

УЧЕНЫЕ ЗАПИСКИ

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

Научный журнал

Том 6 (72), № 4

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

**Крымский федеральный университет имени В. И. Вернадского
Симферополь, 2020**

Свидетельство о регистрации СМИ – ПИ № ФС77-61791 от 18 мая 2015 года.
Выдано Федеральной службой по надзору в сфере связи,
информационных технологий и массовых коммуникаций.

**Учредитель – ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет имени В. И. Вернадского»
Печатается по решению Научно-технического совета Крымского федерального
университета имени В. И. Вернадского, протокол № 3 от 24 сентября 2020 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 28.12.2020. Формат 70x100 1/16.

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

Дата выхода в свет «__» _____ 2020 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 6 (72). 2020. № 4. С. 3–12.

УДК 796.01:612

DOI 10.37279/2413-1725-2020-6-4-3-12

ИЗМЕНЕНИЕ ЧАСТОТЫ СЕРДЕЧНЫХ СОКРАЩЕНИЙ И САТУРАЦИИ КРОВИ У ЮНЫХ СПОРТСМЕНОВ-ОРИЕНТИРОВЩИКОВ ПРИ ПРОХОЖДЕНИИ СПОРТИВНЫХ ДИСТАНЦИЙ РАЗНОЙ СЛОЖНОСТИ

Бирюкова Е. А., Ярмолюк Н. С., Абдурашитова Л. Э., Ткач Е. С., Юкало Е. В.

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

Изучены особенности изменения частоты сердечных сокращений и сатурации крови у юных спортсменов-ориентировщиков при прохождении спортивных дистанций разной сложности. Показано, что прохождение спортивных дистанций разной сложности вызывает в организме юных спортсменов-ориентировщиков существенные функциональные перестройки, выраженные в изменении частоты сердечных сокращений и сатурации периферической крови, а характер этих изменений напрямую обусловлен как гендерными особенностями спортсменов, так и типом проходимой ими дистанции.

Ключевые слова: частота сердечных сокращений, сатурация, юные спортсмены-ориентировщики.

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время юношеский спорт наравне с профессиональным предъявляет жесткие требования к физической и эмоциональной подготовке спортсменов [1]. Не исключением является и спортивное ориентирование, где в системе подготовки юных спортсменов важной задачей является контроль за формированием адекватных приспособительных реакций к интенсивной мышечной деятельности [2]. Спортивное ориентирование бегом характеризуется выполнением максимальных и даже чрезмерных физических нагрузок в течение различных промежутков времени, что связано со значительной мобилизацией энергетических систем организма юных спортсменов – сердечно-сосудистой, дыхательной, гуморально-метаболической и др [2, 3]. В связи с тем, что по этическим соображениям к детям школьного возраста, в том числе и к спортсменам-ориентировщикам, зачастую не применимы инвазивные методики (контроль лактата крови) функциональной диагностики, а также некоторые нагрузочные тесты (нагрузочное тестирование «до отказа»), актуальным является поиск простых неинвазивных, применимых в полевых условиях способов контроля за

функциональным состоянием во время и после прохождения спортивных дистанций разной сложности с целью мониторинга адекватности тренировочного процесса и прогноза успешности соревновательной деятельности.

По нашему мнению, одним из таких способов, наравне с регистрацией частоты сердечных сокращений (ЧСС) может являться оценка степени насыщения крови кислородом (SpO_2 %), которая, по данным литературы, отражает реальную эффективность работы кардиореспираторной системы организма [4–9]. Определение SpO_2 % методом прямой оксиметрии достаточно давно внедрено в клиническую практику. Однако в последнее время появилась возможность следить за насыщенностью крови кислородом вне клинического контроля, благодаря разработке портативных пульсоксиметров для непрямого трансдермального определения SpO_2 %. Однако, на сегодняшний день в научной литературе практически отсутствуют исследования функциональных изменений степени сатурации крови, а также ЧСС, у юных спортсменов-ориентировщиков.

В связи с этим, целью нашего исследования явилась оценка изменений частоты сердечных сокращений и периферической сатурации у юных спортсменов-ориентировщиков при прохождении спортивных дистанций разной сложности.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Исследование проведено в полевых условиях во время Всероссийских соревнований по спортивному ориентированию «Легенды Крыма» (Крым, г. Алушта, 03–8.01.2021) на юных спортсменах-ориентировщиках 13–14 лет (юноши $n=8$, девушки $n=9$) спортивного клуба «Ориентир» ДЮСШ №3 г. Симферополя. Все испытуемые спортсмены имели 2–3 юношеский разряд по спортивному ориентированию.

Испытуемые спортсмены-ориентировщики на протяжении исследуемого периода ежедневно участвовали в соревнованиях по прохождению спортивной дистанции по пересеченной местности. При этом параметры спортивных дистанций ежедневно отличались (табл. 1).

В первые сутки исследования в покое (покой), до начала соревнований и непосредственно после завершения спортивных дистанций в финишном коридоре у всех испытуемых спортсменов были зарегистрированы показатели процентного содержания кислорода крови (SpO_2 , %) с помощью медицинского пульсоксиметра Armed YX 200 (Jangsu, China). Для этого датчик пульсоксиметра крепили к подушечке пальца испытуемого спортсмена, после чего в течение 5 секунд происходило измерение ЧСС и SpO_2 . Полученные данные вносили в журнал исследования. Показатели частоты сердечных сокращений (ЧСС, уд./мин) регистрировали в среднем за время прохождения спортивной дистанции с помощью нагрудного монитора сердечного ритма и часов Garmin (США).

Статистическая обработка полученных результатов была проведена с помощью программы Statistica 8.0. Достоверность различий полученных данных определяли с помощью непараметрических критериев Вилкоксона и Манна Уитни.

