RAS, Sevastopol, Russia*

E-mail: vic_84@list.ru

Sakskoe Lake is the most thoroughly studied water body in Crimea. Its therapeutic mud and brine are exploited by balneological treatment methods. During the two centuries, when the lake was used by humans, it was subdivided into seven water bodies by dams, with two of these bodies (Eastern and Western) being now utilized for medical purposes, and the other five being protective. The Eastern (currently exploited) basin is now used to produce therapeutic mud and brine. The bottoms of the saline basins are covered by sediments: an upper layer of black silt, which is underlain by gray, steel-gray, occasionally bluish silt, which is used as therapeutic mud. The lake is fed by surface and groundwaters. Retaining dams and flood embankments erected in nearby ravines preclude desalination of the lake with flood and rain waters. Seawater is pumped to the lake through channels to preclude its drying. A quay is now actively constructed around the lake and will likely notably affect its hydrological and ecological conditions. The aim of the present study was the comparative analysis of the chemical and physical characteristics of the Eastern and Western basins of the Sakskoe Lake at the period of intensive building activity on their coasts at the summer period of 2019. Brine samples were collected at two tested sites in each of the lakes. Water salinity was measured by a PAL-06S LTA GO (Japan) refractometer and was expressed in ‰. The pH and Eh of the waters and oxygen dissolved in them were determined in the laboratory by an Expert-001 (Econix-Expert Moexa CoLtd, Russia) analyzer, with the use of appropriate Volta (Russia) selective electrodes. Ions concentration was determined spectrophotometrically and by atomic absorption method. Various living stages of *Artemia* populations in two water bodies were studied according the standard microscopic methods. The obtained results demonstrated, that the total content of the cations in the brine of the Western basin was in 1,5-fold higher as compared with the data of the brine in the Eastern basin (108,4 and 71,2 g/l respectively). The values were directly correlated with the high salinity of the Western basin brine. The identical trend was shown for the anions concentration, which was significantly greater in the Western basin related to Eastern one (193,14 and 125,41

g/l correspondingly), which was connected with the different hydrogeological conditions of the formation of the ecosystems of the tested water bodies. At the other hand, pH, salinity and Eh of the brine in the Eastern basin were lower than in the brine of the Western basin, while the concentration of dissolved oxygen was higher. In the brine of the Eastern basin of the lake all living stages of *Artemia*, including cysts, nauplia and adults were found, while in the Western basin only cysts were shown. Therefore, according the obtained results we could suggest, that anthropogenic processes which were taken place on the coasts of the Sakscoe Lake accompanied with the intensive building activity did not influence on the lake ecosystem. The further monitoring studies including the testing of the ions concentrations in the brine of two basins, *Artemia* populations state are required for the understanding the changes of the both ecosystems and the possible reasons of their changes. It is important for development of the optimization of the management of Sakscoe lake and its resources exploitation.

Keywords: hydrochemical parameters, salinity, cations, anions, pH.

References

1. Tutunik E. V., Hohlov V. A. *Practical significance of the biological studies of Sakscoe mud sources*, Sbornik statei specialistov DP «Saks kaya GGRES» 1995–2007 (The proceedings of the specialists of DP «Saks kaya GGRES» 1995–2007, 53 (Saky: DP “Saks kaya GGRES”, 2007) (in Rus.)
2. Chban V. V. Influence of technic alterations of geological environment on the ecological state of Sakscoe salt Lake, *Vestnik Dnepropetrovskogo nacionalnogo universiteta (Journal of the Dnepropetrovsk National University. Part Geology and Geography)*, **2**, **16**, 77 (2013) (in Rus.)
3. Hohlov V. A. Vasenko V. I., Chaban V. V. *Geoecological studies, regime, exploitation and mounting-sanitary preservation of the deposits of the hydromineral resources in Crimean Republic in the region of the activity of DP «Crimean GGRES»*. Geoecologicheskoe izuchenie, rejim, expluataciaya i gorno-sanitarnaya ohrana mestorojdeniy hydromineralnyh resursov Respubliki Krym v zone aktivnosti GU NPP RC «Krymskaya GGRES» Scientific Report of 2017, 255 p. (Saki: GU NPP «Krymskaya GGRES», 2018) (in Rus.)
4. Hohlov V. A. Vasenko V. I., Chaban V. V. *Geoecological studies, regime, exploitation and mounting-sanitary preservation of the deposits of the hydromineral resources in Crimean Republic in the region of the activity of DP «Crimean GGRES»* (Geoecologicheskoe izuchenie, rejim, expluataciaya i gorno-sanitarnaya ohrana mestorojdeniy hydromineralnyh resursov Respubliki Krym v zone aktivnosti GU NPP RC «Krymskaya GGRES»). Scientific Report of 2017, 251 p. (Saki: GU NPP «Krymskaya GGRES», 2019) (in Rus.)
5. Gerringa L. J. A., Alderkamp A-C., van Dijken G., Laan P., Middag R., Arrigo K. R. Dissolved Trace Metals in the Ross Sea, *Frontiers in Marine Science*, **7**, Article 577098 (2020).
6. Ivanitskii V. A., Vasenko V. I., Caban V. V. et al. *Geoecological studies, regime, exploitation and mounting-sanitary preservation of the deposits of the hydromineral resources in Crimean Republic in the region of the activity of DP «Krymskaya GGRES»* (Geoecologicheskoe izuchenie, rejim, expluataciaya i gorno-sanitarnaya ohrana mestorojdeniy hydromineralnyh resursov Respubliki Krym v zone aktivnosti GU NPP RC «Krymskaya GGRES»), Scientific Report of 2019, 213 p. (Saki: GU NPP «Krymskaya GGRES», 2020). (in Rus.)
7. Rudneva I. I., Shaida V. G. Seasonal dynamics of the gypersaline Lake Oiburg (Crimea) as a model for the studying of the consequences of the climate changes, *Wodnye resursy (Water Resources)*, **47**, **4**, 426 (2020) (in Rus.)
8. Chaban V. V., Surova N. A. Study of the ecological state changes of Sakscoe salt Lake (Issldovanie sezonnogo izmeneniya ecologicheskoi obstanovki Saks kogo solenogo ozera), *Krymskoe kachestvo (Journal of Crimean Quality)*, **1** (**9**), 56 (2007) (in Rus.)

9. Goraychkin Yu. I. Annual changes of the coastal line of accumulative site (cape Evpatoriiskii – lake Donuzlav), *Ecologicheskaya bezopasnost pribrejnoi I shelfovoi zony (Ecological security of the coastal and shelf zone)*, **3**, 25 (2019) (in Rus.)
10. Gulov O. A *Ecocid of Crimean salt lakes. Teoriya I practica vosstanovlenoiay vnutrennih vodoemov (Theory and practice of the restoration of the indoor water bodies)*, 60 (Snt-Petersburg: Lema, 2007) (in Rus.)
11. Shklovskii O. A. *Technological scheme of the brine production of Sakscoe Lake in Sakscoe deposit, recreation zone Saki, Crimean Republic (Tehnogennaya shema razrabotki rapy ozerno Saksokogo mestorojdeniya, kurort Saki, Respublika Krym)*, 158 p. (M: ООО «Geominvod», 2016) (in Rus.)
12. Vasenko V. I., Chaban V. V. *Geoecological studies, regime, exploitation and mounting-sanitary preservation of the deposits of the hydromineral resources in Crimean Republic in the region of the activity of DP “Krimian GGRES» (Geoecologicheskoe izuchenie, rejim, expluataciaya i gorno-sanitarnaya ohrana mestorojdeniy hydromineralnyh resursov Respubliki Krym v zone aktivnosti GU NPP RC «Crymskaya GGRES»)*. Scientific Report of 2018, 213 p. (Saki: GU NPP «Crymskaya GGRES», 2019).
13. Rudneva I. I. *Artemia: perspectives of the use in public economy. (Artemia: perspektivy ispolzovaniay v narodnom hozyaistve)*, 138 p. (Kiev: Naukova Dumka, 1991). (in Rus.)

УДК 57.024; 57.034; 611.81

DOI 10.37279/2413-1725-2021-7-1-229-242

ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОГО АНТИДЕПРЕССАНТНОГО ДЕЙСТВИЯ СЕЛЕКТИВНОГО ИНГИБИТОРА ЦОГ-2 МЕЛОКСИКАМА, ЕГО СВЯЗИ С ДОФАМИНЕРГИЧЕСКОЙ СИСТЕМОЙ МОЗГА

Чайка А. В.¹, Хусаинов Д. Р.^{1,2}, Туманянц К. Н.²

¹*ГБПОУ «Крымское среднее профессиональное училище (техникум) олимпийского резерва»,
Краснолесье, Симферопольский район, Россия*

²*Таврическая академия (структурное подразделение) ФГАОУ ВО «Крымский федеральный
университет имени В. И. Вернадского», Симферополь, Республика Крым, Россия
E-mail: andrew.chajka@yandex.ru*

Селективное ингибирование ЦОГ-2 мелоксикамом (1 мг/кг, 21 день) не привело к значимым улучшениям психоэмоционального состояния грызунов. Напротив, в «тесте Порсолта» мелоксикам ещё больше увеличивал время иммобильности у животных с блокадой D₂-рецепторов галоперидолом, а у животных, находящихся под воздействием хронического стресса – не влиял на этот показатель, попутно увеличивая количество отряхиваний и груминга, что свидетельствует о возрастании тревожности. Мелоксикам также не смог повысить двигательную активность у крыс в «Актиметре», подавленную совместным применением галоперидола и стресса. Положительный эффект мелоксикама проявился только в улучшении выполнения задания на «Ротароде» на фоне блокады D₂-рецепторов. В общем и целом, мелоксикам показал себя как вещество, скорее, продепрессантного действия.

Ключевые слова: мелоксикам, депрессия, галоперидол, ЦОГ-2, дофамин.

ВВЕДЕНИЕ

На сегодняшний день считается, что воспалительные процессы играют важную роль в развитии депрессии, и предполагается, что воспаление может быть многообещающей мишенью для лечения и профилактики аффективных расстройств [1–3]. Неудивительно, что различные нестероидные противовоспалительные препараты (НПВП), в том числе и селективные ингибиторы циклооксигеназы-2 (ЦОГ-2), тестируются на предмет наличия у них антидепрессантных свойств [4–6].

В ходе ряда исследований было установлено, что дофаминергическая (ДА) система мозга принимает важное участие в процессах формирования и течения депрессивных эпизодов [7–9], которые могут сопровождаться морфологической деградацией нейронов [10], угнетением нейрогенеза [11] и повышением уровня ЦОГ-2 в гиппокампе [12, 13].

В тоже время, известно, что ингибирование ЦОГ-2 оказывает определённое воздействие на ДА-систему: влияет на файринг ДА-нейронов в среднем мозге [14], приводит к нейропротективному эффекту в чёрной субстанции [15, 16] и стриатуме [15]; а сам по себе ЦОГ-2 способен окислять дофамин и увеличивать окислительный

стресс, вызывая дегенерацию ДА-нейронов [17]. Таким образом, антидепрессантный эффект, возникающий в результате ингибирования ЦОГ-2 [18–21], вероятно, опосредован как снижением нейровоспаления в целом, так и влиянием на ДА-систему в частности. Однако, в литературных данных встречаются и противоположные мнения на этот счёт, например, что нейропротективный эффект НПВП связан не с ЦОГ-2, но PI_3K/Akt сигнальным путём [22], а ингибирование ЦОГ-2 не оказывает нейропротективного эффекта [23], и даже негативно влияет на ЦНС – подавляет нейрогенез в гиппокампе [24], приводит к нейровоспалению, снижению уровня антиоксидантов, повреждению митохондрий, и собственно усугублению патофизиологии депрессии [25, 26]. Поэтому, вопрос об антидепрессантных свойствах ингибиторов ЦОГ-2 остаётся открытым для дальнейших исследований. К тому же, из-за динамического характера депрессии важно выяснить, могут ли НПВП иметь профилактическое значение на ранних стадиях депрессии [27].

Соответственно, целью данного исследования было определить наличие или отсутствие антидепрессантного потенциала у селективного ингибитора ЦОГ-2 мелоксикама, его возможную связь с ДА-системой, проследив эти эффекты в динамике.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Эксперименты проведены на 80 крысах-самцах (Wistar, 200-250 г), разделённых на 8 равных групп (n=10):

- 1) контроль
- 2) стресс
- 3) галоперидол
- 4) юмекс
- 5) мелоксикам
- 6) стресс+мелоксикам
- 7) галоперидол+мелоксикам
- 8) стресс+галоперидол+мелоксикам.

Группа «стресс» на протяжении 21 дня подвергалась хроническому непредсказуемому умеренному стрессу, по описанной ранее методике [28].

Селективный блокатор D_2 -рецепторов галоперидол («Галоперидол», Мосхимфармпрепараты им. Н. А. Семашко, Россия) вводился в течение 24 дней (3 дня предварительного введения для достижения высокого % заблокированных рецепторов) в дозе 2,5 мг/кг.

Ингибитор МАО селегилин («Юмекс», Хиноин, Венгрия) вводился в течение 24 дней (3 дня предварительного введения для достижения высокого % ингибирования ферментов) в дозе 3 мг/кг.

Селективный ингибитор ЦОГ-2 мелоксикам («Мелоксикам», ООО Славянская Аптека, Россия) вводился в течение 21 дня в дозе 1 мг/кг.

Все вещества разводились в физрастворе и вводились внутривентриально в объёме 0,2 мл/животное за 30 мин до начала тестирования. Контрольная группа

получала физраствор в аналогичном объёме. При сочетанном введении нескольких веществ между инъекциями производился перерыв в 30 мин.

Начиная с 4-го дня эксперимента, поведение животных ежедневно исследовали в тесте Порсолта, через 30 мин после инъекций. Установка данного теста представляет собой прозрачный цилиндр из оргстекла высотой 45 см и диаметром 20 см (НПК «Открытая Наука», Россия). Цилиндр заполняли на 2/3 водой температурой $+22\pm 1^\circ\text{C}$. Длительность тестирования – 3 минуты (укороченная процедура) [29, 30]. Регистрировались следующие показатели: иммобильность (сек.), плавание (сек.), климбинг (сек.), а также груминг и отряхивания (шт.).

Дополнительно, каждые 7 дней, была проведена регистрация двигательной активности в тестах «Актиметр» и «Ротарод».

«Актиметр» (IR Actimeter, Harvard Apparatus) – это аналог «Открытого поля» квадратной формы (45x45 см), где регистрация поведения проводится автоматизировано, с помощью двух инфракрасных рамок. Длительность тестирования 3 мин.

«Ротарод» (ООО «Нейроботикс») представляет собой вращающийся стержень с лопастями (радиус барабан 185 мм), на который помещаются животные для определения длительности удержания равновесия. Установка оснащена инфракрасными сенсорами для регистрации падения животных. Опираясь на наш опыт предыдущих исследований, была определена оптимальная скорость в 25 оборотов/мин. Регистрировалось время до падения животного с барабана, в противном случае записывалось максимальное время тестирования в 300 сек.

Достоверность различий между группами определялась с помощью критерия Манна-Уитни или теста Стьюдента, согласно характеру распределения данных. Расчёты и визуализация результатов проведена в программе GraphPad Prism 8.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Рассмотрим влияние мелоксикама на поведение животных в различных тестовых ситуациях. Сочетанное введение мелоксикама и галоперидола оказало негативный эффект на эмоциональное состояние животных, и мелоксикам не смог отменить действие галоперидола, более того, в некоторых случаях комбинация этих двух веществ оказывала больший отрицательный эффект, чем каждое из них по отдельности.

Сочетанное применение мелоксикама и галоперидола в первые 7 дней эксперимента значимо не влияло на уровень иммобильности крыс в «Тесте Порсолта», однако на 8, 12–19 и 21 дни эксперимента уровень иммобильности в этой группе был достоверно выше, чем в группе «галоперидол» (рис. 1).

Введение мелоксикама также не смогло отменить негативное воздействие стресса: на 1–5, 7–12 и 15–19 дни различий между группами в уровне иммобильности не наблюдалось, а на 6, 13–14 и 20–21 дни, мелоксикам даже увеличивал иммобильность по сравнению с группой «стресс» (рис. 2).

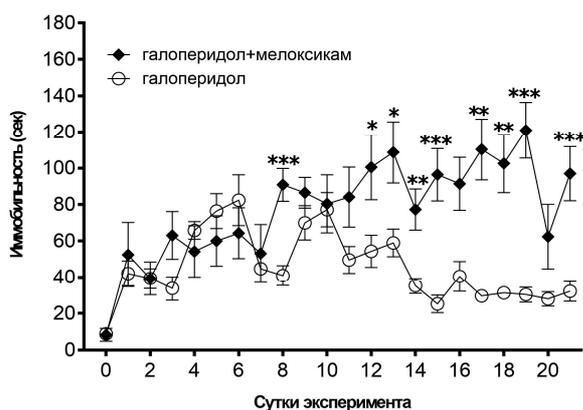


Рис. 1. Влияние галоперидола и мелоксикама на уровень иммобильности крыс в «Тесте Порсолта».

Примечание: звёздочками отмечены достоверные отличия при * $p < 0,05$, ** $p < 0,01$, *** $p < 0,001$ (критерий Манна-Уитни).

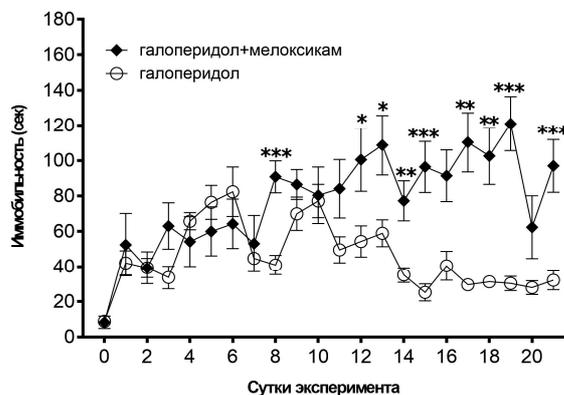


Рис. 2. Влияние стресса и мелоксикама на уровень иммобильности крыс в «Тесте Порсолта».

Примечание: звёздочками отмечены достоверные отличия при * $p < 0,05$, ** $p < 0,01$, *** $p < 0,001$ (критерий Манна-Уитни).

Существенных различий между двумя этими группами также не наблюдалось и по показателям «плавание» и «климбинг». Однако, значимые отличия между группами «стресс» и «стресс+мелоксикам» были выявлены по показателю «отряхивание+груминг» на 1–6 и 10 сутки эксперимента ($p < 0,05$, $p < 0,01$) (рис. 3). Отряхивания и груминг рассматриваются некоторыми авторами как проявление дискомфорта у животных, маркер тревоги и депрессии [31, 32].

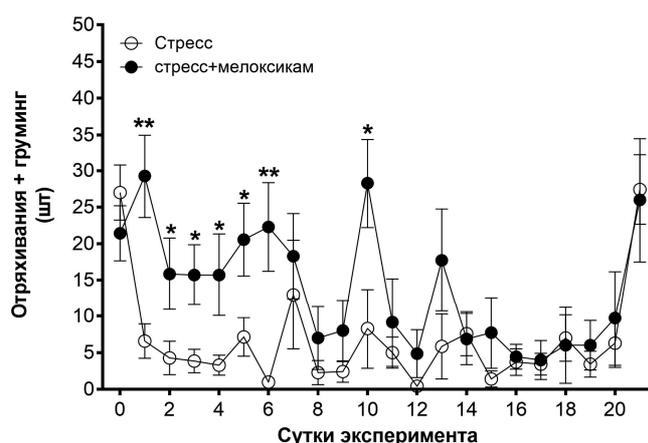


Рис. 3. Влияние стресса и мелоксикама на отряхивание и груминг у крыс в «Тесте Порсолта».

Примечание: звёздочками отмечены достоверные отличия при $*p < 0,05$, $**p < 0,01$ (критерий Манна-Уитни).

Несколько неожиданные результаты были получены в группе «стресс+галоперидол+мелоксикам» (рис. 4). Предыдущие результаты по мелоксикаму чётко указывали на его скорее, анксиогенное и продепрессантное действие, а совместное использование стресса и блокады D_2 -рецепторов галоперидолом показывало увеличение иммобильности и эффект суммации негативного воздействия каждого из компонентов, поэтому ожидаемым эффектом применения сразу 3 факторов был наибольший продепрессантный эффект среди всех групп. Однако, по факту оказалось, что в группе «стресс+галоперидол+мелоксикам» уровень иммобильности на 1, 5, 7–13, 15–17, и 20–21 дни не отличим от уровня контрольного, а на 3, 4 и 6 сутки даже достоверно ниже контрольных значений. Тем не менее, эти данные ещё не означают того, что эмоциональное состояние животных в данной группе было сравнимым с контрольными особями. Во-первых, стоит отметить, что несмотря на общую положительную динамику, на 2, 14, 18–19 сутки эксперимента уровень иммобильности в этой группе был достоверно выше контрольного, а на 2 день и вовсе наблюдался пик иммобильности в $83,9 \pm 14,36$ сек., что сопоставимо с результатами групп «стресс» и «галоперидол».

Во-вторых, высокие показатели климбинга в данной группе, на уровне данных контроля, ещё не гарантируют положительного психоэмоционального состояния у животных, несмотря на то, что активное плавание считается таковым маркером. Некоторые авторы уместно отмечают, что климбинг может служить показателем высокого уровня тревожности, что не противоречит общепринятым взглядам, т.к. известно, что многие антидепрессанты активирующего типа способны повышать тревожность [33].

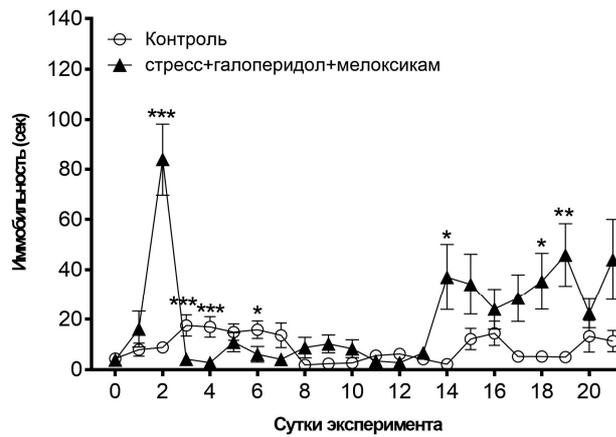


Рис. 4. Влияние совместного применения стресса мелоксикама и галоперидола на иммобильность у крыс в «Тесте Порсолта».

Примечание: звёздочками отмечены достоверные отличия при * $p < 0,05$, ** $p < 0,01$, *** $p < 0,001$ (критерий Манна-Уитни).

В-третьих, показатели группы «стресс+галоперидол+мелоксикам» в тесте «Актиметр» (рис. 5–6) говорят о том, что животные пребывают в тревожно-депрессивном состоянии: снижается пройденная дистанция вообще и в центре установки.

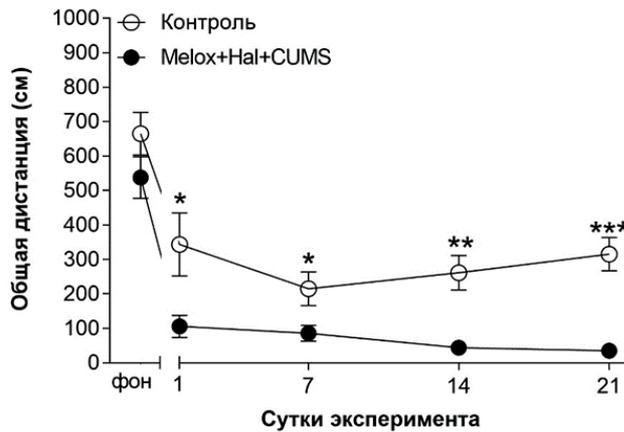


Рис. 5. Влияние совместного применения стресса, мелоксикама и галоперидола на двигательную активность в «Актиметре».

Примечание: звёздочками отмечены достоверные отличия при * $p < 0,05$, ** $p < 0,01$, *** $p < 0,001$ (критерий Стьюдента).

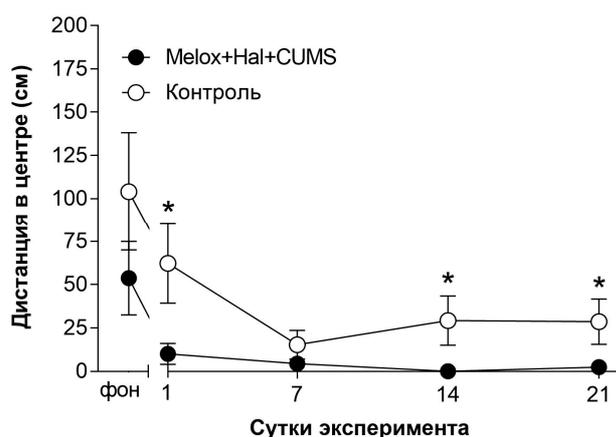


Рис. 6. Влияние совместного применения стресса, мелоксикама и галоперидола на двигательную активность в центре установки «Актиметр».

Примечание: звёздочками отмечены достоверные отличия при $*p < 0,05$, (критерий Манна-Уитни).

Ещё одним доказательством в пользу продепрессантного эффекта мелоксикама является тот факт, что он увеличивает уровень иммобильности у интактных крыс, в то время как группа «юмекс», напротив, демонстрирует уровень иммобильности не отличный от показателей контроля (рис. 7). Высокая вариабельность данных в группе «мелоксикам» может объясняться индивидуальной чувствительностью к веществу у животных.

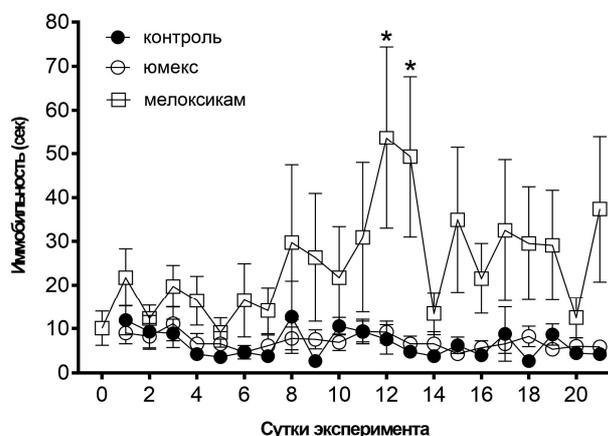


Рис. 7. Уровень иммобильности в группах «контроль», «юмекс» и «мелоксикам».