Таблица 1

Примерные параметры спортивных дистанций для групп испытуемых спортсменов

	Длина дистанции, м	Набор высоты, м	Количество контрольных пунктов
04. 01. 2021 кросс-лонг			
Юноши М 14	3500	250	8
Девушки Ж 14	2500	150	8
05. 01. 2021 кросс-выбор			
Юноши М 14	3000–3500	200–250	12
Девушки Ж 14	2000–3000	150–200	12
06. 01. 2021 кросс-спринт			
Юноши М 14	2000	100	12
Девушки Ж 14	1800	75	11
07. 01. 2021 кросс-лонг-общий старт			
Юноши М 14	3700	200	9
Девушки Ж 14	3600	170	9
08. 01. 2021 кросс-классика			
Юноши М 14	2200	120	10
Девушки Ж 14	2100	120	9

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

В первые сутки исследования в покое все исследуемые показатели ЧСС и сатурации соответствовали диапазону возрастной нормы и спортивной квалификации для испытуемых юных спортсменов-ориентировщиков (табл. 2).

При этом после прохождения спортивных дистанций по пересеченной местности у всех спортсменов были зарегистрированы достоверные изменения изученных показателей (табл. 2, рис. 1).

Так, при оценке изменений показателей ЧСС нами зарегистрировано, что после прохождения спортивной дистанции, значения данного показателя увеличивались в среднем на 130–170 % (юноши) и 140–150 % (девушки) относительно значений, зарегистрированных в покое у этих испытуемых.

Отметим, что максимальное увеличение ЧСС было зарегистрировано в обеих группах испытуемых спортсменов после прохождения дистанций кросс-спринт – на 177,4 % ($p < 0,05$) и 147,05 % ($p < 0,05$) кросс-лонг – на 251,6 % ($p < 0,05$) и 141,2 % ($p < 0,05$) для юношей и девушек соответственно (табл. 2, рис. 1).

Известно, что показатель частоты сердечных сокращений – это один из наиболее информативных показателей реакции организма на физическую нагрузку. Полученные нами данные свидетельствуют о значительных изменениях данного показателя у юных спортсменов-ориентировщиков, при этом сила этих изменений зависела как от индивидуальных качеств спортсмена, так и от типа дистанции.

Таблица 2
Значения исследуемых показателей частоты сердечных сокращений и сатурации у испытуемых спортсменов-ориентировщиков до и после прохождения спортивных дистанций разной сложности

Дистанция	Исходное состояние (покой)		Кросс-лонг		Кросс-выбор		Кросс-спринт		Кросс-лонг общий старт		Кросс-классика	
	ЧСС, уд/мин.	SpO ₂ , %	ЧСС, уд/мин.	SpO ₂ , %	ЧСС, уд/мин.	SpO ₂ , %	ЧСС, уд/мин.	SpO ₂ , %	ЧСС, уд/мин.	SpO ₂ , %	ЧСС, уд/мин.	SpO ₂ , %
Юноши	62±5,4	98,8±0,5	155±19,4 p ₁ <0,05	98,1±0,6	148±14,4 p ₁ <0,05	98,1±0,6	172±12,4 p ₁ <0,05	97±1,4 p ₁ <0,05	156±12,4 p ₁ <0,05	97±1,8 p ₁ <0,05	153±15,4 p ₁ <0,05	98,4±0,6
Девушки	68±7,2	98,6±0,4	162±10,4 p ₁ <0,05	98,8±0,1	165±15,6 p ₁ <0,05	97,8±0,1	168±15,2 p ₁ <0,05	96±1,8 p ₁ <0,05 p ₂ <0,05	164±18,9 p ₁ <0,05	96±1,8 p ₁ <0,05 p ₂ <0,05	161±19,4 p ₁ <0,05	98,2±0,1

Примечание: p₁ – достоверность различий по критерию Вилкоксона относительно исходных значений изучаемого показателя; p₂ – достоверность различий по критерию Манна-Уитни относительно значений изучаемого показателя, зарегистрированных в группе юношей.

Согласно действующим Правилам вида спорта «Спортивное ориентирование» [10] дистанция кросс-спринт является самой короткой среди представленных в программе Всероссийских соревнований дистанций. Кросс-спринт проходится спортсменами на высоких скоростях и требует максимальной мобилизации физических резервов для поддержания скоростных качеств (быстроты). При этом кросс-лонг – это дистанция, которая характеризуется максимальным пройденным расстоянием и связана со значительным развитием утомления у спортсменов.

Так, максимальное увеличение ЧСС у юных спортсменов-ориентировщиков во время прохождения дистанций кросс-спринт и кросс-лонг свидетельствует о наибольших изменениях функционального состояния, в частности напряжения механизмов энергетического обеспечения во время этих дистанций (табл. 2, рис. 1).

Подтверждением полученных данных является изменение сатурации периферической крови, зарегистрированное на финише, после прохождения спортсменами разных по типу дистанций (табл. 2, рис. 1).

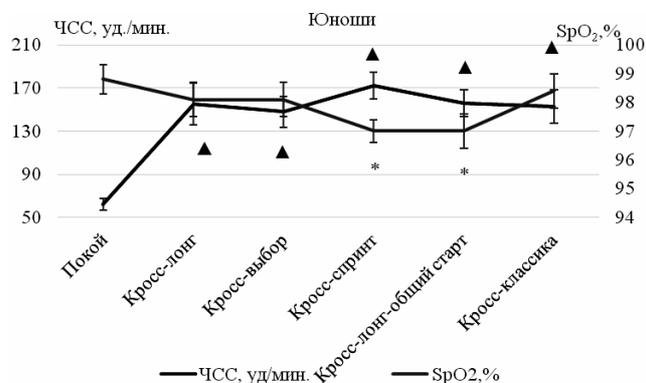
Так, достоверное снижение значений данного показателя нами зарегистрировано только в 3 и 4 день исследования для дистанций кросс-спринт и кросс-лонг. У юношей ≈ на 1,8 %, а у девушек ≈ на 2,6 % (p<0,05) в оба исследуемых дня соответственно (табл. 2, рис. 1).

Из данных литературы известно, что снижение показателя сатурации напрямую обусловлено снижением концентрации оксигемоглобина крови, обусловленное рассогласованием механизмов компенсации гипоксии под влиянием интенсивных физических нагрузок [4, 6]. Так, полученные нами данные свидетельствуют о том, что прохождение дистанций кросс-спринт и кросс-лонг вызывало наибольшее изменение сатурации крови и напряжение механизмов их энергетического

ИЗМЕНЕНИЕ ЧАСТОТЫ СЕРДЕЧНЫХ СОКРАЩЕНИЙ И САТУРАЦИИ ...