Примечание: звёздочками отмечены достоверные отличия при $*p < 0,05$, (критерий Манна-Уитни).

Опираясь на вышеуказанные результаты, полученные в ходе данного исследования, становится очевидным анксиогенный и прудепрессантный эффект мелоксикама. Разумеется, совсем не обязательно, что все тревожно-депрессивные расстройства имеют в своей основе нейровоспаление, что, возможно, объясняет почему противовоспалительные препараты в таких случаях не проявляют антидепрессантных свойств, и даже могут усугубить ситуацию, понизив способность организма к нормальному воспалительному процессу. Верно и то, что связь воспаления с депрессией и ДА-системой сложная и многогранная, и не сводится к простой дихотомии «снижение воспаления – снижение депрессии», «усиление воспаления – усиление депрессии».

В тоже время, большинство учёных склоняется к тому, что галоперидол является провоспалительным агентом [34–36], поэтому несколько неожиданно, что мелоксикам не смог снизить, вызванную им иммобильность в «Тесте Порсолта». Возможно, иммобильность как таковая не обязательно напрямую связана с протеканием воспалительных процессов в организме, о чём говорят результаты и других экспериментов [37].

Так или иначе, в литературе присутствуют данные, пускай и немногочисленные, о негативном влиянии мелоксикама на эмоциональное состояние животных и людей [25, 26], и результаты данного исследования подтверждают эти выводы. Однако, стоит отметить, что мелоксикам смог улучшить двигательную активности крыс в тесте «Ротарод» на фоне блокады D₂-рецепторов галоперидолом (рис. 8). Тем не менее, эти результаты, как и ранее в случае с климбингом, скорее, подтверждают, что мелоксикам способен вызывать ажитацию и повышенную раздражительность, без значимых улучшений депрессивных симптомов. К подобному заключению пришла и С. L. Nemeth с соавт. [38], установив, что мелоксикам снижает нейровоспаление в гиппокампе крыс-самок, однако депрессивные симптомы при этом не устраняет.

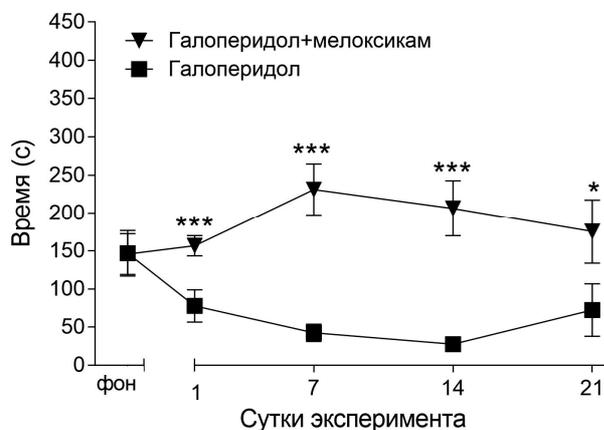


Рис. 8. Влияние галоперидола и мелоксикама на двигательную активность крыс в тесте «Ротарод».

Примечание: звёздочками отмечены достоверные отличия при * $p < 0,05$, *** $p < 0,001$ (критерий Стьюдента).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Ингибирование ЦОГ-2 мелоксикамом не оказало ожидаемого антидепрессантного эффекта в «тесте Порсолта» и «Актиметре», а напротив, привело к ухудшению психоэмоционального состояния животных. На поведенческом уровне нам не удалось получить убедительных доказательств прямой связи эффектов мелоксикама с функционированием ДА-системы, хотя и было установлено его активирующее действие на локомоцию животных в тесте «Ротарод» после блокады D₂-рецепторов галоперидолом.

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

Список литературы

1. Eyre H. A. Anti-inflammatory intervention in depression / H. A. Eyre, B. T. Baune // JAMA psychiatry. – 2015. – Vol. 72, № 5. – P. 511.
2. Beydoun, M. A. Systemic inflammation is associated with depressive symptoms differentially by sex and race: a longitudinal study of urban adults / M. A. Beydoun, H. K. Obhi, J. Weiss [et al.] // Molecular psychiatry. – 2020. – Vol. 25, № 6. – P. 1286–1300.
3. Beurel E. The bidirectional relationship of depression and inflammation: double trouble / E. Beurel, M. Toups, C. B. Nemeroff // Neuron. – 2020. – Vol. 107, № 2. – P. 234–256.
4. Muller N. COX-2 inhibitors as antidepressants and antipsychotics: clinical evidence / N. Muller // Current opinion in investigational drugs. – 2010. – Vol. 11, № 1. – P. 31–42.
5. Păunescu H. (Anti) Depressant Effects of Non-Steroidal Antiinflammatory Drugs in Mice / H. Păunescu // International Journal of Pharmacological and Pharmaceutical Sciences. – 2015. – Vol. 9, № 5. – P. 427–430.
6. Allison D. J. The efficacy of anti-inflammatory treatment interventions on depression in individuals with major depressive disorder and high levels of inflammation: a systematic review of randomized clinical trials / D. J. Allison, B. Sharma, B. W. Timmons // Physiology & behavior. – 2019. – Vol. 207. – P. 104–112.
7. Dunlop B. W. The role of dopamine in the pathophysiology of depression / B. W. Dunlop, C. B. Nemeroff // Archives of general psychiatry. – 2007. – Vol. 64, № 3. – P. 327–337.
8. Tye K. M. Dopamine neurons modulate neural encoding and expression of depression-related behaviour / K. M. Tye, J. J. Mirzabekov, M. R. Warden [et al.] // Nature. – 2013. – Vol. 493, № 7433. – P. 537.
9. Schneier F. R. Dopamine release in antidepressant-naïve major depressive disorder: A multimodal [11C]-(+)-PHNO positron emission tomography and functional magnetic resonance imaging study / F. R. Schneier, M. Slifstein, A. E. Whitton [et al.] // Biological psychiatry. – 2018. – Vol. 84, № 8. – P. 563–573.
10. Vyas A. Chronic stress induces contrasting patterns of dendritic remodeling in hippocampal and amygdaloid neurons / A. Vyas, R. Mitra, B. S. S. Rao [et al.] // Journal of Neuroscience. – 2002. – Vol. 22, № 15. – P. 6810–6818.
11. Choi M. Effects of serotonin on erythropoietin expression in mouse hippocampus / M. Choi, H. Son // Experimental neurobiology. – 2013. – Vol. 22, № 1. – P. 45–50.
12. Wang Y. Acetylsalicylic acid as an augmentation agent in fluoxetine treatment resistant depressive rats / Y. Wang, F. Yang, Y. F. Liu [et al.] // Neuroscience letters. – 2011. – Vol. 499, № 2. – P. 74–79.
13. Wang J. M. BDNF and COX-2 participate in anti-depressive mechanisms of catalpol in rats undergoing chronic unpredictable mild stress / J. M. Wang, L. H. Yang, Y. Y. Zhang [et al.] // Physiology & behavior. – 2015. – Vol. 151. – P. 360–368.
14. Schwieler L. Effects of COX-1 and COX-2 inhibitors on the firing of rat midbrain dopaminergic neurons—Possible involvement of endogenous kynurenic acid / L. Schwieler, S. Erhardt, L. Nilsson [et al.] // Synapse. – 2006. – Vol. 59, № 5. – P. 290–298.

15. Teismann P. Inhibition of the cyclooxygenase isoenzymes COX-1 and COX-2 provide neuroprotection in the MPTP-mouse model of Parkinson's disease / P. Teismann, B. Ferger // *Synapse*. – 2001. – Vol. 39, № 2. – P. 167–174.
16. Sui Y. I. Meloxicam reduces lipopolysaccharide-induced degeneration of dopaminergic neurons in the rat substantia nigra pars compacta / Y. I. Sui, D. Stanić, D. Tomas [et al.] // *Neuroscience letters*. – 2009. – Vol. 460, № 2. – P. 121–125.
17. Chae S. W. Role of cyclooxygenase-2 in tetrahydrobiopterin-induced dopamine oxidation / Chae S. W., Y. J. Bang, K. M. Kim [et al.] // *Biochemical and biophysical research communications*. – 2007. – Vol. 359, № 3. – P. 735–741.
18. Kumar A. Protective effects of selective and non-selective cyclooxygenase inhibitors in an animal model of chronic stress / A. Kumar, B. Kumari, P. Kumar // *Neuroscience bulletin*. – 2010. – Vol. 26, № 1. – P. 17–27.
19. Haile M. The COX-2 inhibitor meloxicam ameliorates neuroinflammation and depressive behavior in adult mice after splenectomy / M. Haile, A. Boutajangout, K. Chung [et al.] // *Journal of neurophysiology and neurological disorders*. – 2016. – Vol. 3. – P. 1–24.
20. Luo W. Protective effect of Meloxicam on CUMS-induced behavioral alterations in rats / W. Luo, Q. Y. Ma, L. J. Wei [et al.] // *Chinese pharmacological bulletin*. – 2012. – Vol. 28, № 1. – P. 123–127.
21. Luo Y. cAMP/PKA-CREB-BDNF signaling pathway in hippocampus mediates cyclooxygenase 2-induced learning/memory deficits of rats subjected to chronic unpredictable mild stress / Y. Luo, S. Kuang, H. Li [et al.] // *Oncotarget*. – 2017. – Vol. 8, № 22. – P. 35558–35572.
22. Tasaki Y. Meloxicam protects cell damage from 1-methyl-4-phenyl pyridinium toxicity via the phosphatidylinositol 3-kinase/Akt pathway in human dopaminergic neuroblastoma SH-SY5Y cells / Y. Tasaki, T. Omura, T. Yamada [et al.] // *Brain research*. – 2010. – Vol. 1344. – P. 25–33.
23. Di Matteo V. Aspirin protects striatal dopaminergic neurons from neurotoxin-induced degeneration: an in vivo microdialysis study / V. Di Matteo, M. Pierucci, G. Di Giovanni [et al.] // *Brain research*. – 2006. – Vol. 1095, № 1. – P. 167–177.
24. Goncalves M. B. The COX-2 inhibitors, meloxicam and nimesulide, suppress neurogenesis in the adult mouse brain / M. B. Goncalves, E. J. Williams, P. Yip [et al.] // *British journal of pharmacology*. – 2010. – Vol. 159, № 5. – P. 1118–1125.
25. White D. Depressive psychosis associated with a cyclo oxygenase 2 inhibitor (meloxicam) / D. White, M. D. McCauley // *Irish Journal of Psychological Medicine*. – 2010. – Vol. 27, № 3. – P. 157–158.
26. Maes M. Targeting cyclooxygenase-2 in depression is not a viable therapeutic approach and may even aggravate the pathophysiology underpinning depression / M. Maes // *Metabolic brain disease*. – 2012. – Vol. 27, № 4. – P. 405–413.
27. Baune B. T. Are non-steroidal anti-inflammatory drugs clinically suitable for the treatment of symptoms in depression-associated inflammation? / B. T. Baune // *Inflammation-Associated Depression: Evidence, Mechanisms and Implications*. – 2016. – С. 303–319.
28. Чайка А. В. Тест Порсолта как лонгитюдный метод оценки динамики эмоционального состояния крыс в модели хронического непредсказуемого умеренного стресса / А. В. Чайка, Е. В. Коношенко, Д. Р. Хусаинов [и др.] // *Учёные записки Крымского федерального университета имени В. И. Вернадского. Биология. Химия*. – 2018. – Т. 4 (70), № 2. – С. 133–147.
29. Калуев А. В. Стресс, тревожность и поведение / А. В. Калуев – Киев: Энигма, 1998. – 95 с.
30. Фролова, Г. А. Этологические эффекты антиэстрогенного и антиандрогенного воздействия на самок и самцов белых крыс, отличающихся по уровню депрессивности / Г. А. Фролова // *Вестник Воронежского государственного университета. Серия: Химия. Биология. Фармация*. – 2016. – № 4. – С. 110–116.
31. Naitoh H. “Swimming-induced head twitching” in rats in the forced swimming test induced by overcrowding stress: a new marker in the animal model of depression? / H. Naitoh, S. Nomura, Y. Kunimi [et al.] // *The Keio journal of medicine*. – 1992. – Vol. 41, No 4. – P. 221–224.
32. Белозерцева И. В. Проблема повторяемости и воспроизводимости данных в свете эволюции экспериментального метода / И. В. Белозерцева // *Семинар FarmBioLine: Доклинические исследования. Современные тенденции и проблемы. GLP в виварии*. Москва, 30 марта 2016 г. – 31 слайд. Режим доступа к публикации: <http://docplayer.ru/29223082-Problema-povtoryaemosti-i->

- vosproizvodimosti-dannyh-v-svete-evolyucii-eksperimentalnogo-metoda.html (Дата обращения: 05.03.2021).
33. Anyan J. Too Depressed to Swim or Too Afraid to Stop? A Reinterpretation of the Forced Swim Test as a Measure of Anxiety-Like Behavior / J. Anyan, S. Amir // *Neuropsychopharmacology*. – 2018. – Vol. 43. – P. 931–933.
 34. Bishnoi M. Protective effect of curcumin and its combination with piperine (bioavailability enhancer) against haloperidol-associated neurotoxicity: cellular and neurochemical evidence / M. Bishnoi, K. Chopra, L. Rongzhu [et al.] // *Neurotoxicity research*. – 2011. – Vol. 20, № 3. – P. 215–225.
 35. Sárvári A. K. Atypical antipsychotics induce both proinflammatory and adipogenic gene expression in human adipocytes in vitro / A. K. Sárvári, Z. Veréb, I. P. Uray, [et al.] // *Biochemical and biophysical research communications*. – 2014. – Vol. 450, № 4. – P. 1383–1389.
 36. Khaziakhmetova V. The Effects of Haloperidol on Acute Carrageenan-Induced Inflammation / V. Khaziakhmetova, K. Baiysbekov, S. Torobekov [et al.] // *BioNanoScience*. – 2017. – Vol. 7, № 2. – P. 442–445.
 37. Deak T. Behavioral responses during the forced swim test are not affected by anti-inflammatory agents or acute illness induced by lipopolysaccharide / T. Deak, C. Bellamy, L. G. D'Agostino [et al.] // *Behavioural Brain Research*. – 2005. – Vol. 160, № 1. – P. 125–134.
 38. Nemeth C. L. [et al.] Meloxicam blocks neuroinflammation, but not depressive-like behaviors, in HIV-1 transgenic female rats / C. L. Nemeth, E. R. Glasper, C. S. Harrell // *PloS one*. – 2014. – Vol. 9, № 10. – P. e108399.

POSSIBLE ANTI-DEPRESSANT EFFECT OF THE SELECTIVE COX-2 INHIBITOR MELOXICAM, ITS RELATIONSHIP WITH THE DOPAMINERGIC BRAIN SYSTEM

Chajka A. V.¹, Khusainov D. R.^{1,2}, Tumanyants K. N.²

¹*Krasnolesie Crimean College of Olympic Reserve, Simferopol district, Russian Federation*

²*V. I. Vernadsky Crimean Federal University, Simferopol, Crimea, Russian Federation*

E-mail: andrew.chajka@yandex.ru

Inflammation is now believed to play an important role in the development of depression, and it is suggested that inflammation may be a promising target for the treatment and prevention of mood disorders. It is not surprising that various non-steroidal anti-inflammatory drugs (NSAIDs), including selective inhibitors of cyclooxygenase-2 (COX-2), are being tested for their antidepressant properties. At the same time, it is known that inhibition of COX-2 has a certain effect on the dopaminergic (DA) system. However, in the literature, there are also opposite opinions on this matter, for example, that the neuroprotective effect of NSAIDs is associated not with COX-2, but with the PI3K/Akt signaling pathway, and inhibition of COX-2 does not have a neuroprotective effect, and even negatively affects the central nervous system up to until the pathophysiology of depression aggravates. Therefore, the question of the antidepressant properties of COX-2 inhibitors remains open for further research. In addition, because of the dynamic nature of depression, it is important to ascertain whether NSAIDs may be prophylactic in the early stages of depression.

Accordingly, the aim of this study was to determine the presence or absence of antidepressant potential in the selective COX-2 inhibitor meloxicam (21 days, 1 mg/kg), its possible relationship with the DA system, by tracing these effects over time.

The combined use of meloxicam and haloperidol (24 days, 2.5 mg/kg) in the first 7 days of the experiment did not significantly affect the level of immobility of rats in the «Forced swim test», but on days 8, 12–19, and 21 of the experiment, the level of immobility in this the group was significantly higher than in the haloperidol group. The administration of meloxicam also failed to reverse the negative effects of stress: on days 1–5, 7–12 and 15–19, there were no differences between the groups in the level of immobility, and on days 6, 13–14 and 20–21, meloxicam even increased immobility by compared with the stress group.

Another evidence in favor of the depressant effect of meloxicam is the fact that it increases the level of immobility in intact rats, while the MAO inhibitor selegiline (24 days, 3 mg/kg), on the contrary, does not affect the level of immobility – the data are indistinguishable from control.

Meloxicam also failed to increase locomotor activity in rats in the «Actimeter», suppressed by the combined use of haloperidol and stress. The positive effect of meloxicam was manifested only in the improvement of the task performance on the Rotarod against the background of D₂-receptor blockade.

Inhibition of COX-2 by meloxicam did not have the expected antidepressant effect in the «Forced swim test» and «Actimeter», but, on the contrary, led to a worsens emotional state of the animals. At the behavioral level, we were unable to obtain convincing evidence of a direct connection between the effects of meloxicam and the functioning of the DA system, although its activating effect on animal locomotion in the Rotarod test after blockade of D₂-receptors with haloperidol was established.

Keywords: meloxicam, depression, haloperidol, COX-2, dopamine.

The work was carried out on the equipment of the Centre of collective usage «Experimental physiology and biophysics» of the V. I. Vernadsky CFU.

References

1. Eyre H. A., & Baune B. T. Anti-inflammatory intervention in depression, *JAMA psychiatry*, **72(5)**, 511 (2015).
2. Beydoun M. A., Obhi H. K., Weiss J., Canas J. A., Beydoun H. A., Evans M. K., & Zonderman A. B. Systemic inflammation is associated with depressive symptoms differentially by sex and race: a longitudinal study of urban adults, *Molecular psychiatry*, **25(6)**, 1286 (2020).
3. Beurel E., Toups M., & Nemeroff C. B. The bidirectional relationship of depression and inflammation: double trouble, *Neuron*, **107(2)**, 234 (2020).
4. Mueller N. COX-2 inhibitors as antidepressants and antipsychotics: clinical evidence. *Current opinion in investigational drugs (London, England: 2000)*, **11(1)**, 31 (2010).
5. Păunescu H. (Anti) Depressant Effects of Non-Steroidal Antiinflammatory Drugs in Mice, *International Journal of Pharmacological and Pharmaceutical Sciences*, **9(5)**, 427 (2015).
6. Allison D. J., Sharma B., & Timmons B. W. The efficacy of anti-inflammatory treatment interventions on depression in individuals with major depressive disorder and high levels of inflammation: a systematic review of randomized clinical trials, *Physiology & behavior*, **207**, 104 (2019).

7. Dunlop B. W., & Nemeroff C. B. The role of dopamine in the pathophysiology of depression, *Archives of general psychiatry*, **64(3)**, 327 (2007).
8. Tye K. M., Mirzabekov J. J., Warden M. R., Ferenczi E. A., Tsai H. C., Finkelstein J., Kim S. Y., Adhikari A., Thompson K. R., Andalman A. S., Gunaydin L. A., Witten I. B. & Deisseroth K. Dopamine neurons modulate neural encoding and expression of depression-related behaviour, *Nature*, **493(7433)**, 537 (2013).
9. Schneier F. R., Slifstein M., Whitton A. E., Pizzagalli D. A., Reinen J., McGrath P. J., Iosifescu D. V. & Abi-Dargham A. Dopamine release in antidepressant-naïve major depressive disorder: A multimodal [¹¹C]-(+)-PHNO positron emission tomography and functional magnetic resonance imaging study, *Biological psychiatry*, **84(8)**, 563 (2018).
10. Vyas A., Mitra R., Rao B. S., & Chattarji S. Chronic stress induces contrasting patterns of dendritic remodeling in hippocampal and amygdaloid neurons, *Journal of Neuroscience*, **22(15)**, 6810 (2002).
11. Choi M., & Son H. Effects of serotonin on erythropoietin expression in mouse hippocampus, *Experimental neurobiology*, **22(1)**, 45 (2013).
12. Wang Y., Yang F., Liu Y. F., Gao F., & Jiang W. Acetylsalicylic acid as an augmentation agent in fluoxetine treatment resistant depressive rats, *Neuroscience letters*, **499(2)**, 74 (2011).
13. Wang J. M., Yang L. H., Zhang Y. Y., Niu C. L., Cui Y., Feng W. S., & Wang G. F. BDNF and COX-2 participate in anti-depressive mechanisms of catalpol in rats undergoing chronic unpredictable mild stress, *Physiology & behavior*, **151**, 360 (2015).
14. Schwieler, L., Erhardt, S., Nilsson, L., Linderholm, K., & Engberg, G. Effects of COX-1 and COX-2 inhibitors on the firing of rat midbrain dopaminergic neurons—Possible involvement of endogenous kynurenic acid, *Synapse*, **59(5)**, 290 (2006).
15. Teismann P., & Ferger B. Inhibition of the cyclooxygenase isoenzymes COX-1 and COX-2 provide neuroprotection in the MPTP-mouse model of Parkinson's disease, *Synapse*, **39(2)**, 167 (2001).
16. Sui Y. L., Stanić D., Tomas D., Jarrott B., & Horne M. K. Meloxicam reduces lipopolysaccharide-induced degeneration of dopaminergic neurons in the rat substantia nigra pars compacta, *Neuroscience letters*, **460(2)**, 121 (2009).
17. Chae S. W., Bang Y. J., Kim K. M., Lee K. Y., Kang B. Y., Kim E. M., Inoue H., Hwang O. & Choi H. J. Role of cyclooxygenase-2 in tetrahydrobiopterin-induced dopamine oxidation, *Biochemical and biophysical research communications*, **359(3)**, 735 (2007).
18. Kumar A., Kumari B., & Kumar P. Protective effects of selective and non-selective cyclooxygenase inhibitors in an animal model of chronic stress, *Neuroscience bulletin*, **26(1)**, 17 (2010).
19. Haile M., Boutajangout A., Chung K., Chan J., Stolper T., Vincent N., Batchan M., D'Urso J., Lin Y., Kline R., Yaghmoor F., Jahfal S., Kamal R., Aljohani W., Blanck T., Bekker A. & Wisniewski T. The COX-2 inhibitor meloxicam ameliorates neuroinflammation and depressive behavior in adult mice after splenectomy, *Journal of neurophysiology and neurological disorders*, **3**, 1 (2016).
20. Luo W., Ma Q. Y., Wei L. J., Wang J. F., Guo Y. X., Luo Y., Yu H. R., & Yang J. Q. Protective effect of meloxicam on CUMS-induced behavioral alterations in rats, *Chinese pharmacological bulletin*, **28(1)**, 123 (2012).
21. Luo Y., Kuang S., Li H., Ran D., & Yang J. cAMP/PKA-CREB-BDNF signaling pathway in hippocampus mediates cyclooxygenase 2-induced learning/memory deficits of rats subjected to chronic unpredictable mild stress, *Oncotarget*, **8(22)**, 35558 (2017).
22. Tasaki Y., Omura T., Yamada T., Ohkubo T., Suno M., Iida S., Sakaguchi T., Asari M., Shimizu K., & Matsubara K. Meloxicam protects cell damage from 1-methyl-4-phenyl pyridinium toxicity via the phosphatidylinositol 3-kinase/Akt pathway in human dopaminergic neuroblastoma SH-SY5Y cells, *Brain research*, **1344**, 25 (2010).
23. Di Matteo V., Pierucci M., Di Giovanni G., Di Santo A., Poggi A., Benigno A., & Esposito E. Aspirin protects striatal dopaminergic neurons from neurotoxin-induced degeneration: an in vivo microdialysis study, *Brain research*, **1095(1)**, 167 (2006).
24. Goncalves M. B., Williams E. J., Yip P., Yáñez-Muñoz R. J., Williams G., & Doherty P. The COX-2 inhibitors, meloxicam and nimesulide, suppress neurogenesis in the adult mouse brain, *British journal of pharmacology*, **159(5)**, 1118 (2010).
25. White D., & McCauley M. Depressive psychosis associated with a cyclo oxygenase 2 inhibitor (meloxicam), *Irish journal of psychological medicine*, **27(3)**, 157 (2010).

26. Maes M. Targeting cyclooxygenase-2 in depression is not a viable therapeutic approach and may even aggravate the pathophysiology underpinning depression, *Metabolic brain disease*, **27(4)**, 405 (2012).
27. Baune B. T. Are non-steroidal anti-inflammatory drugs clinically suitable for the treatment of symptoms in depression-associated inflammation? *Inflammation-Associated Depression: Evidence, Mechanisms and Implications*, 303 (2016).
28. Chajka A. V., Konoshenko E. V., Khusainov D. R., Shakhmatova V. I., Mozharovskaya I. A., Cheretaev I. V. Forced swim test as a longitude method of assessment the dynamics of the emotional state of rats in the model of chronic unpredictable mild stress, *Scientific Notes of V. I. Vernadsky Crimean Federal University. Biology. Chemistry*, **4(2)**, 133 (2018).
29. Kalueff A. V. *Stress, anxiety and behavior*, 95 p. (Kyiv: Enigma, 1998).
30. Frolova G. A. Comparative ethological characteristics of males and females of white rats in Porsolt test in blocking receptors of sex hormone, *Vestnik VGU, Seriya: Khimiya. Biologiya. Farmatsiya*, **4**, 110 (2016).
31. Naitoh H., Nomura S., Kunimi Y., & Yamaoka K. "Swimming-induced head twitching" in rats in the forced swimming test induced by overcrowding stress: a new marker in the animal model of depression? *The Keio journal of medicine*, **41(4)**, 221 (1992).
32. Belozertseva I. V. *The problem of repeatability and reproducibility of data in the light of the evolution of the experimental method*. Seminar FarmBioLine: Preclinical research. Modern trends and problems. GLP in the vivarium. Moscow, March 30, 2016. 31 slides. URL: <http://docplayer.ru/29223082-Problema-povtoryaemosti-i-voisproizvodimosti-dannyh-v-svete-evolyucii-eksperimentalnogo-metoda.html>
33. Anyan J., & Amir S. Too depressed to swim or too afraid to stop? A reinterpretation of the forced swim test as a measure of anxiety-like behavior, *Neuropsychopharmacology*, **43(5)**, 931 (2018).
34. Bishnoi M., Chopra K., Rongzhu L., & Kulkarni S. K. Protective effect of curcumin and its combination with piperine (bioavailability enhancer) against haloperidol-associated neurotoxicity: cellular and neurochemical evidence, *Neurotoxicity research*, **20(3)**, 215 (2011).
35. Sárvári A. K., Veréb Z., Uray I. P., Fésüs L., & Balajthy Z. Atypical antipsychotics induce both proinflammatory and adipogenic gene expression in human adipocytes in vitro, *Biochemical and biophysical research communications*, **450(4)**, 1383 (2014).
36. Khaziakhmetova V., Baiysbekov K., Torobekov S., Cong H., & Ziganshina L. The Effects of Haloperidol on Acute Carrageenan-Induced Inflammation, *BioNanoScience*, **7(2)**, 442 (2017).
37. Deak, T., Bellamy, C., D'Agostino, L. G., Rosanoff, M., McElderry, N. K., & Bordner, K. A. Behavioral responses during the forced swim test are not affected by anti-inflammatory agents or acute illness induced by lipopolysaccharide, *Behavioural brain research*, **160(1)**, 125 (2005).
38. Nemeth C. L., Gasper E. R., Harrell C. S., Malviya S. A., Otis J. S., & Neigh G. N. Meloxicam blocks neuroinflammation, but not depressive-like behaviors, in HIV-1 transgenic female rats, *PloS one*, **9(10)**, e108399 (2014).

Ученые записки Крымского федерального университета имени В. И. Вернадского
Биология. Химия. Том 7 (73). 2021. № 1. С. 243–248.

УДК 664.143:149.075.8

ИЗУЧЕНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПЛОДОВ ЗИЗИФУСА В ПРОИЗВОДСТВЕ КОНДИТЕРСКИХ ИЗДЕЛИЙ ЖЕЛЕЙНОЙ СТРУКТУРЫ

Брановицкая Т. Ю., Кожарский Г. Н.

*Таврическая академия (структурное подразделение) ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет имени В. И. Вернадского», Симферополь, Республика Крым, Россия
E-mail: tatbr@mail.ru*

Было проведено сравнение плодов двух сортов зизифуса: Дикий и Карамелька с плодами двух сортов яблонь: Флорина и Голден Делишес по четырем ключевым для пищевой промышленности показателям: содержанию глюкозы, витамина С, пектина, а также степени этерификации пектина.

Ключевые слова: зизифус, яблоки, пектин, степень этерификации, желеобразующая способность, *Ziziphus jujuba*.

ВВЕДЕНИЕ

На сегодняшний день мармелад и пастила занимают достаточно прочное положение в желейной группе кондитерских изделий. Потребители любят данную товарную группу благодаря ее низкой цене, натуральной основе, высокой энергетической, биологической и питательной ценности. Поэтому, производители задаются целью улучшения органолептических свойств, ускорения технологических процессов, улучшения пластических и реологических свойств, а также расширения ассортимента кондитерских изделий желейной группы. Одним из путей решения данного непростого вопроса является частичная смена сырьевой базы.

Перспективным решением может стать культура зизифуса *Ziziphus jujuba* Mill., так как плоды зизифуса обладают мощными антиоксидантными свойствами за счет содержания витаминов А, группы В, С, Е и флавоноидов, защищающих клетки от действия окислительного стресса, вызванного свободными радикалами, что, в свою очередь, обеспечивает высокую степень кардио- и гепатопротекции. Кроме того, плоды зизифуса содержат сапонины, являющиеся натуральными противовоспалительными агентами. Зизифус уже сегодня успешно применяют для получения сиропов, конфитюров, меда [1, 2].

Целью данной работы является изучение возможности использования плодов зизифуса в производстве кондитерских изделий желейной структуры. В работе исследовали плоды двух сортов зизифуса и двух сортов яблонь, которые изучали по

следующим важным технологическим показателям: содержанию пектиновых веществ, степени их этерификации, содержанию витамина С, общему содержанию редуцирующих сахаров после инверсии.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Содержание пектина определялось методом кислотной экстракции из поре соответствующих плодов [3]. Степень этерификации пектина определялась кислотно-основным титрованием по ГОСТ 29186-91 [4].

Содержание аскорбиновой кислоты определялось иодометрическим титрованием. Навеску исследуемого материала в 10 г заливали в ступке 20 мл 1 % раствора HCl и быстро растирали для образования гомогенной массы. Процесс растирания длился не более 10 минут. Полученную массу переносили из ступки через воронку в мерную колбу на 100 мл. Ступку ополаскивали несколько раз 2 % раствором HPO₃, которую выливали в ту же мерную колбу. Содержимое колбы доводили до метки 2 % HPO₃, колбу закрывали пробкой, сильно встряхивали и оставляли стоять около 5 минут. Затем содержимое колбы выливали на сухой фильтр и отфильтровывали часть экстракта (около 50 мл) в сухой стакан или колбу.

Соляная кислота позволяет извлекать из растительной ткани как свободную, так и связанную аскорбиновую кислоту. Метафосфорная же кислота осаждает белки и улучшает стойкость аскорбиновой кислоты в экстрактах.

В экстракте зизифуса присутствует не только витамин С, но и сопутствующие соединения: сахароза, глюкоза, фруктоза, витамины В₁, В₆, В₁₂, которые могут реагировать с титрантом (хотя и медленнее, чем сама аскорбиновая кислота). Однако в источнике [5] по влиянию сопутствующих веществ фруктовых экстрактов методом добавок было установлено, что красители и другие вещества, присутствующие в таковых, не мешают определению. В случае яблочного поре осаждение пигментов осуществлял добавлением карбоната кальция и 5 % раствора ацетата свинца, осажденные пигменты отфильтровывали.

Была проведена серия иодометрических титрований аскорбиновой кислоты с визуальной индикацией точки эквивалентности с помощью индикатора крахмала [5]. Содержание редуцирующих сахаров определялось фотоколориметрическим методом по ГОСТ 8756.13-87 [6]. Повторяемость опытов пятикратная для плодов каждого сорта. Все данные математически обработаны и статистически достоверны.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Изучая возможность использования зизифуса в производстве кондитерских изделий желейной группы, мы проанализировали литературные данные и решили сравнить биохимические характеристики плодов зизифуса и яблонь. Мы выбрали четыре показателя важных для индустрии кондитерских изделий желейной группы: содержание глюкозы, витамина С, пектиновых веществ, а также степень этерификации пектина. Последние два критерия являются ключевыми, так как от них зависит механизм желирования, а, следовательно, и желеобразующая способность [7].

Таблица 1.
Содержание пектиновых веществ в сырых плодах без косточек

Наименование плода	Сорт	Содержание пектиновых веществ, % по массе
Зизифус	Карамелька	0,42±0,04
	Дикий	0,46±0,05
Яблоко	Флорина	0,48±0,05
	Голден	0,41±0,05

Данные, представленные в таблице 1, показывают, что по содержанию пектиновых веществ плоды зизифуса практически не уступают яблокам. От содержания пектиновых веществ, в свою очередь, зависит желирующая способность сырья и необходимость внесения дополнительного пектина.

В таблице 2 показаны данные по исследованию степени этерификации пектина. Следует отметить, что желирующая способность пектина обратно пропорциональна степени его этерификации.

При анализе таблицы 2 понятно, что степень этерификации пектина, выделенного из зизифуса примерно в 1,5 раза ниже, чем пектина, выделенного из яблок. Поэтому для образования студня требуется меньше сахаров.

Таблица 2.
Степень этерификации пектина

Наименование плода	Сорт	Степень этерификации, %
Зизифус	Карамелька	42±2
	Дикий	44±2
Яблоки	Флорина	68±2
	Голден	65±3

Таблица 3.
Содержание аскорбиновой кислоты в сырых плодах без косточек

Наименование плода	Сорт	Содержание аскорбиновой кислоты, мг на 100 г
Зизифус	Карамелька	76±2
	Дикий	65±2
Яблоки	Флорина	11±1
	Голден	14±1

Из таблицы 3 видно, что содержание витамина С в плодах зизифуса превосходит содержание такового в яблоках более чем в 4 раза. Это свидетельствует о высокой биологической ценности зизифуса. Кроме того,

аскорбиновая кислота является натуральным и полезным для человека консервантом.

Таблица 4.
Содержание общих сахаров после инверсии в сырых плодах без косточек

Наименование плода	Сорт	Содержание общих сахаров после инверсии, % по массе
Зизифус	Карамелька	25±1
	Дикий	19±1
Яблоки	Флорина	8±1
	Голден	8±1

Из данных таблицы 4 видно, что по массовой доле сахаров после инверсии плоды зизифуса превосходит плоды яблони более чем в 2 раза. Сахара после инверсии представляют смесь моносахаридов, в основном глюкозы и фруктозы, которые и обеспечивают большую часть энергетической ценности.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Показано, что по содержанию пектиновых веществ плоды зизифуса практически не уступают яблокам.
2. Выявлено, что степень этерификации пектина, выделенного из зизифуса примерно в 1,5 раза ниже, чем пектина, выделенного из яблок.
3. Установлено, что содержание витамина С в плодах зизифуса превосходит содержание такового в яблоках более чем в 4 раза.
4. Показано, что по массовой доле моносахаридов (после инверсии) плоды зизифуса превосходят плоды яблони более чем в 2 раза.
5. Установлено, что плоды зизифуса можно предложить в качестве альтернативного сырья для выработки зефирного крема, пластового и желеинового формового мармелада, пастилы.

Список литературы

1. Pareek Sunil. Nutritional composition of jujube fruit. / Sunil Pareek // Emirates Journal of Food and Agriculture – 2000. – Vol. 184. – P. 4–16.
2. Zaitseva O. Pectins as a universal medicine / O. Zaitseva, O. Solomina // Fitoterapia – 2020. – Vol. 23. – P. 2–11
3. Абаева Р. Ш. Получение пектиновых веществ из природного сырья / Р. Ш. Абаева, Г. Б. Аймухамедова, Н. П. Шелухина // Труды Фрунзен. Политех. ин-та. – 1976. – Вып. 33. – С. 113–125.
4. ГОСТ 29186-91 Пектин. Технические условия. Определение степени этерификации пектина. – Взамен ОСТ III-3-82; введ. 1993.01.01 – М.: ИПК Издательство стандартов, 2004.
5. Поделик-Фабини Р. Органический анализ. / Поделик-Фабини Р., Бейрих Т. – Л: Химия, 1981. – 623 с.
6. ГОСТ 8756.13-87 Продукты переработки плодов и овощей. Методы определения сахаров. – Взамен ГОСТ; введ. 1989.01.01 – М.: Стандартиформ, 2010.

7. Lara-Espinoza C. Pectin and Pectin-Based Composite Materials: Beyond Food Texture / C. Lara-Espinoza, E. Carvajal-Millán, R. Balandrán-Quintana [et al] // *Molecules*. – 2018. – Vol. 23, № 4. – P. 942 (1–35).

STUDY OF THE POSSIBILITY OF USING ZIZIPHUS FRUITS IN THE PRODUCTION OF JELLY STRUCTURE CONFECTIONERY PRODUCTS

Branovitskaia T. Y., Kozharskiy G. N.

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

Today, marmalade and pastille occupy a rather strong position in the sugary group of confectionery products. Consumers prefer this product group due to its high affordability, natural base, high biological energy and nutritional value. Therefore, manufacturers are set to improve organoleptic properties, accelerate technological processes, improve plastic and regiological properties, as well as to expand the assortment. One of the ways to solve this complicative issue is a partial change in the raw material base.

The culture of *Ziziphus jujuba* could be a promising design. Because it has powerful antioxidant properties due to the content of vitamins A, group B, C, E and flavonoids that protect cells from the action of oxidative stress caused by free radicals, which, in turn, provides a high degree of cardio- and hepatoprotection. In addition, ziziphus fruits contains saponins, which are natural anti-inflammatory agents.

It has been shown that in percent quantity of pectin content ziziphus fruits are almost as good as apples. It was revealed that the degree of esterification of pectin extracted from ziziphus is about 1.5 times lower than that of pectin extracted from apples. It should be noted that the gelling ability of pectin is inversely proportional to its degree of esterification.

It was established that the content of vitamin C in ziziphus fruits exceeds the content of the same in apples more than 4 times. This indicates a high biological value of ziziphus fruits. In addition, ascorbic acid is a natural and useful preservative for humans. It is shown that the mass fraction of sugars after inversion ziziphus fruits exceeds apple fruits more than 2 times. It is established that these two varieties of *Ziziphus* can be offered as an alternative raw material for the production of marmalade, jelly-shaped marmalade, marshmallow.

Keywords: *Ziziphus jujuba*, apples, pectin, gelling ability.

References

1. Pareek Sunil, Nutritional composition of jujube fruit, *Emirates Journal of Food and Agriculture*, **184**, 4 (2000).
2. Zaitseva O., Solomina O. Pectins as a universal medicine, *Fitoterapia*, **23**, 2 (2020).
3. Abaeva R. Sh., Aymukhamedova G. B., Shelukhina N. P. Obtaining pectin substances from natural raw materials, *Proceedings of Frunze Polytechnic Institute*, **33**, 113 (1976). (*in Russ.*).

4. GOST 29186-91 Pectin. Specifications. Determination of the degree of esterification of pectin. – Instead of GOST OST III-3-82; Enter. 1993.01.01. Moscow, *Izdatelstvo standartov*, (2004) (in Russ.).
5. Podelic-Fabini R., Beirich T., Organic analysis, *Khimiya*, Leningrad, 494 (1981) (in Russ.).
6. GOST 8756.13-87 Fruit and vegetable products. Methods for determination of sugars. Instead of GOST 8756.13-70; Enter. 1989.01.01. Moscow, *Standartinform*, (2010) (in Russ.).
7. Lara-Espinoza C., Carvajal-Millán E., Balandrán-Quintana R., López-Franco Y., Rascón-Chu A., Pectin and Pectin-Based Composite Materials: Beyond Food Texture, *Molecules*, **23**(4), 942 (2018).

УДК 547.992.3

ИССЛЕДОВАНИЕ ЦИТОТОКСИЧНОСТИ ГЕЛЕЙ НА ОСНОВЕ КАРБОКСИМЕТИЛЦЕЛЛЮЛОЗЫ, ПОЛУЧЕННЫХ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ НОВЫХ СШИВАЮЩИХ АГЕНТОВ

Венжик А. Н., Николаев Д. А., Романова И. В.

*АО «Медтехнопроект», Москва, Российская Федерация
E-mail: a.venzhik@medtp.ru*

В различных областях медицины широко используются биополимерные материалы на основе карбоксиметилцеллюлозы (КМЦ). В зависимости от медицинского назначения и терапевтических целей требуется регулирование степени биодegradации имплантируемых биополимеров за счет синтеза поперечно-сшитых гелей с использованием сшивающих агентов. В данной работе была исследована цитотоксичность поперечно-сшитых гелей КМЦ с новыми сшивающими агентами, полипропиленгликольдиглицеридиловым эфиром (ППГДЭ) и триметафосфатом натрия (ТМФ). Полученные данные свидетельствуют, что использование сшивающего агента на основе ППГДЭ позволяет получить раствор с существенно меньшей токсичностью по сравнению с остальными сшивающими агентами в 2–16 раз. В то же время важно подчеркнуть, что токсичность сохраняется, поэтому для медицинского применения требуется процесс диализа. Таким образом, ППГДЭ и ТМФ можно рассматривать как потенциальные сшивающие агенты для биополимеров медицинского применения.

Ключевые слова: карбоксиметилцеллюлоза, сшитый гель, имплантируемые материалы, химическое сшивание полимеров, биополимерные составы.

ВВЕДЕНИЕ

Карбоксиметилцеллюлоза (КМЦ), также известная как целлюлозная камедь, производится путем химического синтеза природной целлюлозы с хлоруксусной кислотой. Многофункциональность этого продукта делает его подходящим для использования в качестве ключевого промежуточного продукта или ингредиента во многих областях: в качестве связующего, загущающего, стабилизирующего, эмульгирующего, суспендирующего, клеящего вещества и покрытия. Широкое применение карбоксиметилцеллюлозы обусловлено ее свойствами: являясь биополимером, карбоксиметилцеллюлоза обладает такими качествами, как биосовместимость, неиммуногенность, гипоаллергенность и биодоступность; в то же время, благодаря наличию большого количества гидроксильных и карбоксильных групп, между полимерными цепями карбоксиметилцеллюлозы образуются различные химические и физические взаимодействия (водородные связи, ионные связи, электростатические связи, силы Ван-дер-Ваальса), что и обуславливает формирование гелеобразной структуры, напрямую зависящую от

концентрации карбоксиметилцеллюлозы, длины полимерных цепей, степени замещения и наличия ионов металлов [1].

Однако в зависимости от медицинского назначения и терапевтических целей требуется регулирование степени биодegradации имплантируемых биополимеров. Для того, чтобы регулировать степень биодegradации карбоксиметилцеллюлозы в тканях организма, зачастую используют химические методы модификации, а именно сшивающие агенты, которые образуют ковалентные связи между полимерными цепями карбоксиметилцеллюлозы. Такая модификация существенно уменьшает скорость биодegradации, так как поперечно-сшитые производные биополимера менее склонны к гидролизному распаду, в то же время повышая механические свойства материала, что увеличивает продолжительность полезного эффекта от их применения.

Наиболее широко используемыми сшивающими агентами для биополимеров в медицине являются сшивающие агенты на основе замещенных эпоксидных соединений (включающих 1,4-бутандиолдиглицидиловый эфир (БДДЭ) (рис. 1); полиэтиленгликольдиглицидиловый эфир (ПЭГДЭ) (рис. 2); полипропиленгликольдиглицидиловый эфир (ППГДЭ) (рис. 3). Так как реакция идет в щелочной среде, то она преимущественно протекает через остаточные гидроксильные группы, являющимися более нуклеофильными по сравнению с карбоксильными группами.

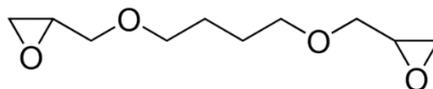


Рис. 1. Структурная формула 1,4-бутандиолдиглицидилового эфира (БДДЭ).

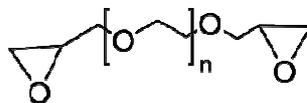


Рис. 2. Структурная формула полиэтиленгликольдиглицидилового эфира (ПЭГДЭ).

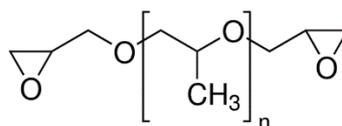


Рис. 3. Структурная формула полипропиленгликольдиглицидилового эфира (ППГДЭ).

Данная группа модифицирующих сшивающих агентов широко применяется при производстве интрадермальных филлеров и имплантатов на основе гиалуроновой кислоты; в частности, на протяжении 15 лет клинического

использования 1,4-бутандиолдиглицидилового эфира была подтверждена клиническая безопасность при соблюдении остаточного содержания менее 1 ppm [2]. Помимо этого, вследствие большого количества веществ из группы замещенных эпоксидов, их использование вследствие разной молекулярной массы, структуры и реакционной способности позволяет создавать продукты с различной степенью биодegradации, что важно для различных сфер применения.

Использование полиэтиленгликольдиглицидилового эфира в качестве сшивающего агента для карбоксиметилцеллюлозы с целью использования в медицинских изделиях описано в патенте [1, 3]. Также на данный момент на коммерческом рынке присутствует интрадермальный имплантат на основе модифицированной карбоксиметилцеллюлозы путем реакции с 1,4-бутандиолдиглицидиловым эфиром [4, 5]. Аналогов с использованием полипропиленгликольдиглицидилового эфира не было обнаружено. Именно поэтому важно исследовать цитотоксичность гелей на основе нового сшивающего агента и сравнить с цитотоксичностью уже известных БДДЭ и ПЭГДЭ.

Сшивающий агент на основе триметафосфата натрия (ТМФ) (рис. 4) широко используется в пищевой промышленности для поперечного сшивания молекул крахмала и гуаровой камеди [6]. Согласно [7], ТМФ отличается низкой токсичностью и отсутствием побочных эффектов на здоровье человека. Вследствие его реакционной способности сшивать гидроксильные группы, возможно его использование для сшивания молекул КМЦ. Однако в литературе не встречается исследований цитотоксичности поперечно-сшитого ТМФ молекул КМЦ.

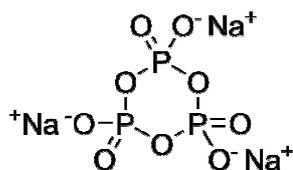


Рис. 4. Структурная формула триметафосфата натрия (ТМФ).

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Для создания гелей использовались следующие материалы: карбоксиметилцеллюлоза марки Sekol 2000 (CP Kelco), полиэтиленгликоль диглицидиловый эфир (Sigma-Aldrich), 1,4-бутандиол диглицидиловый эфир (Sigma-Aldrich), полипропиленгликоль диглицидиловый эфир (Sigma-Aldrich), триметафосфат натрия (Sigma-Aldrich), фосфатно-солевой буфер таблетки (ПанЭко), вода для инъекций (Гротекс).

Образцы гелей с использованием оксиановых сшивающих агентов были подготовлены в соответствии со следующей методикой. Для изготовления сшитого геля 2 г КМЦ растворяли в 25 мл 1 % растворе гидроксида натрия, добавляли 0,11 г БДДЭ, 0,28 г ПЭГДЭ или 0,21 г ППГДЭ и перемешивали в течении 12 часов при 25 градусах Цельсия. После этого полученный гель нейтрализовали раствором соляной кислоты до нейтрального значения водородного показателя pH и довели до

расчетного значения концентрации КМЦ. Диализ не проводился, так как он снижает и уравнивает токсичность всех гелей, таким образом не позволяя сделать вывод о токсичности конкретного сшивающего агента.

Образец геля с использованием ТМФ был приготовлен в соответствии с [7] с изменениями. Для изготовления сшитого геля 2 г КМЦ растворяли в 25 мл 1 % растворе гидроксида натрия, добавляли 0,17 г сшивающего агента и перемешивали в течении 12 часов при 25 градусах Цельсия. После этого полученный гель нейтрализовали раствором соляной кислоты до нейтрального значения водородного показателя рН и довели до расчетного значения концентрации КМЦ. Диализ не проводился, так как он снижает и уравнивает токсичность всех гелей, таким образом не позволяя сделать вывод о токсичности конкретного сшивающего агента.

Таким образом, были подготовлены следующие образцы: Образец 1 (сшитый с использованием БДДЭ), Образец 2 (сшитый с использованием ПЭГДЭ), Образец 3 (сшитый с использованием ППГДЭ) и Образец 4 (сшитый с использованием ТМФ).

Определение цитотоксичности проводили с использованием МТТ-теста на линиях клеток фибробластов мыши L929 и колоректального рака мыши Colon26. Данные линии клеток выращивали в среде RPMI-1640 с добавлением 10 % фетальной сыворотки телят (FCS), пенициллина, стрептомицина, глутамина (все – PanEco, Российская Федерация). Клетки снимали с планшетов раствором 0.05 % трипсина-ЭДТА (PanEco, Российская Федерация), определяли концентрацию. Цитотоксическое действие препаратов оценивалось с помощью реактива 3-(4,5-диметил-2-тиазолил)-2,5-дифенил-2Н-тетразолиум бромида (МТТ, Sigma Aldrich, США) согласно методике, описанной в [8]. Различные разведения гелей (от 10 до 5120) готовили в культуральной среде. Клетки вносили по 5 тыс/лунку. В качестве контроля служили необработанные клетки. Планшеты инкубировали в течение 72 ч. За последние 6 ч в каждую лунку добавляли МТТ (5 мг/мл) в объеме 10 мкл. После инкубации культурную среду удаляли и в каждую лунку добавляли 100 мкл диметилсульфоксида. Планшеты инкубировали при встряхивании в течение 15 мин для растворения образовавшегося формазана. Оптическая плотность считывалась на спектрофотометре Titertek (Великобритания) при 540 Нм. Результаты анализировались в пакете Excel (Microsoft). По кривым титрования рассчитана цитотоксическая концентрация, дающая 50% максимального токсического эффекта (IC50). Данные приведены в виде индекса цитотоксичности (И), определенного по формуле (1):

$$И = 1 - \frac{OD_{exp}}{OD_{cont}} \quad (1)$$

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Ниже представлена схема реакции карбоксиметилцеллюлозы со сшивающими агентами: БДДЭ (рис. 5), ПЭГДЭ (рис. 6), ППГДЭ (рис. 7) и ТМФ (рис. 8). Во всех случаях реакция проводилась в щелочной среде.

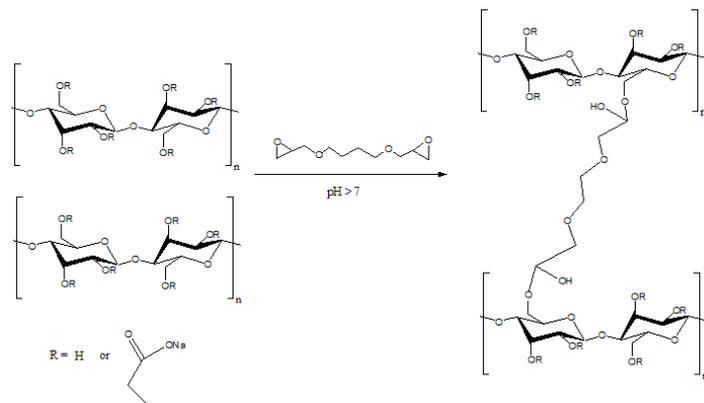


Рис. 5. Схема реакции КМЦ и 1,4-бутандиолдиглицидилового эфира (БДДЭ).