обеспечения у юных спортсменов-ориентировщиков, связанных с развитием гипоксических состояний, согласно литературным данным [5] обусловленным лактат-ацидозом.

А.



Б.

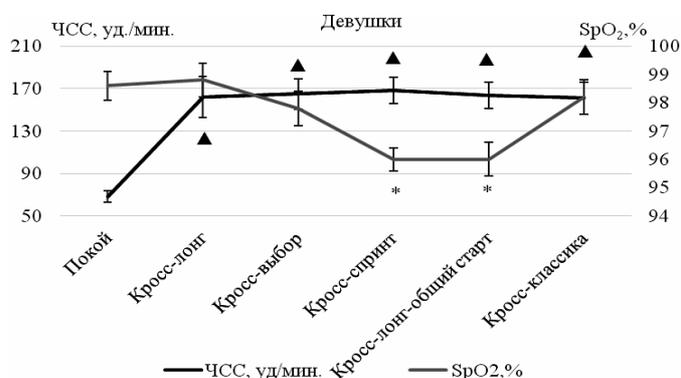


Рис. 1. Значения исследуемых показателей частоты сердечных сокращений (ЧСС, уд./мин) и сатурации (SpO₂, %) у испытуемых спортсменов-ориентировщиков юношей (А) и девушек (Б) до (покой) и после прохождения спортивных дистанций разной сложности.

Примечание: * – достоверность различий по критерию Вилкоксона относительно исходных значений ЧСС; ▲ – достоверность различий по критерию Вилкоксона относительно исходных значений SpO₂.

На наш взгляд, значительный интерес представляют гендерные различия функциональных перестроек организма испытуемых юных спортсменов в ответ на прохождение разных по сложности спортивных дистанций по пересеченной местности.

Так, достоверные различия динамики изменения исследуемых показателей между группами юношей и девушек 13–14 были зарегистрированы только для

показателя сатурации (табл. 2, рис. 2). Достоверных различий динамики показателя ЧСС для групп юношей и девушек зарегистрировано не было (табл. 2).

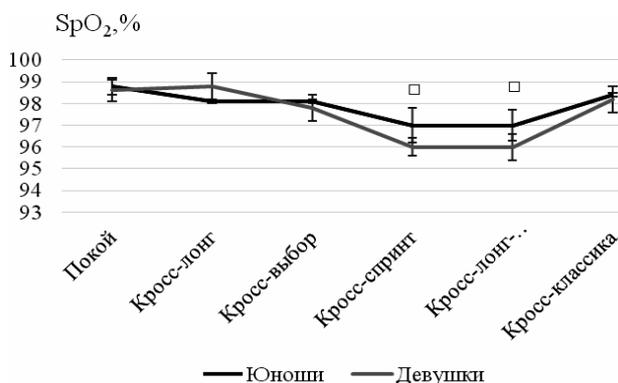


Рис. 2. Значения сатурации ($SpO_2, \%$) у испытуемых спортсменов-ориентировщиков юношей и девушек до (покой) и после прохождения спортивных дистанций разной сложности.

Примечание: □ – достоверность различий по критерию Манна-Уитни относительно значений изучаемого показателя, зарегистрированных в группе юношей.

На дистанциях кросс-спринт и кросс-лонг значения SpO_2 для обеих дистанций у девушек были \approx на 1,03 % ($p < 0,05$) ниже, чем у юношей.

Полученные нами данные подтверждают литературные [11] и свидетельствуют о том, что юноши имеют преимущество в адаптации к физическим нагрузкам, связанным с прохождением спортивных дистанций по пересеченной местности по сравнению с девушками того же возраста. Так, прохождение спортивных дистанций на высокой скорости и более длительное время вызывает в организме девушек более глубокие изменения, связанные с увеличением напряженности регуляторных систем, развитием гипоксических состояний, повышением кислородного долга по сравнению с юношами того же возраста.

Результаты настоящего исследования могут быть полезны специалистам медико-биологического сопровождения спорта и спортивным тренерам и свидетельствуют о том, что прохождение спортивных дистанций разной сложности вызывает в организме юных спортсменов-ориентировщиков существенные функциональные перестройки, выраженные в изменении частоты сердечных сокращений и сатурации периферической крови, а характер этих изменений напрямую обусловлен как гендерными особенностями спортсменов, так и типом проходимой ими дистанции.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Прохождение спортивных дистанций разной сложности вызывает в организме юных спортсменов-ориентировщиков существенные функциональные перестройки, выраженные в изменении частоты сердечных сокращений и

сатурации периферической крови, а этих характер изменений напрямую обусловлен как гендерными особенностями спортсменов, так и типом проходимой ими дистанции.

2. После прохождения спортивной дистанции значения показателя ЧСС у юных спортсменов увеличивались в среднем на 130–170% (юноши) и 140–150% (девушки) относительно значений, зарегистрированных в покое у этих испытуемых. Максимальное увеличение ЧСС было зарегистрировано в обеих группах испытуемых спортсменов после прохождения дистанций кросс-спринт – на 177,4% ($p < 0,05$) и 147,05% ($p < 0,05$), кросс-лонг – на 251,6% ($p < 0,05$) и 141,2% ($p < 0,05$) для юношей и девушек соответственно, что свидетельствует о наибольших изменениях функционального состояния, в частности напряжения механизмов энергетического обеспечения во время этих дистанций.
3. После прохождения спортсменами дистанций кросс-спринт и кросс-лонг у испытуемых юных спортсменов-ориентировщиков зарегистрировано достоверное снижение сатурации периферической крови \approx на 1,8% ($p < 0,05$) у юношей и \approx на 2,6% ($p < 0,05$) у девушек. Полученные нами данные свидетельствуют о том, что прохождение дистанций кросс-спринт и кросс-лонг вызывало наибольшее изменение сатурации крови и напряжение механизмов их энергетического обеспечения у юных спортсменов-ориентировщиков, связанных с развитием гипоксических состояний, обусловленных лактатацидозом.
4. Достоверные различия динамики изменения исследуемых показателей между группами юношей и девушек 13–14 были зарегистрированы только для показателя сатурации: на дистанциях кросс-спринт и кросс-лонг значения SpO_2 для обеих дистанций у девушек были \approx на 1,03% ($p < 0,05$) ниже, чем у юношей. Это свидетельствует о том, что юноши имеют преимущество в адаптации к физическим нагрузкам, связанным с прохождением спортивных дистанций по пересеченной местности по сравнению с девушками того же возраста.

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

Исследование выполнено в рамках поддержанного ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет имени В. И. Вернадского» гранта № АААА-А20-120012090163-1.

Список литературы

1. Nazarenko L. D. Conception of sport moral basis strengthening, not compatible with doping / Nazarenko L. D., Kuznetsova Z. M., Meshcheryakov A. V. // Proceeding of International scientific conference effects of applying physical activity on anthropological status of children, adolescents and adults – 2018. – №2 – P. 154–157.
2. Balchirbay M. Tourism and sport orienteering as a national-regional component in the children physical education / M. Balchirbay, Ch. Dazhy, G. Mongush, M. Saaya, A. Saaya, C. Taryma, S. Kuzhuget, A. Uvarova // Opción: Revista de Ciencias Humanas y Sociales. – 2018. – No. 14. – P. 711–732.

3. Abzalilov R. Y. Adaptation of junior orienteers to loads, developing local-regional and special muscular endurance / Abzalilov R. Y., Rybakov V. V., Isaev A. P., Erlikh V. V. // *Pedagogics, psychology, medical-biological problems of physical training and sports.* – 2017. – №5. – P. 200–206.
4. Soo J. The Use of the SpO₂ to FiO₂ Ratio to Individualize the Hypoxic Dose in Sport Science, Exercise, and Health Settings. / Soo J., Girard O., Ihsan M., Fairchild T. // *Front Physiol.* – 2020. – Vol. 11. – 570472.
5. Anumba M. The effect of sport-related concussion on early versus late reaction time: a systematic review and meta-analysis: SpO₂ / Anumb M. et al. // *Journal of Orthopaedic & Sports Physical.* – 2016. – Т. 46. – №. 1. – P. 110–115.
6. Варламова Н.Г. Кардиореспираторные предикторы завершения теста с максимальной нагрузкой у высококвалифицированных лыжников-гонщиков. / Варламова Н. Г., Логинова Т. П., Мартынов Н. А., Черных А. А., Расторгуев И. А., Гарнов И. О., Ларина В. Е., Бойко Е. Р. // *Спортивная медицина. Наука и практика.* – 2015. – № 2. – С. 53–60.
7. Лаптев А. И. Совершенствование физической подготовленности высококвалифицированных велосипедистов с учетом контроля насыщения кислородом работающей мышцы. / Лаптев А. И. // *Сборник трудов конференции Наука для ФИТНЕСА-2019.* – 2019. – С. 110–115.
8. Селиверстова В. В. Резервные возможности сердечно-сосудистой и дыхательной системы спортсменов-хоккеистов 18–22 лет / Селиверстова В. В., Мельников Д. С. // *Ученые записки университета Лесгафта.* – 2016. – №1 (131). – С. 205–208.
9. Кологривова В. В. Периферическая кислородная сатурация при выполнении дозированной физической нагрузки. / Кологривова В. В., Кабачкова А. В. // *Материалы X Международной научно-практической конференции, посвященной памяти В.С. Пирусского. Физическая Культура, Здравоохранение и Образование* Под редакцией В. Г. Шилько. – 2016. – С. 239–243.
10. Об утверждении правил вида спорта "Спортивное ориентирование". – Приказ Министерства Спорта Российской Федерации от 3 мая 2017 г. – № 403.
11. Иусов И. Г. Гендерные различия восстановления сердечного ритма у юных спортсменов после тестовых физических нагрузок. / Иусов И. Г., Гильмутдинова И. Р., Гуменюк С. А. // *Вестник восстановительной медицины.* – 2020 – 5 (99). – С. 120–126.

CHANGES IN HEART RATE AND PERIPHERAL SATURATION IN YOUNG ORIENTEERING ATHLETES WHEN PASSING SPORT DISTANCES OF DIFFERENT DIFFICULTY

Biryukova E. A., Yarmolyuk N. S., Abdurashitova L. E., Tkach E. S., Yukalo E. V.

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

Nowadays, youth sport, on a par with professional sport, imposes stringent requirements for physical and emotional preparation of athletes [1]. Orienteering is no exception, where in the system of preparation of young athletes an important task is to control the formation of adequate adaptive reactions to intensive muscular activity [2]. Running orienteering is characterized by performing maximum and even excessive physical loads during different time intervals, which is associated with significant mobilization of energy systems of young athletes' organism – cardiovascular, respiratory, humoral and metabolic, etc. [2, 3]. Due to the fact that for ethical reasons invasive methods (blood lactate control) of functional diagnostics, as well as some stress tests (load testing "to failure") are often not applicable to school-age children, including orienteering

athletes, the search for simple noninvasive, applicable in the field methods of functional state control during and after passing sports distances of different complexity in order to monitor adequacy of training process and prognosis is actual.

We think that assessment of blood oxygen saturation degree (SpO₂ %), which, according to literature data, reflects real efficiency of cardiorespiratory system operation, is one of such methods along with heart rate (HR) recording [4–9]. SpO₂ % determination by direct oximetry has been introduced into clinical practice for quite a long time. However, recently it has become possible to monitor blood oxygen saturation out of clinical control due to the development of portable pulse oximeters for indirect transdermal determination of SpO₂ %. However, to date in the scientific literature there are virtually no studies of functional changes in the degree of blood saturation, as well as HR, in young orienteering athletes.

Therefore, the aim of our study was to assess the changes in heart rate and peripheral saturation in young orienteering athletes when passing sport distances of different difficulty.

After athletic distance the HR values in young athletes increased on average by 130–170 % (boys) and 140–150 % (girls) relative to the values recorded at rest in these subjects. The maximum increase in heart rate was recorded in both groups of test athletes after cross sprint distances – by 177.4 % (p<0.05) and 147.05 % (p<0.05) cross-long – by 251.6 % (p<0.05) and 141.2 % (p<0.05) for boys and girls respectively, indicating the greatest changes in functional state, particularly tension of energy supply mechanisms during these distances.