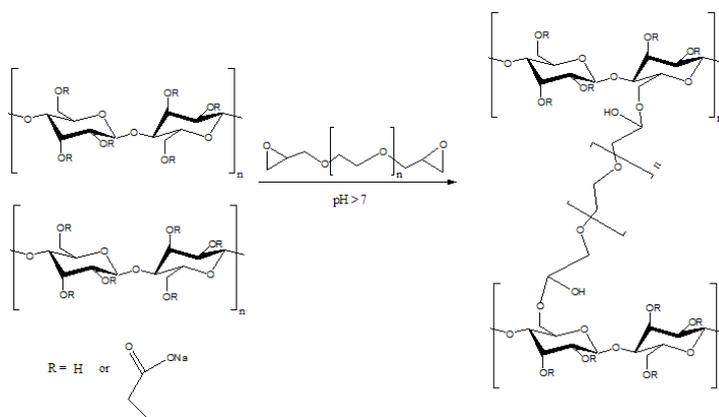


Рис. 6. Схема реакции КМЦ и полиэтиленгликольдиглицидилового эфира (ПЭГДЭ).

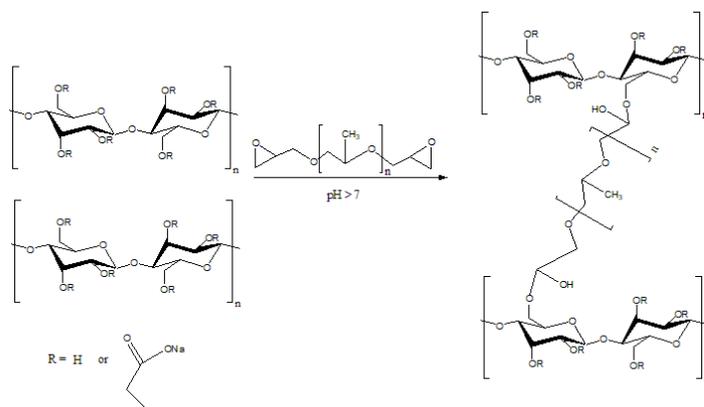


Рис. 7. Схема реакции КМЦ и полипропиленгликольдиглицидилового эфира (ППГДЭ).

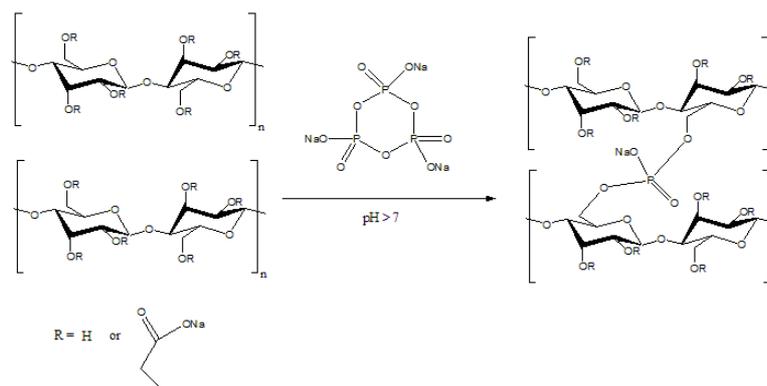


Рис. 8. Схема реакции КМЦ и триметафосфата натрия (ТМФ).

Результаты МТТ-теста полученных составов поперечно-сшитой КМЦ представлены в табл. 1–2.

Таблица 1.
Значение индекса ингибирования для образцов 1–4 различного разведения на клетках линии L929

Образец	10	20	40	80	160	320	640	1280	2560	5120	IC50
1	0,76	0,62	0,55	0,45	0,37	0,23	0,09	0,05	-0,04	0,04	160
2	0,72	0,59	0,46	0,36	0,25	0,18	0,11	0,07	0,07	-0,05	80
3	0,33	0,25	0,21	0,11	0,09	0,08	0,04	0,03	0,03	0,02	10
4	0,52	0,40	0,29	0,20	0,09	0,08	0,01	0,03	-0,04	0,13	40

Таблица 2.
Значение индекса ингибирования для образцов 1–4 различного разведения на клетках линии L929

Образец	10	20	40	80	160	320	640	1280	2560	5120	IC50
1	0,83	0,57	0,46	0,29	0,22	0,14	0,09	0,01	0,06	-0,09	40
2	0,66	0,50	0,45	0,37	0,22	0,13	0,00	0,02	-0,04	-0,01	80
3	0,53	0,37	0,25	0,12	0,02	0,00	0,02	0,01	0,00	0,03	20
4	0,88	0,77	0,58	0,39	0,26	0,15	0,04	-0,04	-0,02	0,00	40

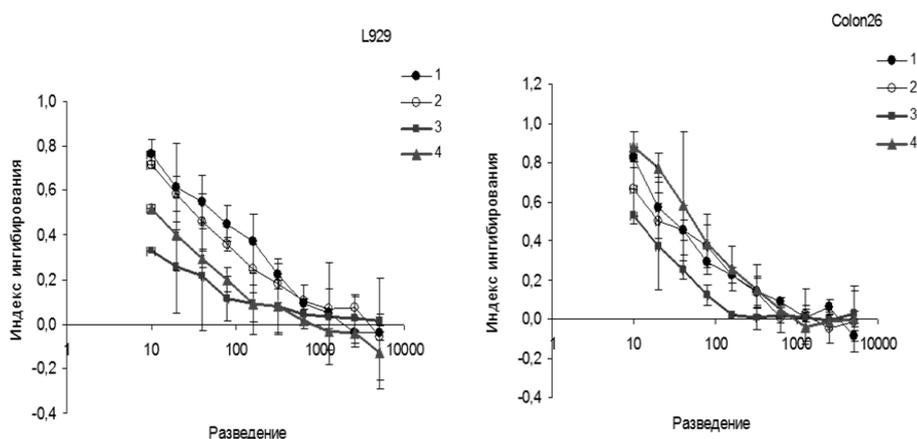


Рис. 9. Анализ пролиферации клеток L929 (слева) и Colon26 (справа) в присутствии Образцов 1–4. Данные приведены в виде индекса цитотоксичности (И), определенного по формуле (1).

Как видно из рис. 9 и табл. 1–2, цитотоксичность наблюдается для всех сшивающих агентов, так как цитотоксическая концентрация IC_{50} выше 0 для всех образцов, то есть все образцы в своей исходной концентрации являются токсичными. Это связано с тем, что сшивающие агенты с одной стороны являются токсичными вследствие высокой реакционной способности – своего основного свойства; с другой стороны, продукты реакций непрореагировавшего сшивающего агента являются токсичными. При этом, как отмечается в литературе, не совсем ясна степень токсичности побочных продуктов [9, 10]. Это связано с возможностью образования разных соединений, а также во многом степенью присоединения сшивающего агента к молекулам биополимера, что напрямую влияет на количество остаточного сшивающего агента. Таким образом, избранный в данной статье метод сравнения сшитых гелей путем проведения анализа на цитотоксичность позволяет пренебречь точным химическим составом возможных побочных продуктов реакции в растворе сшивающего агента и КМЦ, а также в целом определить степень токсичности разных агентов.

Использование сшивающего агента на основе ППГДЭ (образец 3) позволяет получить раствор с существенно меньшей токсичностью по сравнению с остальными сшивающими агентами в 2–16 раз. Это может быть связано с двумя причинами: во-первых, ППГДЭ более реакционноспособен по сравнению с остальными сшивающими агентами, таким образом происходит большая степень сшивки между ним и молекулами КМЦ, что приводит к меньшему содержанию остаточного количества сшивающего агента в растворе; во-вторых, продукт гидролиза остаточного ППГДЭ в растворе менее токсичен по сравнению с другими сшивающими агентами.

Однако, при приготовлении данных гелей был исключен диализ. Именно он, что подтверждается данным исследованием, снижает цитотоксичность гелей с

использованием сшивающих агентов на основе БДДЭ и ПЭГДЭ. Несмотря на пониженную токсичность ППГДЭ, гель с ним также требует дополнительной очистки. Таким образом, данный факт подтверждает важность диализа как процесса очистки при производстве сшитых гелей биополимеров для медицинского применения. В то же время, чем ниже токсичность сшивающего агента, тем меньше рисков возникновения побочных эффектов у пациентов, даже несмотря на использование диализа. Таким образом, использование ППГДЭ с точки зрения цитотоксичности более предпочтительно, по сравнению с остальными сшивающими агентами. Необходимо провести дополнительные исследования, направленные на сравнение реологических свойств гелей, полученных с использованием ППГДЭ, с гелями, полученными с использованием иных сшивающих агентов.

Токсичность геля, приготовленного с ТМФ, сравнима с токсичностью гелей, сшитых с использованием традиционных ПЭГДЭ и БДДЭ. Несмотря на то, что в литературе отмечается более низкая токсичность ТМФ, данное исследование это не продемонстрировало [6, 7]. Это может быть связано со слабой реакционной способностью и, соответственно, низкой степенью сшивки КМЦ вследствие стерических затруднений: молекула ТМФ имеет наименьшую молекулярную длину среди остальных сшивающих агентов, вследствие чего более вероятным сшиванием будет внутримолекулярное, а не межмолекулярное, что будет способствовать меньшей площади контакта для остальных молекул сшивающего агента. В то же время, возможно за счет изменений условий протекания реакции возможно повысить степень сшивки и, таким образом, снизить токсичность изделия. Несмотря на это, ТМФ может рассматриваться как потенциальный сшивающий агент с точки зрения цитотоксичности, так как имеет схожую цитотоксичность с БДДЭ и ПЭГДЭ, которые активно используются в настоящее время.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Исследована цитотоксичность поперечно-сшитых гелей КМЦ с использованием следующих сшивающих агентов: БДДЭ, ПЭГДЭ, ППГДЭ, ТМФ. Исходя из полученных результатов, цитотоксичность ППГДЭ ниже в 2–16 раз по сравнению с другими гелями; цитотоксичность ТМФ сравнима с показателями ПЭГДЭ и БДДЭ, однако без процесса диализа такие гели остаются токсичными.
2. Доказана важность диализа для производства любых поперечно-сшитых гелей, так как данный процесс позволяет снизить токсичность до приемлемого уровня. Без проведения диализа такие гели остаются токсичными.
3. Полученные данные по цитотоксичности позволяют рассматривать ППГДЭ и ТМФ как новые, перспективные сшивающие агенты для использования в растворах биополимеров медицинского назначения.

Список литературы

1. US Pat. 9,682,167 B2: МПК А61L 27/20, А61L 27/54. Carboxymethylcellulose polyethylene glycol compositions for medical uses / Samuel J. Falcone, Richard A. Berg; заявитель и патентообладатель Fziomed, Inc. – № 15/189,496; заявл. 22.06.2016; опубл. 20.06.2017.

- Kablik J. Comparative physical properties of hyaluronic acid dermal fillers / J. Kablik, G. D. Monheit, L. Yu [et al.] // *Dermatologic Surgery*. – 2009. – Vol. 35. – P. 302–312.
- Hiroyuki K. Characterization and properties of carboxymethyl cellulose hydrogels crosslinked by polyethylene glycol / K. Hiroyuki // *Carbohydrate Polymers*. – 2014. – Vol. 106. – P. 84–93.
- Leonardis M. New-generation filler based on cross-linked carboxymethylcellulose: study of 350 patients with 3-year follow-up / M. Leonardis, A. Palange // *Clin Interv Aging*. – 2015. – Vol. 10. – P. 147–155.
- Leonardis M. Use of cross-linked carboxymethyl cellulose for soft-tissue augmentation: preliminary clinical studies / M. Leonardis, A. Palange, R. F. V. Dornelles [et al.] // *Clinical Interventions in Aging*. – 2010. – Vol. 5. – P. 317–322.
- Sgorla D. Development and characterization of crosslinked hyaluronic acid polymeric films for use in coating processes / D. Sgorla, A. Almeida, C. Azevedo [et al.] // *Int J Pharm*. – 2016 – Vol. 511, No 1. – P. 380–389.
- Dulong V. Hyaluronan-based hydrogels particles prepared by crosslinking with trisodium trimetaphosphate. Synthesis and characterization / V. Dulong, S. Lack, D. Le Cerf [et al.] // *Carbohydrate Polymers* – 2004 – Vol. 57, No 1. – P. 1–6.
- Mosmann T. Rapid colorimetric assay for cellular growth and survival: Application to proliferation and cytotoxicity assays / T. Mosmann // *J. Immunol. Methods* – 1983. – Vol. 65. – P. 55–63.
- Guarise C. HA-based dermal filler: downstream process comparison, impurity quantitation by validated HPLC-MS analysis, and in vivo residence time study / C. Guarise, C. Barbera, M. Pavan [et al.] // *J Appl Biomater Funct Mater*. – 2019. – Vol. 17, No 3. – P. 1–9.
- De Boule K. A review of the metabolism of 1,4-butanediol diglycidyl ether-crosslinked hyaluronic acid dermal fillers / K. De Boule, R. Glogau, T. Kono [et al.] // *Dermatol Surg*. – 2013. – Vol. 39, No 12. – P. 1758–1766.

CYTOTOXICITY STUDY OF CARBOXYMETHYL CELLULOSE HYDROGELS OBTAINED WITH THE USE OF A NEW CROSSLINKERS

Venzhik A. N., Nikolaev D. A., Romanova I. V.

*LCC «Medtekhnoprojekt», Moscow, Russian Federation
E-mail: a.venzhik@medtp.ru*

Biopolymer materials based on carboxymethyl cellulose (CMC) are widely used in various fields of medicine. The widespread use of carboxymethyl cellulose is due to its properties: being a biopolymer, carboxymethyl cellulose has such properties as biocompatibility, non-immunogenicity, hypoallergenicity and bioavailability. However, depending on the medical purpose and therapeutic goals, it is required to regulate the degree of biodegradation of the implanted biopolymers. To regulate the degree of biodegradation of carboxymethylcellulose in body tissues chemical modification methods are often used, viz. are used crosslinking agents forming covalent bonds between polymer chains of carboxymethylcellulose. In this work we investigated a new cross-linking agent, polypropylene glycol diglycidyl ether (PPGDE), as a cross-linking agent for CMC, which was not previously used in medical, food or pharmaceutical industry. The most critical parameter for any cross-linking agent in medical materials is cytotoxicity, and a hydrogel with a new crosslinker was subjected to this study. For comparison crosslinking agents already used in the pharmaceutical and medical industry were taken: 1,4-butanediol diglycidyl ether (BDDE); polyethylene glycol diglycidyl ether (PEGDE). The crosslinking

agent sodium trimetaphosphate (TMP) which is widely used in the food industry for the crosslinking of starch and guar gum molecules was also investigated. The data obtained indicate the use of a crosslinker PPGDE makes it possible to obtain a solution with 2–16 times lower toxicity compared to other cross-linking agents, while the use of a cross-linking agent based on TMP makes it possible to obtain a solution with comparable toxicity to BDDE and PEGDE. At the same time, it is important to emphasize that toxicity persists, therefore a dialysis process is required for medical device manufacturing. Thus the new crosslinking agents PPGDE and TMP can be considered as potential crosslinking agents for medical use biopolymers.

Keywords: carboxymethyl cellulose, cross-linked gel, implantable materials, polymers chemical crosslinking, biopolymer formulations.

References

1. US Pat. 9,682,167 B2: МПК А6ІL 27/20, А6ІL 27/54. Carboxymethylcellulose polyethylene glycol compositions for medical uses / Samuel J. Falcone, Richard A. Berg; заявитель и патентообладатель Fziomed, Inc. – № 15/189,496; заявл. 22.06.2016; опубл. 20.06.2017.
2. Kablik J., Monheit G. D., Yu L., Chang G., Gershkovich J. Comparative physical properties of hyaluronic acid dermal fillers, *Dermatologic surgery: official publication for American Society for Dermatologic Surgery*, **35**, 302 (2009).
3. Hiroyuki K. Characterization and properties of carboxymethyl cellulose hydrogels crosslinked by polyethylene glycol, *Carbohydrate Polymers*, **106**, 84 (2014).
4. Leonardis M., Palange A. New-generation filler based on cross-linked carboxymethylcellulose: study of 350 patients with 3-year follow-up, *Clinical Interventions in Aging*, **10**, 147 (2015).
5. Leonardis M., Palange A., Dornelles R. F. V., Hund F. Use of cross-linked carboxymethyl cellulose for soft-tissue augmentation: preliminary clinical studies, *Clinical Interventions in Aging*, **5**, 317 (2010).
6. Sgorla D., Almeida A., Azevedo C., Bunhak Y. J., Sarmiento B., Cavalcanti O. A. Development and characterization of crosslinked hyaluronic acid polymeric films for use in coating processes, *Int J Pharm*, **511(1)**, 380 (2016).
7. Dulong V., Lack S., Le Cerf D., Picton L., Vannier J. P., Muller G. Hyaluronan-based hydrogels particles prepared by crosslinking with trisodium trimetaphosphate. Synthesis and characterization, *Carbohydrate Polymers*, **57(1)**, 1 (2004).
8. Mosmann T. Rapid colorimetric assay for cellular growth and survival: Application to proliferation and cytotoxicity assays, *J. Immunol. Methods*, **65**, 55 (1983).
9. Guarise C., Barbera C., Pavan M., Panfilo S., Beninatto R., Galesso D. HA-based dermal filler: downstream process comparison, impurity quantitation by validated HPLC-MS analysis, and in vivo residence time study, *J Appl Biomater Funct Mater*, **17(3)**, 1 (2019).
10. De Boule K., Glogau R., Kono T., Nathan M., Tezel A., Roca-Martinez J. X., Paliwal S. Stroumpoulis D., A review of the metabolism of 1,4-butanediol diglycidyl ether-crosslinked hyaluronic acid dermal fillers, *Dermatol Surg*, **39(12)**, 1758 (2013).

УДК 556.551 (470.55)

СЕЗОННЫЕ ОСОБЕННОСТИ ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА И КАЧЕСТВА ВОДЫ В ВОДОХРАНИЛИЩЕ РУСЛОВОГО ТИПА

Живетина А. В.¹, Нохрин Д. Ю.², Дерхо М. А.¹, Мухамедьярова Л. Г.¹

¹*ФГБОУ ВО «Южно–Уральский государственный аграрный университет», Троицк
Челябинской обл., Россия*

²*ФГБОУ ВО «Уральский государственный университет», Челябинск, Россия
E-mail: derkho2010@yandex.ru*

Химический состав и качества воды в водохранилище руслового типа зависит от сезона года и его гидрологических особенностей. Вода относится к гидрокарбонатно-сульфатным магниево-кальциевым водам со слабощелочной реакцией среды. Сезонная изменчивость воды определяется, во-первых, дополнительным поступлением загрязнителей в водохранилище в составе паводковых вод весной, во-вторых, включения элементов воды летом и осенью в биологический цикл водоема. Пространственная изменчивость воды от верховой к приплотинной части отражает самоочищающуюся способность водохранилища и скорость перехода элементов или в донные отложения, или в живые организмы. Ведущими факторами в формировании санитарного состояния водохранилища являются природные и техногенные воздействия, а ведущими процессами – поступление загрязнителей в водоём весной с осаджением в его нижней части (приплотинной) и минерализация органического вещества в весенний период.

Ключевые слова: водохранилище руслового типа, сезонные и пространственные особенности химического состава воды.

ВВЕДЕНИЕ

На сегодняшний день среди большого количества водных объектов особый интерес представляют водохранилища, имеющие огромное народнохозяйственное значение. Во-первых, в них сосредоточен основной запас пресной воды, применяющейся в дальнейшем для водоснабжения населения и промышленных предприятий, обеспечения технологических процессов гидроэлектростанций. Во-вторых, они используются для борьбы с наводнениями, рыбохозяйственных и рекреационных целей. В-третьих, являются конечным звеном, концентрирующим промышленные, сельскохозяйственные и бытовые стоки [1–4]. В последние годы, как результат снижения экологической безопасности различных производств на фоне их активного развития, значительно увеличилась нагрузка на водные экосистемы, в которых самоочищающаяся способность не эквивалентна уровню поступления загрязнителей антропогенного происхождения, что отражается на качестве воды [5].

Экологическое состояние воды в водохранилище, во-первых, формируется за счет извлечения из русла питающих рек большого количества воды и питательных веществ. Это служит основой для активного размножения, особенно в верхних

слоях воды, различных видов биоты, процессы жизнедеятельности которой сопряжены с формированием запаха, вкуса, мутности, прозрачности воды, содержанием органических веществ и состоянием донных отложений [6]. Во-вторых, качество воды взаимосвязано с поступлением в водохранилище химических веществ в составе сточных вод промышленных и муниципальных предприятий [7, 8]. В-третьих, водохранилища, имея достаточный водный потенциал, регулируют уровень речного стока в зависимости от сезона года [9, 10]. Следовательно, качество воды в водохранилище, как и в любом другом водном объекте, определяется совокупностью природных и антропогенных факторов, варьирующих сезонно и пространственно [11]. Это актуализирует проблему оценки вод водохранилища не только в количественном отношении (запас пресной воды), но и по экологическому состоянию (качеству).

Целью работы явился анализ химического состава и качества воды в водохранилище руслового типа в зависимости от сезона года и его гидрологических особенностей.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Исследования проводились в 2019–2020 гг. Объектом исследований было выбрано Троицкое водохранилище Челябинской области, расположенное после слияния рек Увелька и Уй. Оно относится к русловому типу, имеет резко изрезанную береговую линию, площадь зеркала и водосбора составляет 10,85 и 15100,00 км², объем воды 45,10 млн. м³, коэффициент водообмена равен 9,44 и характер его регулирования сезонный (максимум в апреле) [10]. Материалом исследований служили пробы воды, отбор которых проводился со среднего уровня весной (май), летом (июль) и осенью (сентябрь) в соответствии с требованиями ГОСТ Р 51592–2000 [12]: в верховье (В), центральной (Ц) и приплотинной (П) частях водохранилища.

Лабораторные исследования выполнены на базе ООО «Троицкий водоканал водоснабжение» (г. Троицк, Челябинская область) с использованием стандартных аналитических методов (ГОСТ, ПНД Ф). Для оценки качества воды были определены следующие показатели: запах (ГОСТ Р 57164–2016), цветность (РД 52.24.497–2019), мутность (РД 52.08.104–2002), рН (ПНД Ф 14.1:2:3:4.121–97), жесткость (РД 52.24.395–2017), минерализация (ПНД Ф 14.1:2:4.261–2010), взвешенные вещества (ПНД Ф 14.1:2:4.254-09), щелочность, карбонаты и гидрокарбонаты (ГОСТ 31957 – 2012), хлориды (ПНД Ф 14.1:2:3.96–97), сульфаты (ПНД Ф 14.1:2.159–2000), калий, натрий, кальций, магний (ГОСТ 31869–2012); алюминий (ГОСТ 18165–2014;), аммоний, нитраты и нитриты (ГОСТ 33045–2014), окисляемость (ПНД Ф 14.1:2:4.154–99), биохимическое потребление кислорода (НДП 10.1:2:3.131–2016), нефтепродукты (ПНД Ф 14.1:2.116–97), поверхностно–активные вещества (РД 52.24.368–2006), растворенные газы: кислород (ПНД Ф 14.1:2.101–97), углекислый газ (ЦВ 1.01.17–2004; ФР.1.31.2005.01580), общее железо (ПНД Ф 14.1:2:4.50– 96), хром (VI), марганец, никель, мед, цинк, кадмий, свинец (ПНД Ф 14.1:2:4.139–98), фторидов (ПНД Ф 14.1:2:3:4.179–2002) [13–34].

Полученные данные сравнивали со значениями предельно допустимых концентраций веществ для рыбохозяйственных водоемов – ПДК_{вр} [35].

В ходе анализа полученных данных использовали графические и статистические методы. Соотношения главных ионов, водородный показатель и минерализацию изображали на диаграмме С. А. Дурова [36]. Статистический анализ предусматривал анализ главных компонент. Расчёты и графические построения выполнены в пакетах PAST (version 4.03) [37], RockWare AqQA (v. 1.1.5.1) и векторном редакторе TrX (v. 1.5) [38].

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Водные ресурсы, их количество и качество играют важную роль в обеспечении социально-экономического благополучия населения любого региона России [39–41]. При анализе сезонных и межгодовых изменений химического состава воды в водохранилище было установлено, что приоритетным антропогенным загрязнителем являются сточные воды, на воздействие которых дополнительно накладывается поступление поверхностных вод и почвы с территории береговой полосы в период паводков и дождей. Это определяет сезонную неоднородность всех параметров, определенных нами в составе воды.

Из органолептических свойств в пробах воды, независимо от точки их взятия (В, Ц, П), была выявлена избыточность величин запаха, цветности и мутности (табл. 1, 2). основополагающая причина – это низкий уровень водообмена для такого типа водохранилищ, как Троицкое, что, в свою очередь, не позволяет протекать процессам самоочищения с достаточной скоростью [10]. Кроме этого, большую роль играют абиотические факторы. Поэтому уровень мутности и цветности воды в пробах очень сильно возрастал весной в результате дополнительного попадания в водохранилище паводковых вод, и достаточно был высок летом и осенью за счет развития биоты и ливневого стока. Отчетливый запах воды, независимо от сезона года и точки взятия проб, являлся следствием сброса недостаточно очищенных сточных вод в питающие водохранилище реки. В целом, количественная вариабельность органолептических параметров свидетельствовала о преимущественно антропогенном характере загрязнения изучаемых природных вод.