After cross-sprint and cross-long distances the reliable decrease of peripheral blood saturation \approx on 1,8 % (p<0,05) at boys and \approx on 2,6 % (p<0,05) at girls has been registered in young orienteering athletes. The data obtained by us testify to the fact that the passage of distances cross-sprint and cross-long caused the greatest change in blood saturation and tension of mechanisms of their energy supply in young orienteering athletes associated with the development of hypoxic states, caused by lactate acidosis.

Significant differences in the dynamics of changes in the studied parameters between the groups of boys and girls 13–14 were recorded only for the saturation index: on the distances cross-sprint and cross-long SpO₂ values for both distances for girls were \approx 1.03 % (p<0,05) lower than for boys. This indicates that young men have an advantage in adapting to physical loads associated with cross-country sport distances compared to girls of the same age.

Keywords: heart rate, saturation, young orienteering athletes.

References

1. Nazarenko L. D., Kuznetsova Z. M., Meshcheryakov A. V. Conception of sport moral basis strengthening, not compatible with doping, *Proceeding of International scientific conference effects of applying physical activity on anthropological status of children, adolescents and adults*, **2**, 154 (2018).
2. Balchirbay M., Dazhy Ch., Mongush G., Saaya M., Saaya A., Taryma C., Kuzhuget S., Uvarova A. Tourism and sport orienteering as a national-regional component in the children physical education, *Opción: Revista de Ciencias Humanas y Sociales*, **14**, 711 (2018).

3. Abzalilov R. Y., Rybakov V. V., Isaev A. P., Erlikh V. V. Adaptation of junior orienteers to loads, developing local-regional and special muscular endurance, *Pedagogics, psychology, medical-biological problems of physical training and sports*, **5**, 200 (2017).
4. Soo J., Girard O., Ihsan M., Fairchild T. The Use of the SpO₂ to FiO₂ Ratio to Individualize the Hypoxic Dose in Sport Science, Exercise, and Health Settings, *Front Physiol.*, **11**, 570472 (2020).
5. Anumba M. et al. The effect of sport-related concussion on early versus late reaction time: a systematic review and meta-analysis: SpO₂, *Journal of Orthopaedic & Sports Physical.*, **46**, **1**, 110 (2016).
6. Varlamova N. G., Loginova T. P., Martynov N. A., Chernykh A. A., Rastorguev I. A., Garnov I. O., Larina V. E., Boiko E. R. Cardiorespiratory predictors of test completion with maximum load in highly qualified cross-country skiers, *Sports Medicine. Science and practice*, **2**, 53 (2015).
7. Laptev A. I. Improvement of physical fitness of highly qualified cyclists taking into account the control of oxygen saturation of working muscle, *Article in the Proceedings of the conference Science for FITNESS-2019*, 110 (2019).
8. Seliverstova V. V., Melnikov D. S. Reserve capacities of cardiovascular and respiratory system of hockey athletes of 18–22 years, *Scientific Notes of Lesgaft University*, **1** (**131**), 205 (2016).
9. Kologrivova V. V., Kabachkova A. V. Peripheral oxygen saturation during dosed physical activity. *Materials of X International Scientific-Practical Conference devoted to the memory of V.S. Pirussky. Physical Culture, Health and Education Edited by V.G. Shilko*, 239 (2016).
10. On approval of the rules of the sport of "Sports Orienteering". Order of the Ministry of Sports of the Russian Federation from May 3, 2017, No 403.
11. Iusov I. G., Gilmutdinova I. R., Gumenyuk S. A. Gender differences of cardiac rhythm recovery in young athletes after test physical exertion. *Bulletin of regenerative medicine*, **5** (**99**), 120 (2020).

УДК 796.01:612

DOI 10.37279/2413-1725-2020-6-4-13-23

**ВАРИАБЕЛЬНОСТЬ СЕРДЕЧНОГО РИТМА
У ВЫСОКОКВАЛИФИЦИРОВАННЫХ СПОРТМЕНОВ-
ОРИЕНТИРОВЩИКОВ ПРИ РЕШЕНИИ СЛОЖНЫХ ДВИГАТЕЛЬНЫХ
ЗАДАЧ**

*Бирюкова Е. А., Ярмолюк Н. С., Мишин Н. П., Меджитова А. Р., Ткач Е. С.,
Касьянова Е. О.*

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

Изучены изменения вариабельности сердечного ритма у спортсменов-ориентировщиков высшей квалификации при решении сложно-координационных задач по биоуправлению виртуальным объектом с помощью стабилметрической платформы ST-150. Методами статистического, спектрального и геометрического анализа ВСП показано, что 7-мидневный курс решения сложных двигательных задач с БОС по опорной реакции стимулирует увеличение вагусной регуляции сердечного ритма, улучшение адаптационных возможностей и функциональных резервов организма профессиональных спортсменов-ориентировщиков.

Ключевые слова: вариабельность сердечного ритма, стабилметрия, тренинг с биоуправлением, сердечный ритм.

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время проблема повышения качества тренировочного процесса как у профессиональных, так и у начинающих спортсменов является приоритетной для специалистов медико-биологического сопровождения спорта во всем мире. Для этих целей, в качестве внутренировочных средств повышения спортивной эффективности, в последние годы активно применяются различные процедуры с биологической обратной связью, в том числе метод решения специализированных двигательных-когнитивных задач на стабилметрической платформе [1].

В то же время отметим, что одним из наиболее информативных биологических сигналов, позволяющих судить о смене функционального состояния организма испытуемых спортсменов в процессе спортивной подготовки является динамика вариабельности сердечного ритма (ВСП) [2].

Анализ ВСП широко используется в качестве неинвазивного и надежного инструмента для оценки вегетативного контроля сердечно-сосудистой системы

человека [3]. Многочисленные литературные источники подтверждают перспективу применения данного метода для целей спортивной физиологии [4].

Однако, изменение ВСП у высококвалифицированных спортсменов при решении сложных двигательно-когнитивных задач, на сегодняшний день, по-прежнему, остается неизученным.