С органолептическими свойствами взаимосвязан такой параметр воды, как взвешенные вещества, величина которого обуславливает и мутность, и цветность [42]. Поэтому сезонная изменчивость их количества однотипна с данными органолептическими показателями (табл. 1, 2). С учетом высокой концентрации в воде взвешенных веществ, независимо от сезона года и точки взятия проб, уровень минерализации воды в водохранилище был невысок [35]. Это, во-первых, позволяет классифицировать ее как пресную воду. Во-вторых, напрямую свидетельствует о попадании в водохранилище загрязнителей преимущественно в коллоидно-дисперсном состоянии [39]. В-третьих, отражает способность водохранилища самоочищаться от растворенных в воде минеральных солей. В частности, сезонная изменчивость минерализации (сухой остаток) отражала способность минеральных солей переходить из растворенного состояния в

нерастворимое (взвешенные вещества) и далее накапливаться в донных отложениях [43].

Из общих свойств воды нами была определена активная реакция среды (рН), которая, колебалась в пределах 7,10–8,70 ед. (слабощелочная). Сезонная изменчивость рН была сопряжена с работой буферных систем воды, развитием и интенсивностью разложения органической биомассы, продукцией углекислого газа [43]. Так, летний минимум рН, особенно в 2020 г., определялся уровнем жизнедеятельности гидробионтов, влияющим на окисляемость воды и содержание углекислого газа.

Таблица 1
Химический состав воды Троицкого водохранилища в 2019 г.

Показатели	Сезон / Станция									ПДК _{ВР}
	Весна			Лето			Осень			
	В	Ц	П	В	Ц	П	В	Ц	П	
Номер образца	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
Общие										
Взвешенные вещества, мг/дм ³	15,20	13,40	10,20	3,00	1,90	1,50	5,90	4,90	5,00	0,25
<i>Запах, балл</i>	4,00	4,00	3,70	3,00	2,70	2,30	4,00	3,70	3,30	2,00
<i>Цветность, °Цв.</i>	131,10	112,30	101,90	67,30	52,90	52,00	38,10	36,90	34,70	30,00
<i>Мутность, мг/дм³</i>	10,01	9,00	9,00	2,65	2,59	2,48	4,39	3,69	3,45	1,5–2,0
<i>рН (вод. показ.)</i>	7,41	7,47	7,49	7,93	7,45	7,19	8,69	8,47	8,16	6,00–9,00
<i>Щелочность, мг-экв/дм³</i>	4,20	4,47	4,55	4,77	4,73	5,17	3,97	4,10	4,26	–
<i>Жесткость, °Ж</i>										7,00–10,00
<i>титриметрически – [Ca²⁺]+[Mg²⁺]</i>	8,27 6,14	7,68 6,61	7,45 7,13	6,78 6,13	6,73 6,58	6,70 7,10	6,95 6,88	6,90 8,06	7,00 9,03	
<i>Минерализация, мг/дм³</i>										
– сухой остаток	536,00	557,00	558,00	526,00	533,00	503,00	702,00	661,00	658,00	1000,00
– сумма ионов	711,00	712,00	734,00	669,00	681,00	701,00	649,00	689,00	718,00	
Главные ионы и карбонаты, мг/дм³										
Гидрокарбонаты	261,90	271,50	290,80	285,70	288,70	312,20	243,40	271,20	284,30	–
Хлориды	67,20	63,70	63,00	54,30	51,00	51,00	53,70	54,80	56,70	300,00
Сульфаты	228,7	209,6	201,8	149,5	147,8	132,3	178,5	170,7	166,4	100,00
Карбонаты	0,40	0,48	0,54	1,42	0,48	0,29	6,67	4,64	2,45	–
Калий	4,20	5,80	6,00	10,00	11,80	13,50	7,90	8,70	9,30	50,00
Натрий	47,60	49,60	55,00	62,10	67,90	72,10	45,90	47,20	50,60	120,00
Кальций	56,30	60,90	61,40	70,20	76,40	78,10	64,60	79,50	93,20	180,00
Магний	40,50	43,40	49,40	32,00	33,60	38,90	44,50	49,80	53,20	40,00

Продолжение таблицы 1

Биогенное и органическое вещество (мг/дм ³)										
Аммоний	0,97	0,73	0,64	0,74	0,50	0,39	0,69	0,55	0,53	0,50
Нитриты	0,11	0,97	0,10	0,05	0,04	0,04	0,04	0,02	0,03	0,08
Нитраты	5,58	5,05	4,87	2,82	2,13	1,39	2,42	1,16	0,94	40,00
Окисляемость, мгО/дм ³	10,95	10,66	10,13	8,10	8,66	8,20	6,71	6,36	6,27	5,00–7,00
БПК ₅	3,93	3,26	3,30	1,20	1,34	1,55	2,07	2,20	2,55	2,10
Нефтепродукты	0,05	0,03	0,03	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,05
СПАВ	0,02	0,02	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,10
Растворенные газы, мг/дм ³										
Кислород	10,60	8,72	9,40	8,65	9,16	9,06	8,30	11,30	11,82	6,00
Углек. газ	15,70	14,20	14,50	5,20	15,80	31,10	0,80	1,40	3,00	–
Микроэлементы и тяжелые металлы, мг/дм ³										
Фториды	0,72	0,67	0,66	0,43	0,41	0,53	0,61	0,63	0,66	0,75
Алюминий	0,05	0,05	0,03	0,01	0,01	0,01	0,03	0,02	0,01	0,50
Хром VI	0,15	0,12	0,11	0,04	0,01	-	0,01	0,01	-	0,07
Марганец	0,60	0,50	0,45	0,12	0,10	0,01	0,05	0,03	0,02	0,01
Железо общее	0,56	0,48	0,32	0,26	0,17	0,16	0,40	0,25	0,19	0,10
Никель	0,02	0,02	0,01	0,01	0,01	-	0,02	0,01	0,01	0,01
Медь	0,09	0,07	0,07	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,001
Цинк	0,06	0,05	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
Кадмий	0,001	0,001	0,001	-	-	-	-	-	-	0,005
Свинец	0,010	0,005	0,005	0,005	0,003	0,003	0,004	0,004	0,004	0,006

Примечание: жирным шрифтом выделены значения, превышающие ПДК_{вр} [35]

Это сдвигало динамическое равновесие между карбонатами и гидрокарбонатами в сторону последних (табл. 1, 2). Высокое значение рН в осенний период (рН=8,16–8,69) на фоне снижения окисляемости было сопряжено с восстановлением карбонатов в соответствующей буферной системе воды [43].

Сезонная изменчивость жесткости воды определялась вариабельностью главных элементов карбонатной буферной системы [43]. Для неё был характерен весенний максимум и летне-осенний минимум, за счет активного усвоения элементов водными организмами (табл. 1, 2). При этом между титриметрической и расчетной величиной жесткости воды не выявлено пропорциональности, что обусловлено, как различиями в количестве двухвалентных катионов, учитываемых в каждом методе, так и степенью их усвоения гидробионтами.

Содержание главных ионов (хлориды, сульфаты, калий, натрий, кальций и магний) и карбонатов независимо от сезона года и точки взятия проб не превышало значений ПДК_{вр} (табл. 1, 2), за исключением сульфатов, количество которых особенно сильно возрастало в паводковый период. При этом среди анионов преобладали гидрокарбонаты и сульфаты, а среди катионов – магний и кальций, что позволяло с учетом жесткости воды и рН отнести её к гидрокарбонатному (или смешанному) классу и магниево-кальциевой группе. Сезонная изменчивость параметров группы «Главные ионы и карбонаты» позволяет констатировать, что

доминирующие анионы определяют и уровень минерализации, и жесткости воды за счет регулирования растворимости органических и неорганических соединений (табл. 1, 2).

По данным [42, 44] содержание взвешенных веществ сопряжено с сезонной динамикой развития водной фауны и соответственно с количеством биогенных и органических веществ в воде. Так, концентрация ионов аммония, являющихся индикатором санитарного состояния водоема и свежего органического загрязнения, была избыточна во все сезоны года в верховье и приплотинной частях водохранилища от 1,40 до 2,70 раз (табл. 1, 2). Соотнесение концентрации аммония с уровнем нитритов, нитратов и окисляемостью позволяет считать, что в воде водохранилища содержится достаточно высокая концентрация органических веществ, склонных к ферментативному окислению, и неорганических восстановителей, особенно в весенне–летний период».

Таблица 2
Химический состав воды Троицкого водохранилища в 2020 г.

Показатели	Сезон / Станция									ПДК _{ВР}
	Весна			Лето			Осень			
	В	Ц	П	В	Ц	П	В	Ц	П	
Номер образца	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
Общие										
Взвешенные вещества, мг/дм ³	8,20	6,70	6,80	2,80	1,90	1,20	3,60	3,40	3,20	0,25
<i>Запах, балл</i>	4,00	4,00	4,00	3,30	2,70	2,50	4,00	4,00	3,20	2,00
<i>Цветность, °Цв.</i>	79,40	76,20	64,80	27,70	25,00	24,70	22,00	21,70	21,80	30,00
<i>Мутность, мг/дм³</i>	8,20	7,80	6,65	2,35	2,15	2,02	3,73	3,64	3,21	1,50–2,00
<i>pH (вод. показ.)</i>	7,29	7,66	7,59	7,28	7,16	7,11	8,50	8,42	8,33	6,00–9,00
<i>Щелочность, мг-экв/дм³</i>	3,50	3,75	4,00	4,82	4,90	5,32	4,68	4,85	4,92	–
<i>Жесткость, °Ж</i> –титриметрически – [Ca ²⁺]+[Mg ²⁺]	8,21 7,54	7,87 5,15	7,73 5,70	6,98 7,39	6,60 7,66	6,50 7,93	6,72 7,13	6,54 7,15	6,30 7,60	7,00–10,00
<i>Минерализация, мг/дм³</i> – сухой остаток – сумма ионов	512,00 677,00	459,00 692,00	445,00 711,00	517,00 678,00	570,00 687,00	534,00 698,00	694,00 698,00	637,00 686,00	624,00 710,00	1000,00
Главные ионы и карбонаты, мг/дм³										
Гидрокарбонаты	213,50	265,30	290,60	295,90	300,40	324,30	276,30	282,30	296,70	–
Хлориды	67,10	62,10	60,00	54,10	49,70	38,00	59,90	55,60	57,40	300,00
Сульфаты	218,10	213,50	197,70	129,60	125,70	119,00	178,50	166,00	160,00	100,00
Карбонаты	0,25	0,71	0,67	0,33	0,26	0,25	5,03	4,29	3,70	–
Калий	4,30	5,90	6,40	9,60	13,80	14,60	8,70	9,00	9,70	50,00

СЕЗОННЫЕ ОСОБЕННОСТИ ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА И КАЧЕСТВА ...

Продолжение таблицы 2

<i>Натрий</i>	49,80	50,30	54,10	60,30	66,40	67,30	50,10	52,00	56,90	20,00
Кальций	63,50	66,00	68,50	87,80	90,20	93,50	71,60	72,00	79,50	80,00
Магний	21,30	22,60	27,80	36,60	38,40	39,70	43,30	43,20	44,20	40,00
Биогенное и органическое вещество (мг/дм³)										
Аммоний	1,35	1,18	1,08	0,65	0,39	0,35	1,31	0,94	0,87	0,50
Нитриты	0,09	0,09	0,09	0,06	0,03	0,03	0,06	0,03	0,03	0,08
Нитраты	4,85	3,97	3,64	2,55	0,85	0,79	2,47	0,62	0,50	40,00
Окисляемость, мгО/дм ³	9,08	8,99	8,76	7,56	7,11	7,06	5,38	5,04	5,00	5,00-7,00
БПК ₅	4,67	4,23	4,05	2,69	2,53	2,13	1,34	1,72	1,74	2,10
Нефтепродукты	0,04	0,03	0,03	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,05
СПАВ	0,02	0,02	0,02	-	-	-	-	-	-	0,10
Растворенные газы, мг/дм³										
Кислород	9,40	8,80	7,13	7,80	8,20	9,60	8,15	12,30	11,93	6,00
Углек. газ	16,80	8,90	11,50	24,00	32,00	38,80	1,40	1,70	2,10	-
Микроэлементы и тяжелые металлы, мг/дм³										
Фториды	0,75	0,67	0,63	0,58	0,60	0,62	0,50	0,51	0,63	0,75
Алюминий	0,09	0,07	0,04	0,03	0,03	0,03	0,02	0,01	0,01	0,50
Хром VI	0,05	0,05	0,04	0,10	0,09	0,01	0,02	0,02	0,01	0,07
Марганец	0,25	0,21	0,20	0,04	0,01	0,01	0,06	0,05	0,02	0,01
Железо общее	0,83	0,60	0,54	0,28	0,18	0,13	0,27	0,22	0,20	0,10
Никель	0,02	0,02	0,02	0,01	-	-	0,01	0,01	0,01	0,01
Медь	0,08	0,05	0,05	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,001
Цинк	0,08	0,06	0,04	0,02	0,01	0,01	0,02	0,01	0,01	0,01
Кадмий	0,001	0,001	0,001	0,001	-	-	0,001	-	-	0,005
Свинец	0,01	0,005	0,004	0,005	0,002	0,002	0,004	0,003	0,002	0,006

Примечание: жирным шрифтом выделены значения, превышающие ПДК_{вр} [35]

По данным [42, 45, 46] скорость процессов окисления взаимосвязана с концентрацией в воде различных микроорганизмов, источником которых служат сточные воды. Это позволяет предположить, что в условиях исследуемого водохранилища, как результат сброса высоко загрязненных сточных, активно развиваются бактерии, повышающие уровень биогенных элементов в воде и определяющие скорость эвтрофирования водоема, что инициирует ухудшение качества воды.

Содержание специфических органических веществ (нефтепродуктов и СПАВ) в исследуемые годы было незначительным (табл. 1, 2), хотя их уровень преобладал в пробах весенней воды за счет поступления в составе талых и дождевых вод, и был минимален в летне-осенний период, как результат повышения температуры воды и скорости процессов биодеструкции [47].

Характеристика газового состава воды показала, что: 1) самое большое содержание углекислого газа отмечается в весенний и летний периоды года, особенно в приплотинной части водохранилища, что отражает интенсивность процесса эвтрофикации водоема; 2) концентрация кислорода в воде не имеет межгодовых и межсезонных различий и колеблется от 7,10 до 12,3 мг/дм³ (табл. 1,

2). Обычно уровень окисляемости и растворенного кислорода находятся в реципрокных взаимоотношениях. Однако в воде исследуемого водохранилища данный вид взаимосвязи не выявлен, что по данным [46] сопряжено с характером обмена водных масс и температурой воды, определяющим растворимость кислорода. Кроме этого, скорость окисления свежих азотсодержащих соединений тоже влияет на количество растворенного кислорода в воде.

При оценке экологического состояния водного объекта большое внимание уделяется химическим элементам, уровень которых, за исключением алюминия, кадмия и фторидов, на протяжении исследуемого периода если не постоянно, то сезонно был избыточен (табл. 1, 2). Во-первых, концентрация железа была избыточна в составе воды, что сопряжено с геохимическими особенностями региона [39]. Однако более низкая концентрация элемента в приплотинной части водохранилища (на 26–54 % в зависимости от сезона года) свидетельствует о способности металла переходить в нерастворимую форму и оседать на дно в глубоководной части водохранилища. Во-вторых, внутри- и межгодовая избыточность характерна для меди, цинка, марганца и никеля (весной и осенью). В-третьих, в весенний период года, особенно в верховой части водного объекта, увеличивалась в воде концентрация свинца, никеля и хрома, по сравнению с летом и осенью. В совокупности выявленные изменения в минеральном составе воды могут служить доказательством наличия техногенного воздействия на водохранилище.

Проанализированный массив данных (табл. 1, 2) позволяет констатировать, что величина изучаемых показателей резко возрастает в весенний период года и наиболее сильно в верховой части водохранилища за счет прямого поступления загрязнителей в составе питающих его рек; наименьшие значения параметров воды выявлены в приплотинной и самой глубоководной части водохранилища, как результат оседания на дно минеральных соединений за счет потери растворимости; химический состав воды отражает природные особенности региона и уровень техногенного воздействия на водный источник. Для подтверждения данных выводов, а также выявления взаимосвязей между основными катионами и анионами в воде водохранилища мы построили диаграмму Дурова (рис. 1).

Так, в 2019 г. (рис. 1а), вода водохранилища имела смешанный катионный состав; при этом летние пробы отличались меньшей долей Mg^{2+} . В составе анионов отмечался либо смешанный тип, либо гидрокарбонатный. В пробах воды преобладали гидрокарбонат–ион и сульфат–ион, изменения которых имели характер короткого тренда: от весенних проб к летним доля HCO_3^- и CO_3^{2-} увеличивалась, а затем к осени вновь снижалась. Доля хлорид–ионов была практически неизменной и составляла немногим более 15 % в эквивалентных концентрациях.

В целом, по главным ионам наблюдалось относительно высокое постоянство состава воды: точки катионного и анионного составов проецировались в очень узкую зону результирующего поля диаграммы. Более заметные изменения наблюдались по минерализации: видно, что её значение варьировало от 503 до 702 мг/дм³. Более высокие значения отмечались в весенних пробах, и особенно – в нижней части водохранилища (образец № 3). Летние пробы характеризовались промежуточными уровнями минерализации, а осенние были наиболее

изменчивыми: от 702 мг/дм³ в верхней части водохранилища до 658 мг/дм³ в нижней. По величине рН более щелочной реакцией выделялись осенние пробы.

В 2020 г. химический состав воды водохранилища имел те же закономерности, особенно – по анионному составу и рН (рис. 1б). По соотношению главных ионов вода была преимущественно сульфатно–гидрокарбонатной магниево–кальциевой. Однако вариабельность минерализации в течение 3 сезонов была примерно в 2 раза меньше, причём как за счёт меньшего притока ионов в весенний период, так и за счёт меньшего разбавления вод в осенний период.

Анализ данных позволил установить следующие закономерности: 1) катионно–анионный состав воды зависел от сезона года и, соответственно, был взаимосвязан с источниками их поступления в водный объект (весенний максимум был результатом дополнения к существующему уровню техногенной нагрузки паводковых вод); 2) межгодовые различия в катионно–анионном составе воды отражали восстановительный потенциал водохранилища и степень изменения качества воды за счет его исключения из технологического цикла теплостанции; 3) уровень ионов был минимальным в приплотинной и самой глубоководной части водохранилища, отражая возможность более быстрой коагуляции и седиментации взвешенных частиц органического и неорганического происхождения за счет изменения, в первую очередь, их растворимости в условиях сильной вариабельности температуры воды.

Для выявления наиболее общих закономерностей санитарного состояния водоёма был проведён многомерный анализ, в который были включены концентрации биогенного и органического вещества, взвешенных веществ, растворённых газов, микроэлементов и металлов, а также рН, запах и мутность. Результаты анализа представлены на координатной диаграмме (рис. 2). Из неё видно, что в первую компоненту с положительными нагрузками вошли практически все показатели, а их векторы направлены в сторону весенних проб. Таким образом, около 60 % изменчивости показателей санитарного состояния водоёма обусловлено сезонным стоком загрязнителей в водоём. В продольном разрезе ТВ их концентрация в воде снижалась (вероятно, в результате осаждения), что видно из обратного направлению векторов следования номеров меток 1, 2 и 3 на диаграмме.

Вторая главная компонента была биполярной: с наиболее сильными положительными нагрузками в неё вошли рН, концентрация ионов NH₄⁺, запах, кислород, а с отрицательными – углекислый газ и окисляемость. Таким образом, данная компонента отражала процессы преобразования (разложения) органического вещества в водоёме. Видно, что в нижней части диаграммы расположились метки летних проб (№№ 4, 5, 6) проб, а также весенние пробы 2019 г. (№№ 19_1 – 19_3). Для этих проб была характерна нейтральная реакция среды, высокое содержание свободной углекислоты и неокисленного органического вещества (окисляемость). Напротив, в верхней части диаграммы находятся осенние пробы и, в меньшей степени, – весенние 2020 г. Для них характерны процессы распада органического вещества с выделением запаха, образованием наименее окисленной формы минерального азота – катиона аммония и сдвигом реакции среды в щелочную сторону. Вклад данных процессов в общую изменчивость (дисперсию) показателей был относительно невелик и составлял 14,2 %.

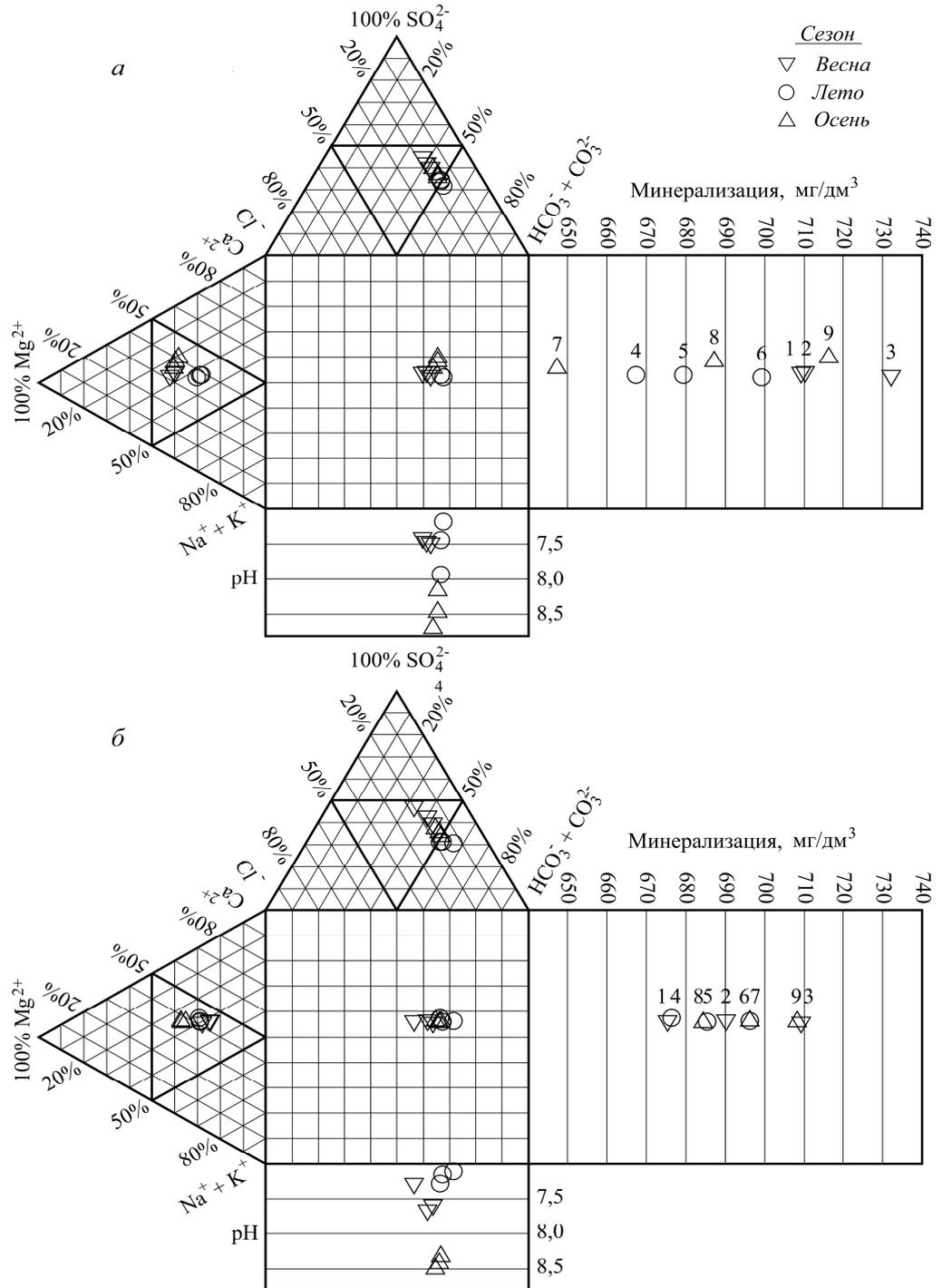


Рис 1. Химический состав воды Троицкого водохранилища на диаграмме Дурова: а – 2019 г., б – 2020 г. Номер образца – табл. 1, 2.