Целью настоящего исследования явилась оценка изменений вариабельности сердечного ритма у спортсменов-ориентировщиков высшей квалификации при решении сложно-координационных задач по биоуправлению виртуальным объектом с помощью стабилметрической платформы ST-150.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Исследование проведено на базе Центра коллективного пользования «Экспериментальная физиология и биофизика» и кафедры физиологии человека и животных и биофизики факультета биологии и химии Таврической академии ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет имени В. И. Вернадского», а также спортивного клуба «Ориентир» детско-юношеской спортивной школы № 3 в период с декабря 2019 по март 2020 года.

Дизайн экспериментальной работы включал неинвазивное наблюдение на 10 высококвалифицированных спортсменах мужского пола 16–19 лет, занимающихся спортивным ориентированием. Регистрация показателей функционального состояния у спортсменов проведена в период базового тренировочного мезоцикла. В данном периоде спортсмен сталкивается с шестидневным тренировочным процессом с отдыхом в понедельник.

Эксперимент велся на сертифицированном оборудовании, прошедшем метрологическую поверку, в тихом, хорошо проветриваемом помещении со стабильной температурой $+20 - +22 \text{ C}^0$.

После регистрации фоновых показателей ВСП с помощью программно-аппаратного комплекса «ВНС-микро» (ООО «Нейрософт», Иваново») все спортсмены подвергались 7-дневному стабилметрическому тренингу по управлению траекторией метки на экране монитора, связанной с траекторией центра давления масс на опору, регистрируемой силовой платформой.

После чего, на 7 сутки исследования у них повторно были зарегистрированы показатели ВСП.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

В первые сутки исследования до начала поведения БОС-тренинга по решению сложных двигательных задач на стабилметрической платформе все исследуемые показатели ВСП у испытуемых спортсменов находились в диапазоне возрастной нормы для спортсменов данной квалификации.

Ориентируясь на референтные значения в научной литературе [5], можно заключить, что фоновые значения изученных показателей у спортсменов-ориентировщиков свидетельствуют о более высокой, по сравнению с нетренированными испытуемыми, ВСП, что свидетельствует о наличии у них более

качественных механизмов адаптации к физическим нагрузкам. Несмотря на то, что более высокие показатели ВСП, по обыкновению, считаются положительным явлением, всё же и рост не характеризуется принципом «чем больше, тем лучше». Чрезмерно высокие или низкие показатели ВСП наносят ущерб нормальному физиологическому функционированию организма. Тот факт, что показатели ВСП у спортсменов-ориентировщиков, не выходят за пределы общепринятой нормы, хотя и отличаются от средних значений у неспортсменов, может свидетельствовать об отсутствии перетренированности и психоэмоционального истощения, которое не так уж и редко встречается в спорте, особенно на высоком уровне выступлений.

Таблица 1.

Показатели вариабельности сердечного ритма у спортсменов-ориентировщиков до и после БОС тренинга по решению сложно-координационных задач на стабилметрической платформе ST-150

Метод анализа	Показатель	Значение	
		Фон	7 сутки
Временной анализ	HR, уд./мин.	69,69±1,67	62,38±2,04 p=0,015
	SDNN, мс	60,80±5,30	66,20±5,61 p=0,005
	RMSSD, мс	36,90±4,62	52,50±5,76 p=0,015
	pNN50, %	17,18±3,67	30,42±5,29 p=0,038
	CV, %	6,21±0,14	7,78±0,56 p=0,008
Геометрический анализ	Мо, с	0,86±0,03	0,94±0,04 p=0,015
	АМо, %	36,41±2,02	29,42±2,07, p=0,038
	ВР, с	0,32±0,03	0,39±0,03 p=0,005
Спектральный анализ	TP, мс ²	3084,80±192,24	4196,70±255,31 p=0,005
	HF, мс ²	918,90±61,64	1729,10±102,75 p=0,005
	LF, мс ²	1020,90±78,53	1405,30±87,88 p=0,005
	VLF, мс ²	1145,00±132,15	1062,30±156,56
	LF/HF	1,15±0,12	0,83±0,06 p=0,047
Вариационная пульсометрия по Р. М. Баевскому	ИН, у.е.	76,53±10,15	53,85±7,91 p=0,009

Примечание: p – достоверность различий по критерию Вилкоксона, относительно значений, полученных в 1 сутки исследования до стабилметрического тренинга.

Сравнительная характеристика показателей временного анализа variability сердечного ритма до начала (фон) и после завершения (7 сутки) курсового тренинга по решению сложной двигательной задачи на стабилометрической платформе

При оценке показателей временного анализа ВСР под влиянием 7-дневного тренинга с БОС управлением на стабилометрической платформе ST-150 у всех спортсменов нами зарегистрировано значимое увеличение таких временных показателей ВСР, как SDNN – на 8,9 %, RMSSD – на 42,3 %, pNN50 – на 77,1 %, CV – на 25,3 %, а также снижение ЧСС на 10,5 % (рис. 1).

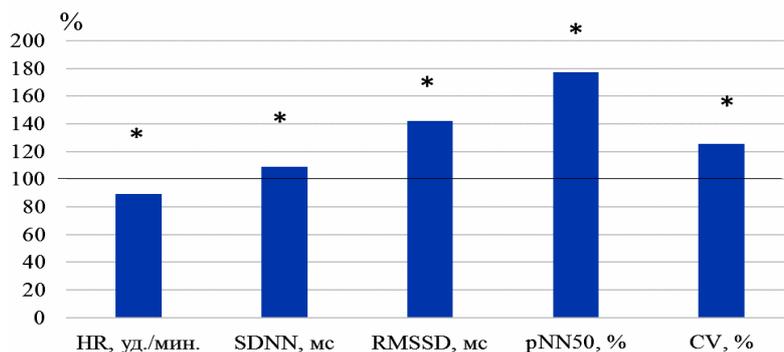


Рис. 1. Изменение показателей временного анализа сердечного ритма у спортсменов-ориентировщиков после курсового стабилометрического тренинга (7 сутки), в %, по отношению к значениям, зарегистрированным до начала (фон) тренинга, принятым за 100 %.

Примечание: р – достоверность различий по критерию Вилкоксона, относительно значений, полученных в 1 сутки исследования до стабилометрического тренинга.

Известно, что SDNN рассматривается в литературе как показатель, характеризующий ВСР в целом, так, увеличение SDNN в пределах нормальных значений под влиянием семидневного стабилометрического тренинга по решению сложной двигательной-координационной задачи, безусловно, является положительным явлением и свидетельствует о повышении общей ВСР, что свидетельствует об активации вегетативной нервной системы испытуемых спортсменов в ответ на данное воздействие.

Согласно литературным данным [6] увеличение RMSSD и pNN50 свидетельствует об усилении вклада активности парасимпатического отдела ВНС в регуляцию сердечного ритма. Принято считать, что низкий уровень значений коэффициента вариации CV – это положительная тенденция, которая характеризует хорошее состояние сердечно-сосудистой системы, а снижение CV напрямую связано с эффектом тренировок и физической выносливостью. Несмотря на то, что в текущем эксперименте CV увеличивается на 25,3 %, в абсолютных числах этот показатель находится в пределах диапазона 6–8 %, что характерно для атлетов из

различных видов спорта, и данный процесс вполне типичен при появлении новых тренировочных стимулов, коим, в нашем случае, является стабилметрический тренинг [7]. Согласно Л. А. Худяковой и соавт., CV около 7 % является нормой для мужчин до 25 лет [8].

Частота сердечных сокращений, число сердечных сокращений в единицу времени (обычно в минуту), является, пожалуй, наиболее часто и широко оцениваемым, неинвазивным, жизненно важным признаком в клинической практике со времен античности. Один из важнейших эффектов физических нагрузок – повышение функциональных возможностей сердечно-сосудистой системы. Он заключается в экономизации работы сердца в состоянии покоя и повышении резервных возможностей аппарата кровообращения при мышечной деятельности [9], что реализуется в снижении базального уровня ЧСС по сравнению со здоровыми людьми-неспорсменами и составляет менее 70, а нередко и менее 60 уд/мин [10]. Таким образом, снижение под влиянием стабилметрического тренинга может свидетельствовать об улучшении функционального состояния сердечно-сосудистой системы и повышении тонуса парасимпатического отдела ВНС у испытуемых спортсменов в ответ на данное воздействие [8].

Таким образом семидневный тренинг с БОС управлением на стабилметрической платформе приводил к значимому увеличению показателей временного анализа ВСР, что свидетельствует об увеличении функциональных возможностей организма, усилении вагусных влияний на сердечный ритм высококвалифицированных спортсменов-ориентировщиков в ответ на данное воздействие.

Изменение геометрических показателей variability сердечного ритма у спортсменов-ориентировщиков после курсового стабилметрического тренинга. Результаты геометрического анализа свидетельствуют о том, что на седьмые сутки исследования было зарегистрировано достоверное увеличение значений показателя моды кардиоинтервалов на 9,7 % ($p < 0,05$), и вариационного размаха на 21,4 % ($p < 0,05$), а также снижение значений амплитуды моды АМо гистограммы кардиоинтервалов на 19,2 % ($p < 0,05$) (рис. 2).

Исходя из известных нам литературных данных [8], зарегистрированная динамика показателей полностью согласуется с результатами временного анализа. Так, увеличение моды кардиоинтервалов, зарегистрированное нами у испытуемых спортсменов под влиянием семидневого БОС-тренинга, характеризует общее увеличение ВСР у этих испытуемых, в то время как снижение значений амплитуды моды и увеличение вариационного размаха сопоставимо с увеличением CV – о повышении роли ПНС в регуляции ВСР.

Таким образом, результаты геометрического анализа ВСР испытуемых спортсменов свидетельствуют об улучшении адаптационных возможностей организма испытуемых спортсменов под влиянием БОС по опорной реакции.

Методы вариационной пульсометрии также относятся к группе геометрических методов, среди которых стоит выделить индекс напряжения (ИН), рассчитываемый на основе показателя Мо, АМо и ВР и характеризующий состояние центрального

контура регуляции. ИН отличается очень высокой чувствительностью к усилению тонуса симпатической нервной системы: при стрессе или физической нагрузке значение ИН увеличивается в несколько раз [8, 11].

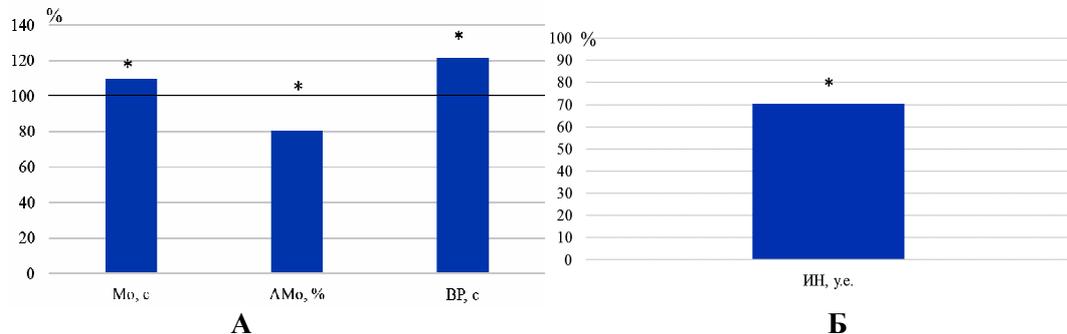


Рис. 2. Изменение показателей геометрического анализа сердечного ритма (А) и индекса напряженности регуляторных систем (Б) у спортсменов-ориентировщиков после курсового стабилметрического тренинга (7 сеанс), в %, по отношению к значениям, зарегистрированным в начале (1 сеанс) тренинга, принятым за 100 %.
Примечание: р – достоверность различий по критерию Вилкоксона, относительно значений, полученных в 1 сутки исследования до стабилметрического тренинга.

Результаты настоящего исследования ИН, после 7 сеансов БОС с применением стабилметрии, свидетельствуют о значимом снижении значений данного показателя на 29,6 % ($p=0,033$) под влиянием тренинга с биоуправлением на стабилметрической платформе. Согласно Зиматкина и соавт. [11] ИН может использоваться как показатель вегетативного тонуса. Таким образом, данные о снижении ИН свидетельствуют о том, что БОС по опорной реакции приводило к усилению вагусных влияний на ВНС и установлению более выраженной ваготонии у испытуемых спортсменов-ориентировщиков высшей квалификации.