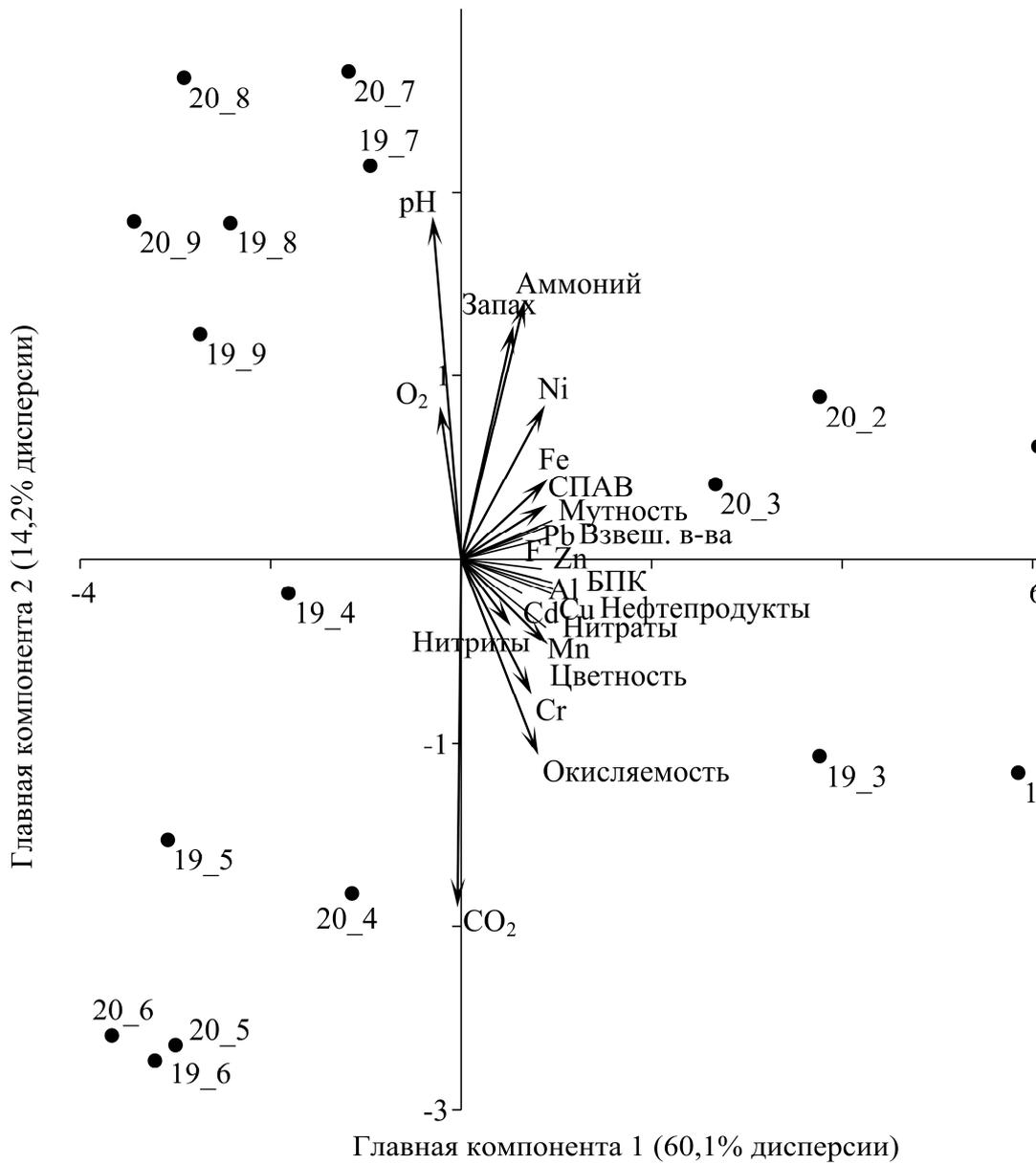


Рис 2. Показатели качества воды Троицкого водохранилища в пространстве двух главных компонент: 19_№ – 2019 г., 20_№ – 2020 г., № – номер образца

Таким образом, многомерный анализ позволил выявить 2 ведущих процесса в формировании санитарного состояния водохранилища: 1) поступление загрязнителей в водоём весной с осаднением к нижней части водоёма и 2) минерализацию органического вещества в весенний период.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Природные особенности региона определяют отношение воды в водохранилище к гидрокарбонатно-сульфатным магниевому-кальциевым со слабощелочной реакцией среды и низким уровнем минерализации.
2. Наиболее высокая сезонная изменчивость характерна для органолептических параметров, титриметрической жесткости, количества взвешенных частиц, хлоридов, сульфатов, связанных форм азота, окисляемости, БПК₅, углекислого газа, минеральных веществ в воде, что весной сопряжено с дополнительным попаданием загрязнителей в водохранилище в составе паводковых вод, а летом и осенью – их участием в биологическом цикле водоема.
3. Пространственная изменчивость химического состава воды от верховой к приплотинной части отражает самоочищающуюся способность водохранилища и скорость перехода элементов или в донные отложения, или в живые организмы.
4. Формирование санитарного состояния водохранилища определяется не столько геохимическими особенностями региона, сколько уровнем техногенного воздействия на водный источник.

Список литературы

1. Арсентьева Н. Ю. Качество воды и микробиологическая характеристика водохранилища Троицкой ГРЭС / Н. Ю. Арсентьева, Д. Ю. Нохрин // Вода: химия и экология. – 2010. – № 7(25). – С. 22–28.
2. Сокол Э. В. Экогеохимическое состояние водохранилища Южноуральской ГРЭС / Э. В. Сокол, Д. Ю. Нохрин, Е. Н. Нигматуллина [и др.] // Водные ресурсы. – 2008. – Т. 35, № 6. – С. 715–729.
3. Yu Y. Assessment of the Multi-Objective Reservoir Operation for Maintaining the Turbidity Maximum Zone in the Yangtze River Estuary / Y. Yu, P. Wang, Ch. Wang [et al.] // Int. J. Environ Res Public Health. – 2018. – Vol. 15, № 10. – P. 2118. (doi: 10.3390/ijerph15102118).
4. Liro M. Changes in the hydrodynamics of a mountain river induced by dam reservoir backwater / M. Liro, V. Ruiz-Villanueva, P. Mikuš [et al.] // Sci Total Environ. – 2020. – Vol. 744. – P. 140555. (doi: 10.1016/j.scitotenv.2020.140555).
5. Бестужева А. С. Проблемы экологического здоровья водохранилищ / А. С. Бестужева // Вестник МГСУ. – 2006. – №2. – С. 70–77.
6. Жирнов А. В. Влияние гидроэлектростанций на окружающую среду [Электронный ресурс]. URL: science.kuzstu.ru/wp-content/Events/Conference/Other/2016 (дата обращения 15.12.2020).
7. Хрусталева М. А. Эколого-гидрохимические особенности качества вод в Москворецкой и Волжской водохозяйственных системах / М. А. Хрусталева, С. В. Суслов // Проблемы региональной экологии. – 2019. – № 3. – С. 52–56. (doi: 10.24411/1728–323X–2019–13052).
8. Бархатов В. И. Рациональное использование природных ресурсов Челябинской области: Монография / В. И. Бархатов, И. П. Добровольский, Ю. Ш. Капкаев. – Челябинск : Изд-во ЧГУ, 2015. – 282 с.
9. Юдин М. Ф. Особенности накопления и распределения тяжелых металлов в системе «вода–донные отложения – гидробионты» : Монография / М. Ф. Юдин, А. Р. Таирова, Е. А. Красноперова. – Троицк: ЮУрГАУ, 2017. – 200 с.
10. Экологическое и ветеринарно-санитарное состояние водохранилищ Челябинской области: монография / под ред. Д. Ю. Нохрин. – Барнаул: Новый формат, 2020. – 226 с.
11. Шайхудинова А. А. Сезонная динамика макрозообентоса при градиенте минерализации в реке Тузлукколь / А. А. Шайхудинова // Ученые записки Крымского федерального университета В. И. Вернадского. Биология. Химия. – 2019. – Т. 5(71), № 3. – С. 184–194.
12. ГОСТ 31861–2012 Вода. Общие требования к отбору проб. – Москва: Стандартинформ, 2013. – 12 с.

13. ГОСТ Р 57164–2016 Вода питьевая. Методы определения запаха, вкуса и мутности [Электронный ресурс]. URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200140391> (дата обращения 25.02.2021).
14. РД 52.24.497–2019 Цветность природных вод. Методика измерений фотометрическим и визуальными методами. – Ростов на Дону: Госгидромет, 2019. – 20 с.
15. РД 52.08.104–2002. Методические указания. Мутность воды. Методика выполнения измерений [Электронный ресурс]. URL: <https://files.stroyinf.ru/Data1/48/48865/> (дата обращения 25.02.2021).
16. ПНД Ф 14.1:2:3.4.121–97 Количественный химический анализ вод. Методика измерений рН проб вод потенциометрическим методом. – Москва, 2018. – 13 с.
17. РД 52.24.395–2017. Жесткость воды. Методика измерений титриметрическим методом с трилоном Б. – Ростов-на-Дону, 2017. – 30 с.
18. ПНД Ф 14.1:2:4.261–2010 Методика измерений массовой концентрации сухого и прокаленного остатка в пробах питьевых, природных и сточных вод гравиметрическим методом [Электронный ресурс]. URL: <https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4293812/4293812502.htm> (дата обращения 25.02.2021).
19. ПНД Ф 14.1:2:4.254-09 Количественный химический анализ вод. Методика измерений массовых концентраций взвешенных и прокаленных взвешенных веществ в пробах питьевых, природных и сточных вод гравиметрическим методом [Электронный ресурс]. URL: <http://docs.cntd.ru/document/556339176> (дата обращения 25.02.2021).
20. ГОСТ 31957 – 2012 Методы определения щелочности и массовой концентрации карбонатов и гидрокарбонатов. – Москва: Стандартинформ, 2013. – 25 с.
21. ПНД Ф 14.1:2:3.96–97. Количественный химический анализ вод. Методика измерения массовой концентрации хлоридов в пробах природных и очищенных сточных вод аргентометрическим методом. – Москва, 2016. – 20 с.
22. ПНД Ф 14.1:2.159–2000. Количественный химический анализ вод. Методика выполнения измерений массовой концентрации сульфат – ионов в пробах природных и сточных вод турбидиметрическим методом [Электронный ресурс]. URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200075508> (дата обращения: 15.12.2021).
23. ГОСТ 31869–2012. Вода. Методы определения содержания катионов (аммония, бария, калия, кальция, лития, магния, натрия, стронция) с использованием капиллярного электрофореза. Москва: Стандартинформ, 2019. 23 с.
24. ГОСТ 18165–2014 Вода. Методы определения содержания алюминия (Переиздание с поправкой). – Москва: Стандартинформ, 2019. – 25 с.
25. ГОСТ 33045-2014 Вода. Методы определения азотсодержащих веществ [Электронный ресурс]. – URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200115428> (дата обращения: 15.12.2021).
26. ПНД Ф 14.1:2:4.154–99 Количественный химический анализ вод. Методика выполнения измерений перманганатной окисляемости в пробах питьевых, природных и сточных вод титриметрическим методом [Электронный ресурс]. URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200056567> (дата обращения: 26.02.2021).
27. НДП 10.1:2:3.131–2016. Методика определения биохимического потребления кислорода после 5 дней инкубации (БПК₅) в пробах питьевых, природных и сточных вод амперометрическим методом. – Москва, 2016. 23 с
28. ПНД Ф 14.1:2.116–97 Количественный химический анализ вод. Методика выполнения измерений массовой концентрации нефтепродуктов в пробах природных и сточных вод методом колоночной хроматографии с гравиметрическим окончанием [Электронный ресурс]. URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200066876> (дата обращения: 26.02.2021).
29. РД 52.24.368–2006 Массовая концентрация анионных синтетических поверхностно–активных веществ в водах. методика выполнения измерений экстракционно–фотометрическим методом [Электронный ресурс]. URL: <https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4293837/4293837328.htm> (дата обращения: 26.02.2021).
30. ПНД Ф 14.1:2.101–97 Количественный химический анализ вод. Методика выполнения измерений массовой концентрации растворенного кислорода в пробах природных и очищенных сточных вод йодометрическим методом [Электронный ресурс]. URL: <https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4293846/4293846286.htm> (дата обращения: 20.02.2021).
31. ЦВ 1.01.17–2004 ФР.1.31.2005.01580 Качество воды. Методика выполнения измерений содержания свободной углекислоты в пробах питьевых и природных вод. Титриметрический

- метод. [Электронный ресурс]. URL: <https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4293797/4293797540.htm> (дата обращения: 26.02.2021).
32. ПНД Ф 14.1:2:4.50–96. Количественный химический анализ вод. Методика измерений массовой концентрации общего железа в питьевых, поверхностных и сточных водах фотометрическим методом с сульфосалициловой кислотой. – Москва, 2011. – 20 с.
 33. ПНД Ф 14.1:2:4.139–98. Количественный химический анализ вод. Методика выполнения измерений массовых концентраций железа, кобальта, марганца, меди, никеля, серебра, хрома и цинка в пробах питьевых, поверхностных и сточных вод методом Атомно–абсорбционной спектроскопии [Электронный ресурс]. URL: <files.stroyint.ru/Index2/1/493832/429832535/htm> (дата обращения: 15.12.2021).
 34. ПНД Ф 14.1:2:3:4.179–2002. Количественный химический анализ вод. Методика измерений массовой концентрации фторид–ионов в питьевых, поверхностных, подземных пресных и сточных водах фотометрическим методом с лантан (церий) ализаринкомплексом. – Москва, 2012. – 23 с.
 35. Приказ Федерального агентства по рыболовству от 18.01.2010 № 20 «Об утверждении нормативов качества воды водных объектов рыбохозяйственного значения, в том числе нормативов предельно допустимых концентраций вредных веществ в водах водных объектов рыбохозяйственного значения. [Электронный ресурс]. URL: <http://docs.cntd.ru/document/420389120> (дата обращения: 15.12.2021).
 36. Дуров С. А. Классификация природных вод и графическое изображение их состава / С. А. Дуров // Доклады АН СССР. – 1948. – Т. 59, № 1. – С. 87–90.
 37. Hammer Ø. PAST: Paleontological Statistics Software Package for Education and Data Analysis / Ø. Hammer, D. A. T. Harper, P. D. Ryan // *Palaeontologia Electronica*. – 2001. – Vol. 4, № 1. – P. 9.
 38. TrX – A drawing tool for Windows. 2020. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.ctan.org/pkg/tpx> (дата обращения: 30.12.2020).
 39. Дерхо М. А. Некоторые эколого–химические показатели качества питьевой воды / М. А. Дерхо, Т. И. Береговская // Актуальные вопросы биотехнологии ветеринарной медицины: теория и практика: Материалы национ. науч. конф. ИВМ. Челябинск : Южно-Уральский ГАУ, 2018. – С. 80–84.
 40. Кутявина Т. И. Изучение качества воды малых водохранилищ (на примере водохранилищ северо–востока Кировской области) / Т. И. Кутявина // Современное естествознание и охрана окружающей среды: Труды международной молодежной конференции. – Киров, 2013. – С. 119–120.
 41. Макаренко Д. В. Влияние гидроэлектростанций на окружающую среду / Д. В. Макаренко, С. Л. Паршина, А. А. Снежко // Актуальные проблемы авиации и космонавтики. – 2015. – Т. 2. – С. 181–182.
 42. Соколов Д. И. Изменение окисляемости и цветности воды под влиянием водохранилища / Д. И. Соколов // Вестник Московского университета. – 2013. – № 6. – С. 9–15.
 43. Артеменко В. М. Гидрохимический режим и микроэлементный состав вод Чернореченского водохранилища в 1991–2004 гг. / В. М. Артеменко, Ю. П. Ильин, В. С. Кучеренко [и др.] // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексное использование ресурсов шельфа. – 2005. – № 12. – С. 129–148.
 44. Законнов В. В. Пространственно–временная трансформация грунтового комплекса водохранилищ Волги / В. В. Законнов, И. Л. Григорьева, А. В. Законнова // Водное хозяйство России. – 2018. – № 3. – С. 35–48.
 45. Селезнёва А. В. Опыт экологического нормирования биогенной нагрузки на примере Саратовского водохранилища / А. В. Селезнева, В. А. Селезнёв // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. – 2011. – Т. 13. – С. 26–31.
 46. Селезнёва А. В. Массовое развитие водорослей на водохранилищах р. Волги в условиях маловодья / А. В. Селезнева, В. А. Селезнёв, К. В. Беспалова // Поволжский экологический журнал. – 2014. – № 1. – С. 88–96.
 47. Аничкина Н. В. Экологическое состояние Матырского водохранилища и его влияние на вмещающий ландшафт Окско–Донской низменности / Н. В. Аничкина // Успехи современного естествознания. – 2017. – № 10. – С. 60–64.

SEASONAL FEATURES OF THE CHEMICAL COMPOSITION AND QUALITY OF WATER IN A CHANNEL-TYPE RESERVOIR

Zhivetina A. V.¹, Nokhrin D. Y.², Derkho M. A.¹, Mukhamedyarova L. G.¹

¹South Ural State Agrarian University, Troitsk, Chelyabinsk region, Russia

²Ural State University, Chelyabinsk, Russia

E-mail: derkho2010@yandex.ru

The analysis of the chemical composition and water quality of the Troitsky reservoir of the Chelyabinsk region, depending on the season of the year and its hydrological features, is given. The object of the study was water samples from the upper (station 1), central (station 2) and near-dam (station 3) parts of reservoirs, taken from the average level in spring (May), summer (July) and autumn (September) in the period 2019–2020 in accordance with the requirements of GOST R 51592-2000. Experimental, physico-chemical and mathematical methods of research are used in the work. It is established that the water of the channel reservoir belongs to the bicarbonate-sulfate magnesium-calcium waters with a slightly alkaline reaction of the medium, reflecting the natural features of the region. The main anthropogenic pollutant of the reservoir is industrial and domestic wastewater, which enters it mainly as part of the rivers that feed it. The highest seasonal variability is characteristic for the organoleptic parameters of water, titrimetric hardness, the amount of suspended particles, the concentration of chlorides, sulfates, bound forms of nitrogen, oxidability, BPK5, carbon-acid gas, and minerals, which in spring is associated with additional ingress of pollutants into the reservoir as part of flood waters, and in summer and autumn—their participation in the biological cycle of the reservoir. The spatial variability of water in the reservoir from the upper to the near-dam part reflects its self-cleaning ability and the rate of transition of water components either to bottom sediments or to living organisms. The leading factors in the formation of the sanitary state of the reservoir are natural and man-made impacts, and the leading processes are the entry of pollutants into the reservoir in the spring with precipitation in its lower part (near the dam) and the mineralization of organic matter in the spring. The toxicity of water to biota is determined by the current content of elements such as zinc, copper, nickel and manganese, which are produced by industrial enterprises located in the catchment area of the rivers feeding the reservoir. The level of copper exceeds the MPC for fisheries reservoirs by 11.00–85.00 times, zinc by 1.10–7.90 times, manganese by 2.00 to 60.00 times, nickel by 2.00 times. The revealed excess of iron in water is specific for all fresh waters in the region, it exceeds the norm from 1.60 to 5.60 times.

Keywords: channel-type reservoir, seasonal and spatial features of water chemical composition.

References

1. Arsenteyeva N. Yu., Nokhrin D. Yu., Water quality and microbiological characteristics of Troitsk GRES reservoir, *Water: chemistry and ecology*, 7(25), 22 (2010). (in Russ.).

2. Sokol E. V., Nokhrin D. Yu., Nigmatullina E. N., Gribovski Yu.G. Ecogeochemical state of the reservoir of the Yuzhnouralskaya GRES, *Water Resources*, **35** (6), 715 (2008). (in Russ.).
3. Yu Y., Wang P., Wang Ch., Wang X., Hu B. Assessment of the Multi-Objective Reservoir Operation for Maintaining the Turbidity Maximum Zone in the Yangtze River Estuary, *Int. J. Environ Res Public Health*, **15**(10), 2118 (2018). doi: 10.3390/ijerph15102118.
4. Liro M., Ruiz-Villanueva V., Mikuš P., Wyzga B., Bladé Castellet E. Changes in the hydrodynamics of a mountain river induced by dam reservoir backwater, *Sci Total Environ*, **744**, 140555 (2020). doi: 10.1016/j.scitotenv.2020.140555.
5. Bestuzheva A. S. Problems of ecological health of reservoirs, *Vestnik MGSU*, **2**, 70 (2006). (in Russ.).
6. Zhirnov A. V. *Influence of hydroelectric power plants on the environment*, <https://science.kuzstu.ru/wp-content/Events/Conference/Other/2016> (Accessed December 15, 2020). (in Russ.).
7. Khrustaleva M. A., Suslov S. V. Ecological and hydrochemical features of water quality in the Moskvoretsky and Volga water management systems, *Problems of regional ecology*, **3**, 52 (2019). (doi: 10.24411/1728-323X-2019-13052). (in Russ.).
8. Barkhatov V. I., Dobrovolsky I. P., Kapkaev Yu. Sh. Rational use of natural resources of the Chelyabinsk region, *Monograph*, 282 (2015). (in Russ.).
9. Yudin M. F., Tairova A. R., Krasnoperova E. A. Features of accumulation and distribution of heavy metals in the system "water–bottom sediments–hydrobionts", *Monograph*, 200. (2017). (in Russ.).
10. Nokhrin D. Yu. Ecological and veterinary–sanitary condition of reservoirs of the Chelyabinsk region, *Monograph*, 226 (2020). (in Russ.).
11. Shaikhutdinova A. A. Seasonal dynamics of macrozoobenthos at the gradient of mineralization in the Tuzlukkol river, *Scientific notes of the Crimean Federal University V. I. Vernadsky. Biology. Chemistry*, **5** (71), 184 (2019). (in Russ.).
12. GOST 31861-2012 Water. General requirements for sampling, *Standartinform*, 12 (2013). (in Russ.).
13. GOST R 57164-2016 *Drinking water. Methods for determining the smell, taste and turbidity*, <http://docs.cntd.ru/document/1200140391> (Accessed February 25, 2021). (in Russ.).
14. RD 52.24.497-2019 Chroma of natural waters. Methods of measurement by photometric and visual methods, *Gosgidromet*, 20 (2019). (in Russ.).
15. RD 52.08.104-2002. *Methodological guidelines. Turbidity of the water. Methods of performing measurements*, <https://files.stroyinf.ru/Data1/48/48865/> (Accessed February 25, 2021). (in Russ.).
16. PND F 14.1:2:3:4.121-97 Quantitative chemical analysis of water. Method of measuring the pH of water samples by the potentiometric method, *Moscow*, 13 (2018). (in Russ.).
17. RD 52.24.395-2017. The hardness of the water. Method of titrimetric measurements with triton B, *Rostov-on-Don*, 30 (2017). (in Russ.).
18. HDPE F 14.1:2:4.261-2010 *Method of measuring the mass concentration of dry and calcined residue in samples of drinking, natural and waste water by gravimetric method*, <https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4293812/4293812502.htm> (Accessed February 25, 2021). (in Russ.).
19. PND F 14.1:2:4.254-09 *Quantitative chemical analysis of water. Method of measuring mass concentrations of suspended and calcined suspended substances in samples of drinking, natural and waste water by gravimetric method*, <http://docs.cntd.ru/document/556339176> (Accessed February 25, 2021). (in Russ.).
20. GOST 31957-2012 Methods for determining the alkalinity and mass concentration of carbonates and hydrocarbonates, *Standartinform*, 25 (2013). (in Russ.).
21. PND F 14.1:2: 3.96-97. Quantitative chemical analysis of water. Method of measuring the mass concentration of chlorides in samples of natural and treated wastewater by an argentometric method, *Moscow*, 20 (2016). (in Russ.).
22. PND F 14.1:2.159-2000. *Quantitative chemical analysis of water. Method of performing measurements of the mass concentration of sulfate ions in samples of natural and waste water by the turbidimetric method*, <http://docs.cntd.ru/document/1200075508> (Accessed February 25, 2021). (in Russ.).
23. GOST 31869-2012. Water. Methods for determining the content of cations (ammonium, barium, potassium, calcium, lithium, magnesium, sodium, strontium) using capillary electrophoresis, *Standartinform*, 23 (2019). (in Russ.).
24. GOST 18165-2014 Water. Methods for determining the aluminum content (Revised edition), *Standartinform*, 25 (2019). (in Russ.).

25. GOST 33045-2014 *Water. Methods for determining nitrogen-containing substances*, <http://docs.cntd.ru/document/1200115428> (Accessed February 25, 2021). (in Russ.).
26. PND F 14.1:2:4.154-99 *Quantitative chemical analysis of water. Method of performing measurements of permanganate oxidability in samples of drinking, natural and waste water by titrimetric method*, <http://docs.cntd.ru/document/1200056567> (Accessed February 25, 2021). (in Russ.).
27. NDP 10.1:2:3.131-2016. Method of determination of biochemical oxygen consumption after 5 days of incubation (BPK5) in samples of drinking, natural and waste water by amperometric method, *Moscow*, 23 (2016). (in Russ.).
28. PND F 14.1:2.116-97 *Quantitative chemical analysis of water. Methodology for measuring the mass concentration of petroleum products in natural and waste water samples by column chromatography with gravimetric termination*, <http://docs.cntd.ru/document/1200066876> (Accessed February 25, 2021). (in Russ.).
29. RD 52.24.368-2006 *Mass concentration of anionic synthetic surfactants in water. the method of performing measurements by the extraction-photometric method*, <https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4293837/4293837328.htm> (Accessed February 25, 2021). (in Russ.).
30. PND F 14.1:2.101-97 *Quantitative chemical analysis of water. Methodology for measuring the mass concentration of dissolved oxygen in samples of natural and treated wastewater by the iodometric method*, <https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4293846/4293846286.htm> (Accessed February 25, 2021). (in Russ.).
31. CV 1.01.17-2004 FR. 1. 31. 2005. 01580 *Water quality. Methods for measuring the content of free carbon dioxide in samples of drinking and natural waters. Titrimetric method*, <https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4293797/4293797540.htm> (Accessed February 25, 2021). (in Russ.).
32. PND F 14.1:2:4.50-96. Quantitative chemical analysis of water. Method of measuring the mass concentration of total iron in drinking water, surface water and wastewater by photometric method with sulfosalicylic acid, *Moscow*, 20 (2011). (in Russ.).
33. PND F 14.1:2:4.139-98. *Quantitative chemical analysis of water. Methods for measuring the mass concentrations of iron, cobalt, manganese, copper, nickel, silver, chromium and zinc in samples of drinking, surface and waste water by Atomic absorption spectrometry*, files.stroyinf.ru/Index2/1/493832/429832535.htm (Accessed February 25, 2021). (in Russ.).
34. PND F 14.1:2:3:4.179–2002. Quantitative chemical analysis of water. Method of measuring the mass concentration of fluoride ions in drinking, surface, underground fresh and wastewater by photometric method with lanthanum (cerium) alizarin complex, *Moscow*, 23 (2012). (in Russ.).
35. *Order of the Federal Agency for Fisheries No. 20 of 18.01.2010 " On Approval of Water Quality Standards for Water Bodies of Fisheries Significance, including Standards for Maximum Permissible Concentrations of Harmful Substances in the Waters of Water Bodies of Fisheries Significance*, <http://docs.cntd.ru/document/420389120> (Accessed February 25, 2021). (in Russ.).
36. Durov S. A. Classification of natural waters and graphic representation of their composition, *Reports of the USSR Academy of Sciences*, **59** (1), 87 (1948). (in Russ.).
37. Hammer Ø., Harper D. A. T., Ryan P. D. PAST: Paleontological Statistics Software Package for Education and Data Analysis, *Palaeontologia Electronica*, **4** (1), 9 (2001).
38. *TpX – A drawing tool for Windows. 2020*, <https://www.ctan.org/pkg/tpx> (Accessed December 30, 2020).
39. Derkho M. A., Beregovskaya T. I. Some ecological and chemical indicators of drinking water quality, *Materials of the National Scientific conference*, 80 (2018). (in Russ.).
40. Kut'yavina T. I. Studying the water quality of small reservoirs (on the example of reservoirs in the north-east of the Kirov region, *Proceedings of the International Youth Conference*, 119 (2013). (in Russ.).
41. Makarenko D. V., Parshina S. L., Snezhko A. A. Influence of hydroelectric power plants on the environment, *Actual problems of aviation and cosmonautics*, **2**, 181 (2015). (in Russ.).
42. Sokolov D. I. Change in the oxidability and color of water under the influence of the reservoir, *Bulletin of the Moscow University*, 6, 9 (2013). (in Russ.).
43. Artemenko V. M., Ilyin Yu. P., Kucherenko V. S., Riabinin A. I., Bobrov S. A., Gutsalyuk A. N., Malchenko Y. A., Saltykova L. V. Hydrochemical regime and microelement composition of the waters of the Chernorechensk reservoir in 1991–2004, *Ecological safety of coastal and shelf zones and integrated use of shelf resources*, 12, 129 (2005). (in Russ.).

44. Zakonnov V. V., Grigorieva I. L., Zakonnova A. V. Spatiotemporal transformation of the ground complex of Volga reservoirs, *Water management of Russia*, 3, 35 (2018). (in Russ.).
45. Selezneva A. V., Seleznev V. A. Experience of ecological regulation of biogenic load on the example of the Saratov reservoir, *Bulletin of Samara Scientific Centre of Russian Academy of Science*, **13**, 26 (2011). (in Russ.).
46. Selezneva A. V., Seleznev V. A., Bespalova K. V. Mass development of algae in reservoirs of the Volga river in low water conditions, *Povolzhskiy journal of ecology*, 1, 88 (2014). (in Russ.).
47. Anichkina N. V. Ecological state of the Matyr reservoir and its influence on the enclosing landscape of the Oka–Don lowland, *Successes of modern natural science*, 10, 60 (2017). (in Russ.).

УДК 547.918:547.972.35:543.42

ПАРАМЕТРЫ НОВЫХ СУПРАМОЛЕКУЛЯРНЫХ КОМПЛЕКСОВ КВЕРЦЕТИНА С ГЛАВНЫМИ ТРИТЕРПЕНОВЫМИ ГЛИКОЗИДАМИ ПЛЮЩА

Яковичин Л. А.¹, Ратников В. Д.¹, Бажан П. И.¹, Гришкова В. И.²

¹ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет», Севастополь, Россия

²Таврическая академия (структурное подразделение) ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет им. В. И. Вернадского», Симферополь, Республика Крым, Россия

E-mail: chemsevntu@rambler.ru

Для новых молекулярных комплексов главных тритерпеновых гликозидов плюща α -хедерина (3-*O*- α -*L*-рамнопиранозил-(1 \rightarrow 2)-*O*- α -*L*-арабинопиранозид хедерагенина) и хедерасапонина 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*-глюкопиранозилового эфира хедерагенина) с флавонолом кверцетином определены константы устойчивости, равные $(1,9 \pm 0,3) \cdot 10^5$ и $(1,5 \pm 0,2) \cdot 10^5$ М⁻¹, соответственно. Расчет констант выполнен методом А.К. Бабко на основе изомолярных кривых при 256 нм. Комплексы получены в смеси 96 % водного этанола и водного фосфатного буферного раствора с рН 7,2.

Ключевые слова: кверцетин, плющ, тритерпеновые гликозиды, α -хедерин, хедерасапонин С, супрамолекулярный комплекс, изомолярная серия, константа устойчивости.

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время проводится исследование межмолекулярного взаимодействия тритерпеновых гликозидов с биологически активными веществами полифенольной природы [1–6]. Супрамолекулярные комплексы сапонинов с полифенолами могут повысить биодоступность и стабильность последних [2, 6].

Получен молекулярный комплекс моноаммонийной соли глицирризиновой кислоты (глицирама) с кверцетином (Queg; рис. 1) [1–3]. Комплекс был проанализирован методом ИК-Фурье-спектроскопии и изомолярных серий. Для него установлена величина константы устойчивости и определен состав. Кроме того, описан тройной комплекс, включающий глицирам, Queg и холестерин [4].

Недавно были синтезированы новые молекулярные комплексы Queg с главными тритерпеновыми гликозидами плюща α -хедерином (3-*O*- α -*L*-рамнопиранозил-(1 \rightarrow 2)-*O*- α -*L*-арабинопиранозидом хедерагенина, гликозидом **1**; рис. 1) [5] и хедерасапонин 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*-глюкопиранозиловым эфиром хедерагенина, гликозидом **2**; рис. 1) [6]. Показано, что комплексы образуются за счет водородных связей и гидрофобных взаимодействий. Однако термодинамические параметры этих супрамолекулярных

структур ранее установлены не были. Поэтому данная статья посвящена определению констант устойчивости молекулярных комплексов Quer с гликозидами плюща **1** и **2**.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Использовали образец кверцетина (Quer) (Реахим, чда) без предварительной подготовки. Гликозиды **1** и **2** были выделены из листьев плющей обыкновенного *Hedera helix* L. и канарского *Hedera canariensis* Willd. (Araliaceae Juss.). Их строение установлено химическими (кислотный и щелочной гидролиз, метилирование диазометаном) и физическими (спектроскопия ЯМР ^1H и ^{13}C) методами [7, 8].

УФ-спектры получены при температуре 27 °С на дуолучевом сканирующем спектрофотометре LEKI SS2110UV (MEDIORA OY, Финляндия) в кварцевых кюветках ($l = 1$ см). Для составления изомолярных серий использовали 10^{-4} М водно-спиртовые растворы тритерпеновых гликозидов **1** и **2** и Quer (растворитель – смесь 2:8 по объему 96 % водного этанола и водного фосфатного буферного раствора $\text{Na}_2\text{HPO}_4\text{-NaH}_2\text{PO}_4$ с рН 7,2). Полученные смеси выдерживали при температуре 27 °С в течение 40 мин при постоянном перемешивании. Для определения констант устойчивости комплексов было проведено по 5 независимых экспериментов (доверительный интервал вычисляли со степенью надежности $\alpha = 0,95$). Для работы со спектрофотометром использовали встроенное программное обеспечение SS2110UV.

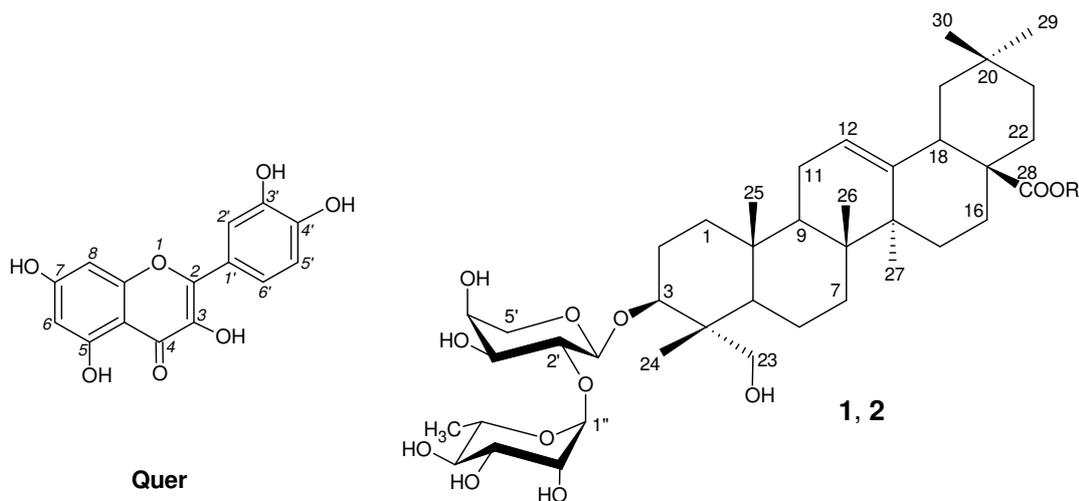


Рис. 1. Кверцетин (Quer), α -хедерин (гликозид **1**: R = H) и хедерасапонин С (гликозид **2**: R = $\leftarrow\beta\text{GlcP}-(6\leftarrow 1)-\beta\text{GlcP}-(4\leftarrow 1)-\alpha\text{Rhap}$).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Состав комплексов гликозидов **1** и **2** с Quer, равный 2:1, определен методом изомолярных серий при 256 нм [5, 6]. Соответствующие изомолярные кривые приведены на Рис. 2 и 3, а кривые поглощения изомолярных серий – на Рис. 4. Ранее установлено, что подобный состав имели молекулярные комплексы гликозидов **1** и **2** с кофеином [9]. В отличие от данных комплексов, комплекс глицирама с Quer имел состав 1:2 [2, 3].

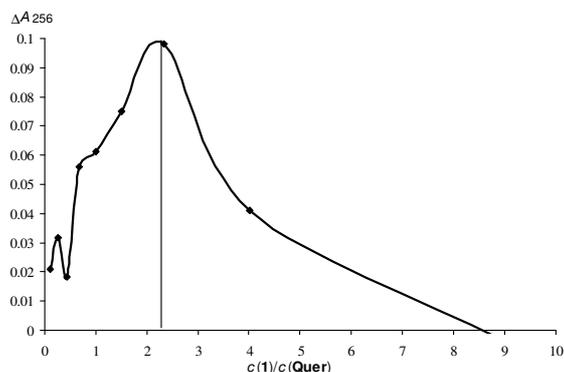


Рис. 2. Зависимость изменения оптической плотности ΔA от соотношения компонентов изомолярной серии при $\lambda=256$ нм ($c(\text{Quer})=10^{-4}$ М, $c(\mathbf{1})=10^{-4}$ М).

Молекулы глицирризиновой кислоты, глицирама и гликозидов плюща **1** и **2** способны к образованию димерных ассоциатов [9, 10]. В формирующуюся при этом полость могут проникать другие молекулы подходящего размера и давать клатратные комплексы [9, 10]. Для комплексов глицирризиновой кислоты с каротиноидами состава 2:1 в среде водного этанола ранее были рассчитаны константы устойчивости комплексов ($K \approx 10^4 \text{ M}^{-1}$) при условии их образования из 1 моль каротиноида и 1 моль димера гликозида [11, 12].

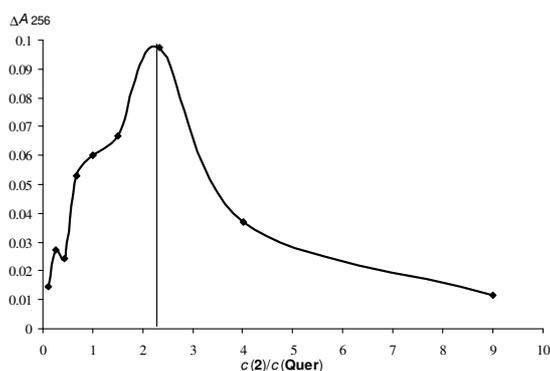


Рис. 3. Зависимость изменения оптической плотности ΔA от соотношения компонентов изомолярной серии при $\lambda=256$ нм ($c(\text{Quer})=10^{-4}$ М, $c(\mathbf{2})=10^{-4}$ М).

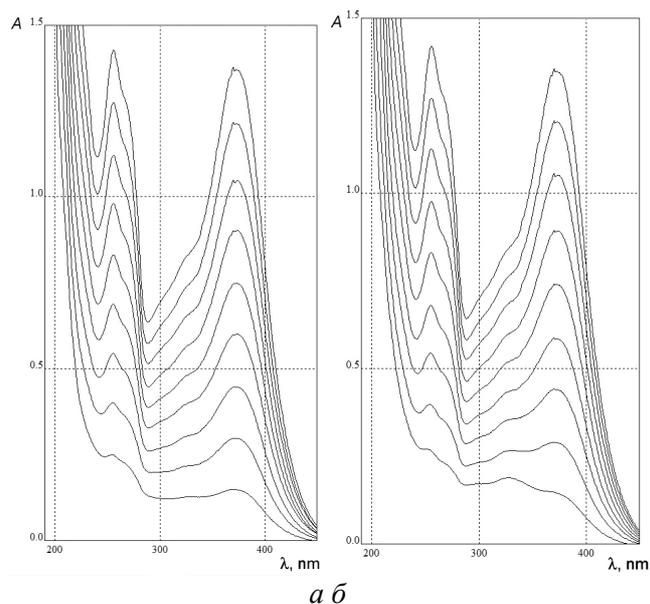


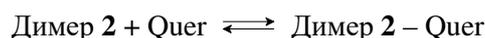
Рис. 4. Кривые поглощения изомолярной серии растворов $c(\text{Quer})=c(\mathbf{1})=10^{-4}$ М (а) и $c(\text{Quer})=c(\mathbf{2})=10^{-4}$ М (б).

Таким образом, между димером гликозида **1** и Quer в растворе устанавливается следующее равновесие:



$$K_{1-\text{Quer}} = \frac{[\text{Димер } \mathbf{1} - \text{Quer}]}{[\text{Димер } \mathbf{1}][\text{Quer}]}, \quad (1)$$

где $K_{1-\text{Quer}}$ – константа устойчивости комплекса гликозида **1** с Quer состава 2:1. Аналогично для комплекса димера гликозида **2** и Quer:



$$K_{2-\text{Quer}} = \frac{[\text{Димер } \mathbf{2} - \text{Quer}]}{[\text{Димер } \mathbf{2}][\text{Quer}]}, \quad (2)$$

где $K_{2-\text{Quer}}$ – константа устойчивости комплекса гликозида **2** с Quer состава 2:1.

Константы устойчивости полученных молекулярных комплексов были рассчитаны по методу А.К. Бабко [13] на основе изомолярных кривых (рис. 2 и 3) при $\lambda = 256$ нм по формуле 3 [3, 14–16]. $K_{1-\text{Quer}}$ и $K_{2-\text{Quer}}$ равны соответственно $(1,9 \pm 0,3) \cdot 10^5$ и $(1,5 \pm 0,2) \cdot 10^5$ М⁻¹. Комплексы гликозидов **1** и **2** с Quer оказались достаточно стабильными. Полученные данные о величинах констант хорошо соотносятся с одной из причин высокой устойчивости молекулярных комплексов

тритерпеновых гликозидов – с наличием гидрофобных взаимодействий между веществами [9, 17]. Действительно, ранее методом ИК-спектроскопии было показано наличие таких взаимодействий в комплексах гликозидов **1** и **2** с Quer [5, 6].

$$K = \frac{\Delta A_0 \Delta A_1}{c(\Delta A_0 - \Delta A_1)^2}, \quad (3)$$

где c – суммарная концентрация веществ, равная 10^{-4} М, ΔA_0 – изменение оптической плотности, соответствующее комплексу при полном отсутствии диссоциации, а ΔA_1 – изменение оптической плотности, соответствующее значению на фактической кривой.

Следовательно, новые молекулярные комплексы гликозидов **1** и **2** с Quer имеют близкую стабильность. Но они оказались примерно на порядок устойчивее комплексов глицирризиновой кислоты с каротиноидами [11, 12].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Для молекулярного комплекса монодесмозидного гликозида плюща **1** с Quer на основе изомолярной кривой рассчитана константа устойчивости, равная $(1,9 \pm 0,3) \cdot 10^5 \text{ M}^{-1}$.
2. Молекулярный комплекс бисдесмозидного гликозида **2** с Quer имеет константу стабильности $(1,5 \pm 0,2) \cdot 10^5 \text{ M}^{-1}$.

Список литературы

1. Яковишин Л. А. Молекулярный комплекс кверцетина с глицирамом: получение и ИК-Фурье-спектроскопический анализ / Л. А. Яковишин, Е. Н. Корж, В. И. Гришкoveц // Ученые записки Крымского федерального университета им. В. И. Вернадского. Биология. Химия. – 2018. – Т. 4 (70), № 3. – С. 247–254.
2. Yakovishin L. A. Molecular complex of quercetin with glycyram / L. A. Yakovishin, E. N. Korzh // AIP Conference Proceeding. – 2019. – Vol. 2063. – 040066.
3. Яковишин Л. А. Молекулярный комплекс кверцетина с глицирамом: спектрофотометрический анализ / Л. А. Яковишин, В. И. Гришкoveц // Ученые записки Крымского федерального университета им. В. И. Вернадского. Биология. Химия. – 2019. – Т. 5 (71), № 1. – С. 262–267.
4. Яковишин Л. А. Взаимодействие кверцетина с холестерином / Л. А. Яковишин, Е. Н. Корж, В. И. Гришкoveц // Ученые записки Крымского федерального университета им. В. И. Вернадского. Биология. Химия. – 2018. – Т. 4 (70), № 4. – С. 328–336.
5. Yakovishin L. A. New supramolecular complex of quercetin with triterpene glycoside alpha-hederin / L. A. Yakovishin, E. N. Korzh // The Materials of the International scientific conference (Written reports) «Actual problems of organic chemistry and biotechnology». – Yekaterinburg (Russia). – 2020. – P. 68–69.
6. Molecular complex of quercetin with hederasaponin C / L. A. Yakovishin, V. D. Ratnikov, P. I. Bazhan [et al.] // AIP Conference Proceeding. – 2020. – Vol. 2280. – 050058.
7. Тритерпеновые гликозиды *Hedera canariensis* I. 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. Гришкoveц, Д. Ю. Сидоров, Л. А. Яковишин [и др.] // Химия природ. соедин. – 1996. – № 3. – С. 377–383.
8. 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.
9. Yakovishin L. A. Ivy and licorice triterpene glycosides: promising molecular containers for some drugs and biomolecules / L. A. Yakovishin, V. I. Grishkovets // Stud. Nat. Prod. Chem. – 2018. – Vol. 55. – P. 351–383.

10. Солодка: Биоразнообразие, химия, применение в медицине / Г. А. Толстиков, Л. А. Балтина, В. П. Гранкина [и др.]. – Новосибирск: Гео, 2007. – 311 с.
11. Host-guest complexes of carotenoids with β -glycyrrhizic acid / N. E. Polyakov, T. V. Leshina, N. F. Salakhutdinov, L. D. Kispert // *J. Phys. Chem. B.* – 2006. – Vol. 110, № 13. – P. 6991–6998.
12. Поляков Н. Э. Некоторые аспекты реакционной способности каротиноидов. Окислительно-восстановительные процессы и комплексообразование / Н. Э. Поляков, Т. В. Лёшина // *Успехи химии.* – 2006. – Т. 75, № 12. – С. 1175–1192.
13. Бабко А. К. Физико-химический анализ комплексных соединений в растворах / А. К. Бабко – К.: Изд-во АН УССР, 1955. – 328 с.
14. Yakovishin L. A. Molecular complexes of monoammonium glycyrrhizinate with alpha-hederin and hederasaponin C / L. A. Yakovishin, V. I. Grishkovets, E. N. Korzh // *Lett. Org. Chem.* – 2015. – Vol. 12, № 2. – P. 109–114.
15. Yakovishin L. A. Molecular complex of glycyrrhizic acid monoammonium salt with cholesterol / L. A. Yakovishin // *Curr. Bioact. Compd.* – 2020. – Vol. 16, № 7. – P. 1042–1048.
16. Molecular complexes of ivy and licorice triterpene glycosides with doxorubicin / L. A. Yakovishin, V. I. Grishkovets, A. V. Klimenko [et al.] // *Pharm. Chem. J.* – 2014. – Vol. 48, № 6. – P. 391–394.
17. Study of the interaction between monoammonium glycyrrhizinate and bovine serum albumin / Y.-J. Hu, Y. Liu, J.-B. Wang [et al.] // *J. Pharm. Biomed. Anal.* – 2004. – Vol. 36, № 4. – P. 915–919.

PARAMETERS OF NEW SUPRAMOLECULAR COMPLEXES OF QUERCETIN WITH IVY MAJOR TRITERPENE GLYCOSIDES

Yakovishin L. A.¹, Ratnikov V. D.¹, Bazhan P. I.¹, Grishkovets V. I.²

¹*Sevastopol State University, Sevastopol, Russia*

²*V.I. Vernadsky Crimean Federal University, Simferopol, Russia*

E-mail: chemsevntu@rambler.ru

Quercetin (Quer) is one of the most famous flavonols. Quer was founded in different plants. Quer exhibits antioxidant, anti-inflammatory, antispasmodic, antisclerotic, diuretic, and antitumor activity. The therapeutic effect of Quer is limited by its low bioavailability. Bioavailability and stability of Quer can be increased due to their molecular complexation with triterpene glycosides.

Triterpene glycosides α -hederin (hederagenin 3-*O*- α -*L*-rhamnopyranosyl-(1 \rightarrow 2)-*O*- α -*L*-arabinopyranoside, glycoside **1**) and hederasaponin C (hederacoside C, hederagenin 3-*O*- α -*L*-rhamnopyranosyl-(1 \rightarrow 2)-*O*- α -*L*-arabinopyranosyl-28-*O*- α -*L*-rhamnopyranosyl-(1 \rightarrow 4)-*O*- β -*D*-glucopyranosyl-(1 \rightarrow 6)-*O*- β -*D*-glucopyranoside, glycoside **2**) are dominant saponins in the most species of the ivy genus. New supramolecular complexes of Quer with glycosides **1** and **2** were obtained.

The molecular complexation of ivy glycosides **1** and **2** with Quer in solution (solvent – 2 : 8 mixture (v/v) of 96 % EtOH and aqueous phosphate buffer Na₂HPO₄–NaH₂PO₄ with pH 7.2) at 27 °C was investigated by isomolar series method. It was shown that glycosides **1** and **2** and Quer forms a 2 : 1 complexes. Molecules of triterpene glycosides are capable to forming dimeric associates. Other molecules of a suitable size can penetrate into the cavity of such dimers and form clathrate complexes. Under the condition of the

formation of complexes from 1 mol of Quer and 1 mol of a glycoside dimer, we calculated their stability constants K_s .

The calculation of constants stability was carried out by the method of A.K. Babko based on isomolar curves at 256 nm. $K_{s\ 1-Quer}$ and $K_{s\ 2-Quer}$ are equal to $(1,9\pm 0,3)\cdot 10^5$ and $(1,5\pm 0,2)\cdot 10^5\ M^{-1}$ respectively. Thus, the new molecular complexes of glycosides **1** and **2** with Quer have similar stability.

Keywords: quercetin, ivy, triterpene glycosides, α -hederin, hederasaponin C, supramolecular complex, isomolar series, stability constant.

References

1. Yakovishin L. A., Korzh E. N., Grishkovets V. I., Molecular complex of quercetin with glycyram: preparation and IR Fourier spectroscopic analysis, *Scientific Notes of V. I. Vernadsky Crimean Federal University. Biology. Chemistry*, **4** (3), 247 (2018). (in Russ.).
2. Yakovishin L. A., Korzh E. N., Molecular complex of quercetin with glycyram, *AIP Conference Proceeding*, **2063**, 040066 (2019).
3. Yakovishin L. A., Grishkovets V. I., Molecular complex of quercetin with glycyram: spectrophotometric analysis, *Scientific Notes of V. I. Vernadsky Crimean Federal University. Biology. Chemistry*, **5** (1), 262 (2019). (in Russ.).
4. Yakovishin L. A., Korzh E. N., Grishkovets V. I., Interaction of quercetin with cholesterol, *Scientific Notes of V.I. Vernadsky Crimean Federal University. Biology. Chemistry*, **4** (4), 328 (2018). (in Russ.).
5. Yakovishin L. A., Korzh E. N., New supramolecular complex of quercetin with triterpene glycoside alpha-hederin, *The Mater. of the Internat. sci. conf. (Written reports) "Actual problems of organic chemistry and biotechnology"* (UrFU, Yekaterinburg, 2020), p. 68.
6. Yakovishin L. A., Ratnikov V. D., Bazhan P. I., Grishkovets V. I., Korzh E. N., Molecular complex of quercetin with hederasaponin C, *AIP Conference Proceeding*, **2280**, 050058 (2020).
7. 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.).
8. 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.).
9. Yakovishin L. A., Grishkovets V. I., Ivy and licorice triterpene glycosides: promising molecular containers for some drugs and biomolecules, *Stud. Nat. Prod. Chem.*, **55**, 351 (2018).
10. Tolstikov G. A., Baltina L. A., Grankina V. P., Kondratenko R. M., Tolstikova T. G., *Licorice: Biodiversity, chemistry, and application in medicine*, 311 p. (Geo, Novosibirsk, 2007). (in Russ.).
11. Polyakov N. E., Leshina T. V., Salakhutdinov N. F., Kispert L. D., Host-guest complexes of carotenoids with β -glycyrrhizic acid, *J. Phys. Chem. B.*, **110** (13), 6991 (2006).
12. Polyakov N. E., Leshina T. V., Certain aspects of the reactivity of carotenoids. Redox processes and complexation, *Russ. Chem. Rev.*, **75** (12), 1175 (2006). (in Russ.).
13. Babko A. K., *Physico-chemical analysis of complex compounds in the solutions*, 328 p. (Izd-vo AN USSR, Kiev, 1955). (in Russ.).
14. Yakovishin L. A., Grishkovets V. I., Korzh E. N., Molecular complexes of monoammonium glycyrrhizinate with alpha-hederin and hederasaponin C, *Lett. Org. Chem.*, **12** (2), 109 (2015).
15. Yakovishin L. A., Molecular complex of glycyrrhizic acid monoammonium salt with cholesterol, *Curr. Bioact. Compd.*, **16** (7), 1042 (2020).
16. Yakovishin L. A., Grishkovets V. I., Klimenko A. V., Degtyar A. D., Kuchmenko O. B., Molecular complexes of ivy and licorice triterpene glycosides with doxorubicin, *Pharm. Chem. J.*, **48** (6), 391 (2014).
17. Hu Y.-J., Liu Y., Wang J.-B., Xiao X.-H., Qu S.-S., Study of the interaction between monoammonium glycyrrhizinate and bovine serum albumin, *J. Pharm. Biomed. Anal.*, **36** (4), 915 (2004).

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

- Абильфазова
Юлия Сулевна** Федеральный исследовательский центр «Субтропический научный центр Российской академии наук», кандидат биологических наук, старший научный сотрудник лаборатории физиологии и биохимии растений, e-mail: Citrus_Sochi@mail.ru
- Айба
Лесик Янкович** Институт сельского хозяйства Академии наук Абхазии, доктор сельскохозяйственных наук, директор, e-mail: kivi_50@mail.ru
- Араджян
Гоар Мкртычевна** Армянский педагогический университет им. Х. Абовяна, кандидат биологических наук, доцент кафедры первой медицинской помощи, чрезвычайных ситуаций и гражданской обороны, e-mail: arajyankens@gmail.com
- Асадова
Кямаля Валех** Институт Генетических Ресурсов НАН Азербайджана, научный сотрудник отдела Экоботаники и систематики, e-mail: esedzadeo@gmail.com
- Аскеров
Айдын Муса** Институт Генетических Ресурсов НАН Азербайджана, зав. отделом Экоботаники и систематики, доктор биологических наук, e-mail: askerov1@mail.ru
- Африн
Кирилл
Александрович** ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К. А. Тимирязева», аспирант факультета зоотехнии и биологии
- Бажан
Полина Игоревна** ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет», студентка 1 курса магистратуры
- Байгильдин
Самат Сагадатович** ФБУН «Уфимский НИИ медицины труда и экологии человека», младший научный сотрудник отдела токсикологии и генетики с экспериментальной клиникой лабораторных животных, e-mail: baigildin.samat@yandex.ru
- Белоус
Оксана Геннадьевна** Федеральный исследовательский центр «Субтропический научный центр Российской академии наук», доктор биологических наук, доцент, заведующая лабораторией физиологии и биохимии растений, e-mail: oksana191962@mail.ru
- Большакова
Анна Александровна** Таврическая академия (структурное подразделение) ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет им. В. И. Вернадского», обучающаяся 2 курса магистратуры кафедры биохимии
- Большчевский
Станислав Евгеньевич** Оренбургский государственный медицинский университет, ассистент кафедры нормальной физиологии, e-mail: singlsb@gmail.com

Брановицкая Татьяна Юрьевна	Таврическая академия (структурное подразделение) ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет им. В. И. Вернадского», кандидат сельскохозяйственных наук, доцент кафедры органической и биологической химии, e-mail: tat.br@mail.ru
Варданян Анаит Гегиковна	Таврическая академия (структурное подразделение) ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет им. В. И. Вернадского», обучающаяся 1 курса магистратуры кафедры биохимии
Вахрушева Людмила Павловна	Таврическая академия (структурное подразделение) ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет им. В. И. Вернадского», кандидат биологических наук, доцент кафедры ботаники и физиологии растений и биотехнологий факультета биологии и химии, e-mail: vakhl@inbox.ru
Венжик Антон Николаевич	АО «Медтехнопроект», главный технолог, e-mail: a.venzhik@medtp.ru
Гритчин Максим Владимирович	ФГБУН «НИИСХ Крыма», научный сотрудник, e-mail: maxim_gmv@mail.ru
Гришковец Владимир Иванович	Таврическая академия (структурное подразделение) ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет им. В. И. Вернадского», доктор химических наук, профессор кафедры общей и физической химии
Громенко Виктор Матвеевич	Таврическая академия (структурное подразделение) ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет им. В. И. Вернадского», кандидат биологических наук, доцент кафедры экологии и зоологии
Гуськова Наталья Владимировна	ГУП НПП РК «Крымская ГГРЭС», гидролог
Дерхо Марина Аркадьевна	ФГБОУ ВО «Южно-Уральский государственный аграрный университет», доктор биологических наук, профессор, зав. кафедрой
Евсеева Анна Александровна	ФГБОУ ВО «Калужский государственный университет им. К. Э. Циолковского», доцент кафедры ботаники, микробиологии и экологии, кандидат биологических наук, доцент, e-mail: annahabarova@yandex.ru
Елкина Наталья Маратовна	Медицинская академия им. С. И. Георгиевского (структурное подразделение) ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет имени В. И. Вернадского», кандидат биологических наук, преподаватель подготовительных курсов

Еременко Виктор Иванович	ФГБОУ ВПО «Курская сельскохозяйственная академия имени И. И. Иванова», доктор биологических наук, профессор, e-mail: vic.eriomenko@yandex.ru
Живетина Алена Владимировна	ФГБОУ ВО «Южно-Уральский государственный аграрный университет», аспирант
Зиятдинова Мунира Мунировна	ФБУН «Уфимский НИИ медицины труда и экологии человека», младший научный сотрудник отдела токсикологии и генетики с экспериментальной клиникой лабораторных животных, e-mail: munira.munirovna@yandex.ru
Зинченко Евгений Анатольевич	Оренбургский государственный медицинский университет, кандидат биологических наук, доцент кафедры нормальной физиологии
Ивашов Анатолий Васильевич	Таврическая академия (структурное подразделение) ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет им. В. И. Вернадского», доктор биологических наук, профессор, заведующий кафедрой экологии и зоологии
Иволга Роман Александрович	ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева», магистрант факультета зоотехнии и биологии
Каменева Ирина Алексеевна	ФГБУН «НИИСХ Крыма», кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник, e-mail: irina.kameneva.7@mail.ru
Каримов Денис Дмитриевич	ФБУН «Уфимский НИИ медицины труда и экологии человека», младший научный сотрудник отдела токсикологии и генетики с экспериментальной клиникой лабораторных животных, e-mail: karriden@gmail.com
Кидов Артем Александрович	ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К. А. Тимирязева», кандидат биологических наук, доцент кафедры зоологии
Коба Владимир Петрович	Федеральное государственное бюджетное учреждение науки «Ордена Трудового Красного Знамени Никитский ботанический сад – Национальный научный центр РАН», доктор биологических наук, профессор, заведующий лабораторией лесоведения ФГБУН «НБС-ННЦ РАН», e-mail: kobavp@mail.ru
Кобечинская Валентина Григорьевна	Таврическая академия (структурное подразделение) ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет имени В. И. Вернадского», кандидат биологических наук, доцент кафедры экологии и зоологии, e-mail: valekohome@mail.ru

Кожарский Георгий Николаевич	Таврическая академия (структурное подразделение) ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет имени В. И. Вернадского», студент 2 курса магистратуры
Козлова Анна Павловна	ФГБОУ ВО "Новосибирский государственный педагогический университет", кандидат биологических наук, доцент кафедры анатомии, физиологии и безопасности жизнедеятельности, e-mail: anna-gajdarova@yandex.ru
Коношенко Светлана Владимировна	Таврическая академия (структурное подразделение) ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет имени В. И. Вернадского», доктор биологических наук, профессор кафедры биохимии
Кулагина Валентина Ивановна	Институт проблем экологии и недропользования АН РТ, кандидат биологических наук, заведующая лабораторией экологии почв, e-mail: viksoil@mail.ru.
Левенчик Георгий Янович	Таврическая академия (структурное подразделение) ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет имени В. И. Вернадского», студент 2 курса магистратуры кафедры общей психологии и психофизиологии, e-mail: gosha_goodnight96@mail.ru
Минин Владимир Владимирович	Таврическая академия (структурное подразделение) ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет имени В. И. Вернадского», кандидат биологических наук, доцент кафедры теории и методики физической культуры и спорта
Минина Елена Николаевна	Таврическая академия (структурное подразделение) ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет имени В. И. Вернадского», доктор медицинских наук, доцент кафедры теории и методики адаптивной физической культуры, физической реабилитации и оздоровительных технологий, e-mail: cere-el@yandex.ru
Мирошниченко Игорь Васильевич	Оренбургский государственный медицинский университет, доктор медицинских наук, профессор кафедры нормальной физиологии
Молодайкина Маргарита Александровна	Таврическая академия (структурное подразделение) ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет имени В. И. Вернадского», обучающаяся 2 курса, магистр кафедры ботаники и физиологии и биотехнологий
Мухамедьярова Лилия Газинуровна	ФГБОУ ВО «Южно–Уральский государственный аграрный университет», кандидат биологических наук, доцент
Мушегян Гоар Христафоровна	Армянский государственный педагогический университет им. Х. Абовяна, кандидат биологических наук, доцент кафедры первой медицинской помощи, чрезвычайных ситуаций и гражданской обороны, e-mail: musheghyankens@gmail.com

- Назарова
Лилия Шамилевна** ФБУН «Уфимский НИИ медицины труда и экологии человека», кандидат медицинских наук, научный сотрудник отдела токсикологии и генетики с экспериментальной клиникой лабораторных животных, e-mail: lilinaz19@mail.ru
- Никифоров
Александр
Ростиславович** Федеральное государственное бюджетное учреждение науки «Ордена Трудового Красного Знамени Никитский ботанический сад – Национальный научный центр РАН», кандидат биологических наук, старший научный сотрудник флоры и растительности ФГБУН «НБС-ННЦ РАН», e-mail: nikiforov.a.r.01@mail.ru
- Николаев
Денис Александрович** АО «Медтехнопроект», директор по производству, e-mail: d.nikolaev@medtp.ru
- Николенко
Вера Владимировна** Таврическая академия (структурное подразделение) ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет имени В. И. Вернадского», кандидат биологических наук, доцент кафедры ботаники и физиологии и биотехнологий
- Новицкий
Максим Леонидович** Федеральное государственное бюджетное учреждение науки «Ордена Трудового Красного Знамени Никитский ботанический сад – Национальный научный центр РАН», кандидат биологических наук, и.о. Заведующего лаборатории агроэкологии ФГБУН «НБС-ННЦ РАН», e-mail: maxim.novickiy@bk.ru
- Нохрин
Денис Юрьевич** ФГБОУ ВО «Уральский государственный университет», кандидат биологических наук, доцент
- Павленко
Дмитрий
Владимирович** Таврическая академия (структурное подразделение) ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет имени В. И. Вернадского», аспирант кафедры физиологии человека и животных и биофизики, e-mail: pavlenkoprog@gmail.com
- Павленко
Владимир Борисович** Таврическая академия (структурное подразделение) ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет имени В. И. Вернадского», заведующий кафедрой общей психологии и психофизиологии, e-mail: vpav55@gmail.com
- Папельбу
Владимир
Владимирович** Федеральное государственное бюджетное учреждение науки «Ордена Трудового Красного Знамени Никитский ботанический сад – Национальный научный центр РАН», кандидат биологических наук, научный сотрудник лаборатории лесоведения ФГБУН «НБС-ННЦ РАН», e-mail: Serb_84@mail.ru

Петришина Наталья Николаевна	Таврическая академия (структурное подразделение) ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет имени В. И. Вернадского», кандидат биологических наук, доцент кафедры ботаники и физиологии и биотехнологий; ФГБУН «Научно-исследовательский институт сельского хозяйства Крыма», научный сотрудник информационно-аналитической лаборатории
Петровский Андрей Борисович	ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К. А. Тимирязева», студент факультета зоотехнии и биологии
Погосян Михаил Владимирович	Институт физиологии им. Л. А. Орбели НАН РА, кандидат биологических наук, научный сотрудник лаборатории физиологии компенсации функций ЦНС, e-mail: avanecmisha@yahoo.com
Португальская Арина Андреевна	Таврическая академия (структурное подразделение) ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет имени В. И. Вернадского», студент 2 курса магистратуры кафедры общей психологии и психофизиологии, e-mail: a.portugalskaya@gmail.com
Ратников Владимир Дмитриевич	ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет», студент 1 курса магистратуры
Репина Эльвира Фаридовна	ФБУН «Уфимский НИИ медицины труда и экологии человека», кандидат медицинских наук, старший научный сотрудник отдела токсикологии и генетики с экспериментальной клиникой лабораторных животных, e-mail: e.f.repina@bk.ru
Романова Ирина Викторовна	АО «Медтехнопроект», генеральный директор, e-mail: i.romanova@medtp.ru
Ротмистровская Елена Геннадьевна	ФГБОУ ВПО «Курский государственный медицинский университет», старший преподаватель, кандидат биологических наук, e-mail: rotmistrovskaya.lena@mail.ru
Руднева Ирина Ивановна	ФИЦ «Институт биологии южных морей им. А. О. Ковалевского РАН», доктор биологических наук, профессор, ведущий научный сотрудник, руководитель лаб Экотоксикологии, e-mail: svg-41@mail.ru
Рупова Эльмира Ханисовна	Институт проблем экологии и недропользования АН РТ, кандидат сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник лаборатории экологии почв, e-mail: elmira.rupova@mail.ru
Рязанов Станислав Сергеевич	Институт проблем экологии и недропользования АН РТ, кандидат биологических наук, научный сотрудник лаборатории экологии почв, e-mail: RStanislav.soil@yandex.ru

- Саркисян
Джон Саркисович** Институт физиологии им. Л. А. Орбели НАН РА, доктор биологических наук, профессор, заведующий лабораторией физиологии компенсации функций ЦНС, e-mail: johnsarkissyan@gmail.com
- Славинская
Ангелина Валериевна** Таврическая академия (структурное подразделение) ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет имени В. И. Вернадского», магистр 2 курса кафедры экологии и зоологии; ФГБУН «НИИСХ Крыма, младший научный сотрудник, e-mail: alina.slav.98@mail.ru
- Смолянкин
Денис Анатольевич** ФБУН «Уфимский НИИ медицины труда и экологии человека», младший научный сотрудник отдела токсикологии и генетики с экспериментальной клиникой лабораторных животных, e-mail: smolyankin.denis@yandex.ru
- Соболев
Валерий Иванович** ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет им. В. И. Вернадского», доктор биологических наук, профессор, профессор кафедры здоровья и реабилитации, e-mail: v.sobolev@mail.ru
- Степанкова
Ирина Владимировна** ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К. А. Тимирязева», аспирант факультета зоотехнии и биологии
- Суботялов
Михаил Альбертович** ФГБОУ ВО «Новосибирский государственный педагогический университет», доктор медицинских наук, профессор кафедры анатомии, физиологии и безопасности жизнедеятельности, e-mail: subotyalov@yandex.ru
- Сунгатуллина
Люция Мансуровна** Институт проблем экологии и недропользования АН РТ, старший научный сотрудник лаборатории экологии почв, e-mail: sunlyc@yandex.ru
- Тимашева
Гульнара Вильевна** ФБУН «Уфимский НИИ медицины труда и экологии человека», кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник отдела токсикологии и генетики с экспериментальной клиникой лабораторных животных, e-mail: gulnara-vt60@yandex.ru;
- Труш
Вера Владимировна** ГОУ ВПО «Донецкий национальный университет», кандидат медицинских наук, доцент, заведующая кафедрой физиологии человека и животных, e-mail: ver.trush@yandex.ru
- Туманянц
Каринэ Николаевна** Таврическая академия (структурное подразделение) ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет имени В. И. Вернадского», кандидат биологических наук, директор Центра коллективного пользования научным оборудованием «Экспериментальная физиология и биофизика», e-mail: timur328@gmail.com

- Фазлыева
Анна Сергеевна** ФБУН «Уфимский НИИ медицины труда и экологии человека», младший научный сотрудник химико-аналитического отдела, e-mail: nytik-21@yandex.ru
- Хаит
Николь** Медицинская академия им. С. И. Георгиевского (структурное подразделение) ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет имени В. И. Вернадского», обучающаяся 4 курса 2 медицинского факультета, e-mail: nikolhait@yandex.ua.
- Хайруллина
Алина Маратовна** Институт проблем экологии и недропользования АН РТ, младший научный сотрудник лаборатории экологии почв, e-mail: his.alina94@mail.ru
- Хусанов
Денис Рашидович** Таврическая академия (структурное подразделение) ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет имени В. И. Вернадского», кандидат биологических наук, доцент кафедры физиологии человека и животных и биофизики; ГБПОУ «Крымское среднее профессиональное училище (техникум) олимпийского резерва», e-mail: gangliu@yandex.ru
- Хуснутдинова
Надежда Юрьевна** ФБУН «Уфимский НИИ медицины труда и экологии человека», научный сотрудник отдела токсикологии и генетики с экспериментальной клиникой лабораторных животных, e-mail: h.n.yu@ya.ru
- Чабан
Виктор Валерьевич** ГУП НПП РК «Крымская ГГРЭС», Начальник ОПЛРиЭМ, кандидат геологических наук
- Чайка
Андрей Владимирович** ГБПОУ «Крымское среднее профессиональное училище (техникум) олимпийского резерва», e-mail: andrew.chajka@yandex.ru
- Чуян
Елена Николаевна** Таврическая академия (структурное подразделение) ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет имени В. И. Вернадского», доктор биологических наук, профессор кафедры физиологии человека и животных и биофизики
- Шагидуллин
Рифгат Роальдович** Институт проблем экологии и недропользования АН РТ, член-корреспондент АН РТ, доктор химических наук, директор, e-mail: shagidullin@mail.ru.
- Шайда
Валентин Григорьевич** ФИЦ «Институт биологии южных морей им. А. О. Ковалевского РАН», ведущий инженер лаборатории Экотоксикологии
- Яковишин
Леонид Александрович** ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет», доктор химических наук, доцент, профессор кафедры «Химия и химические технологии», e-mail: chemsevntu@rambler.ru
- Якубовская
Алла Ивановна** ФГБУН «НИИСХ Крыма», кандидат биологических наук, заведующая лабораторией, старший научный сотрудник, e-mail: yakubovskaya_alla@mail.ru

СОДЕРЖАНИЕ

БИОЛОГИЧЕСКИЕ НАУКИ

- Айба Л. Я., Абиьфазова Ю. С., Белоус О. Г.**
ИЗМЕНЕНИЕ БИОХИМИЧЕСКИХ КОМПОНЕНТОВ В ПЛОДАХ КИВИ В СВЯЗИ С ПЕРИОДОМ ИХ СБОРА 3
- Асадова К. В., Аскеров А. М.**
БИОМОРФОЛОГИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА НЕКОТОРЫХ ТАКСОНОВ ВИКИ (*VICIA L.*, *FABACEAE LINDL.*), РАСПРОСТРАНЕННЫХ В АЗЕРБАЙДЖАНЕ..... 14
- Большевский С. Е., Зинченко Е. А., Мирошниченко И. В.**
ЗНАЧЕНИЕ ПРЕНАТАЛЬНОГО ПАССИВНОГО КУРЕНИЯ ДЛЯ РАЗВИТИЯ ЦЕНТРАЛЬНЫХ МЕХАНИЗМОВ РЕГУЛЯЦИИ ДЫХАНИЯ У НОВОРОЖДЕННЫХ КРЫС *IN VITRO* 26
- Вахрушева Л. П.**
ОНТОГЕНЕТИЧЕСКАЯ СТРУКТУРА ПОПУЛЯЦИЙ *PULSATILLA HALLERI* (ALL.) WILLD. *SUBSP. TAURICA* (JUZ.) K. KRAUSE В ФИТОЦЕНОЗАХ ГОРНОГО КРЫМА..... 36
- Евсеева А. А.**
СИНАНТРОПНЫЙ КОМПОНЕНТ ЛУГОВОЙ ФЛОРЫ Г. КАЛУГИ..... 48
- Еременко В. И., Ротмистровская Е. Г.**
ДИНАМИКА КОРТИЗОЛА И ТЕСТОТЕРОНА В КРОВИ НЕТЕЛЕЙ РАЗНЫХ ПОРОД..... 57
- Коба В. П., Никифоров А. Р., Папельбу В. В., Новицкий М. Л.**
ЛЕСОРАСТИТЕЛЬНЫЕ УСЛОВИЯ И СОСТОЯНИЕ КУЛЬТУР *PINUS PALLASIANA* D. DON ВОСТОЧНОЙ ЧАСТИ ЮЖНОГО МАКРОСКЛОНА ГЛАВНОЙ ГРЯДЫ КРЫМСКИХ ГОР 64
- Козлова А. П., Суботялов М. А.**
МОРФОФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ ОСОБЕННОСТИ МАЛЬЧИКОВ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ СОМАТОТИПА 75
- Коношенко С. В., Елкина Н. М., Вардамян А. Г., Большакова А. А.**
ОКИСЛИТЕЛЬНАЯ МОДИФИКАЦИЯ ПРОТЕИНОВ И АНТИОКСИДАНТНАЯ АКТИВНОСТЬ В ЭРИТРОЦИТАХ ПРИ ЦИРРОЗЕ ПЕЧЕНИ 83
- Кулагина В. И., Сунгатуллина Л. М., Рязанов С. С., Хайруллина А. М., Шагидуллин Р. Р., Рупова Э. Х.**
ПРОВЕРКА НАБОРА ПАРАМЕТРОВ ДЛЯ ИНТЕГРАЛЬНОЙ ОЦЕНКИ ЭКОЛОГО-БИОЛОГИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ПОЧВ ПРИ ОРГАНИЧЕСКОМ ЗЕМЛЕДЕЛИИ 90
- Минина Е. Н., Минин В. В., Хаит Н.**
РЕГУЛЯТОРНЫЕ ОСОБЕННОСТИ АДАПТАЦИИ КАРДИОГЕМОДИНАМИКИ К НАГРУЗКАМ РАЗЛИЧНОЙ МОДАЛЬНОСТИ У БОКСЁРОВ 103

Мушегян Г. Х., Араджян Г. М., Погосян М. В., Саркисян Дж. С. ДИНАМИКА ИМПУЛЬСНОЙ АКТИВНОСТИ НЕЙРОНОВ ВЕНТРАЛЬНОГО ПОСТЕРОЛАТЕРАЛЬНОГО ЯДРА (VPL) ТАЛАМУСА КРЫС В ОТВЕТ НА СТИМУЛЯЦИЮ СОМАТОСЕНСОРНОЙ КОРЫ НА МОДЕЛИ БОЛЕЗНИ ПАРКИНСОНА	111
Павленко Д. В., Чуюн Е. Н., Павленко В. Б. МЕТОДЫ КОРРЕКЦИИ РАЗВИТИЯ ДЕТЕЙ С АУТИЗМОМ НА ОСНОВЕ БИОЛОГИЧЕСКОЙ ОБРАТНОЙ СВЯЗИ ПО ЭЭГ	124
Петришина Н. Н., Николенко В. В., Молодайкина М. А. АНАТОМО-МОРФОЛОГИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА <i>STACHYS OFFICINALIS</i> (L.) TREVIS. В СВЯЗИ С ЭФИРОМАСЛИЧНОСТЬЮ	141
Португальская А. А., Левенчик Г. Я., Павленко В. Б. АКТИВНОСТЬ ЗЕРКАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ МОЗГА ПРИ ВОСПРИЯТИИ РЕЧИ И ЕЕ ВЗАИМОСВЯЗЬ С УРОВНЕМ ИНТЕЛЛЕКТА И ЭМПАТИИ.....	156
Славинская А. В., Ивашов А. В., Кобечинская В. Г., Громенко В. М., Якубовская А. И., Каменева И. А., Гритчин М. В. ФЕРМЕНТАТИВНАЯ АКТИВНОСТЬ ПОЧВ С УЧЕТОМ СЕЗОННОЙ ДИНАМИКИ В ПРЕДГОРНОЙ ЗОНЕ КРЫМА	169
Смолянкин Д. А., Тимашева Г. В., Хуснутдинова Н. Ю., Зиатдинова М. М., Фазлыева А. С., Байгильдин С. С., Репина Э. Ф., Назарова Л. Ш., Каримов Д. Д. ОСОБЕННОСТИ МЕТАБОЛИЧЕСКИХ ИЗМЕНЕНИЙ В ПЕЧЕНИ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ЖИВОТНЫХ ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ СОЛЕЙ КАДМИЯ	180
Степанкова И. В., Африн К. А., Иволга Р. А., Петровский А. Б., Кидов А. А. СОВРЕМЕННОЕ РАСПРОСТРАНЕНИЕ ОБЫКНОВЕННОЙ ЖАБЫ, <i>BUFO BUFO</i> (AMPHIBIA, BUFONIDAE) В НОВОЙ МОСКВЕ	191
Труш В. В., Соболев В. И. ОЦЕНКА В ЭКСПЕРИМЕНТАХ НА ЖИВОТНЫХ ЭФФЕКТОВ ДЛИТЕЛЬНО ВВОДИМОГО АЛЬФАКАЛЬЦИДОЛА НА ФУНКЦИОНАЛЬНОЕ СОСТОЯНИЕ СКЕЛЕТНОЙ МЫШЦЫ.....	201
Чабан В. В., Руднева И. И., Гуськова Н. В., Шайда В. Г. СОСТОЯНИЕ ЭКОСИСТЕМ ВОСТОЧНОГО И ЗАПАДНОГО БАССЕЙНОВ САКСКОГО ОЗЕРА (РЕСПУБЛИКА КРЫМ)	218
Чайка А. В., Хусаинов Д. Р., Туманянц К. Н. ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОГО АНТИДЕПРЕССАНТНОГО ДЕЙСТВИЯ СЕЛЕКТИВНОГО ИНГИБИТОРА ЦОГ-2 МЕЛОКСИКАМА, ЕГО СВЯЗИ С ДОФАМИНЕРГИЧЕСКОЙ СИСТЕМОЙ МОЗГА	229

ХИМИЧЕСКИЕ НАУКИ

Брановицкая Т. Ю., Кожарский Г. Н. ИЗУЧЕНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПЛОДОВ ЗИЗИФУСА В ПРОИЗВОДСТВЕ КОНДИТЕРСКИХ ИЗДЕЛИЙ ЖЕЛЕЙНОЙ СТРУКТУРЫ.....	243
--	-----

Венжик А. Н., Николаев Д. А., Романова И. В. ИССЛЕДОВАНИЕ ЦИТОТОКСИЧНОСТИ ГЕЛЕЙ НА ОСНОВЕ КАРБОКСИМЕТИЛЦЕЛЛЮЛОЗЫ, ПОЛУЧЕННЫХ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ НОВЫХ СШИВАЮЩИХ АГЕНТОВ	249
Живетина А. В., Нохрин Д. Ю., Дерхо М. А., Мухамедьярова Л. Г. СЕЗОННЫЕ ОСОБЕННОСТИ ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА И КАЧЕСТВА ВОДЫ В ВОДОХРАНИЛИЩЕ РУСЛОВОГО ТИПА.....	259
Яковитшин Л. А., Ратников В. Д., Бажан П. И., Гришковец В. И. ПАРАМЕТРЫ НОВЫХ СУПРАМОЛЕКУЛЯРНЫХ КОМПЛЕКСОВ КВЕРЦЕТИНА С ГЛАВНЫМИ ТРИТЕРПЕНОВЫМИ ГЛИКОЗИДАМИ ПЛЮЩА.....	277
СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ	284
СОДЕРЖАНИЕ	292