Изменение спектральных показателей variability сердечного ритма у спортсменов-ориентировщиков после курсового стабилметрического тренинга

При анализе спектральных компонентов сердечного ритма у спортсменов-ориентировщиков после 7-дневного тренинга с БОС управлением было зарегистрировано достоверное увеличение значений практически всех изученных показателей спектра ВСП: TP – на 36 % ($p<0,05$), LF – на 37,7 % ($p<0,05$), HF – на 88,2 % ($p<0,05$). Отметим, что снижение VLF на 7,2 % не было достоверным, а носило характер тенденции (рис. 3).

Из литературных данных известно, что показатели спектрального анализа ВСП позволяют оценить по отдельности адренергические и холинергические воздействия на ритм сердца, что невозможно при статистических методах оценки ВСП. Так, изменение HF, традиционно, связывают с вагусной активностью, а LF – с

повышением активации симпатического отдела ВНС. Коэффициент LF/HF характеризует симпатовагальный баланс, а TP – ВСР в целом, общий вклад СНС и ПНС [12].

Таким образом, полученные нами данные подтверждаются данными спектрального анализа ВСР и свидетельствуют о том, что 7-дневный тренинг с БОС управлением на стабилметрической платформе приводит к увеличению общей variability сердечного ритма, активизации парасимпатического контура регуляции, увеличению функциональных возможностей и резервов организма испытуемых спортсменов.

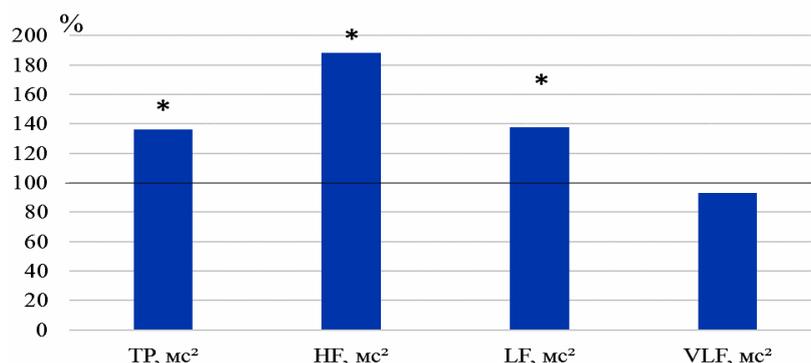


Рис. 3. Изменение показателей спектрального анализа сердечного ритма у спортсменов-ориентировщиков после курсового стабилметрического тренинга (7 сеанс), в %, по отношению к значениям, зарегистрированным в начале (1 сеанс) тренинга, принятым за 100 %.

Примечание: р – достоверность различий по критерию Вилкоксона, относительно значений, полученных в 1 сутки исследования до стабилметрического тренинга.

Таким образом, все исследуемые показатели ВСР, рассчитанные методами статистического, спектрального и геометрического анализа ВСР, однозначно указывают на то, что 7-дневный курс тренинга по решению сложных двигательных задач с БОС по опорной реакции стимулирует увеличение вагусной регуляции сердечного ритма, улучшение адаптационных возможностей и функциональных резервов организма профессиональных спортсменов-ориентировщиков.

Этот факт возможно объяснить с позиции того, что изменения, наблюдаемые в организме испытуемых в ответ на специфические требования по реализации многократно повторяющейся двигательной задачи, как и для многих других физико-химических факторов, происходят на всех уровнях организма. Адекватное снижение напряженности регуляторных систем, усиление вагусной активности на протяжении курса тренингов по решению сложных двигательных задач с биоуправлением на стабилметрической платформе, в данном случае, по нашему мнению, может способствовать повышению уровня эффективности системы контроля заданной позы. При этом, успешность выполнения двигательных

когнитивных тестов на стабилметрической платформе, в том числе, связана с изменением вегетативного статуса испытуемых спортсменов. Полученные в настоящем исследовании данные могут быть использованы при подборе внутренировочных способов повышения эффективности спортивной деятельности у высококвалифицированных спортсменов.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Семидневный тренинг с БОС управлением на стабилметрической платформе приводил к значимому увеличению таких временных показателей ВСР, как SDNN – на 8,9 % ($p<0,01$), RMSSD – на 42,3 % ($p<0,05$), pNN50 – на 77,1 % ($p<0,05$), CV – на 25,3 % ($p<0,01$), а также снижению ЧСС на 10,5 % ($p<0,05$), что свидетельствует об увеличении функциональных возможностей организма спортсменов, усилении вагусных влияний на сердечный ритм.
2. Результаты геометрического анализа показали, что БОС по опорной реакции приводит к достоверному увеличению значений показателя моды кардиоинтервалов на 9,7 %, и увеличению вариационного размаха гистограммы кардиоинтервалов на 21,4 %, а также снижению значений амплитуды моды на 19,2 % и индекса напряжённости регуляторных систем организма на 29,6 % ($p<0,05$), что свидетельствует об улучшении адаптационных возможностей организма испытуемых спортсменов под влиянием такого типа биоуправления.
3. Анализ спектральных компонентов сердечного ритма у спортсменов-ориентировщиков после 7-дневного тренинга с БОС управлением показал значимое увеличение TP на 36 %, LF – на 37,7 %, HF – на 88,2 %, а также снижение LF/HF на 28,2 % ($p<0,05$), которые свидетельствуют об увеличении общей вариабельности сердечного ритма, активизации парасимпатического контура регуляции, увеличении функциональных возможностей и резервов организма испытуемых спортсменов.

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

Исследование выполнено в рамках поддержанного ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет имени В. И. Вернадского» гранта № АААА-А20-120012090164-8

Список литературы

1. Лях Ю. С. Нейромережевий аналіз показників стабілометрії в діагностиці функціональних станів людини / Ю. С. Лях, Ю. Г. Вихованець // Український журнал телемедицини та медичної телематики. – 2011. – Т. 9, № 2. – С. 155–160.
2. Wheat A. L. Biofeedback of heart rate variability and related physiology: A critical review / A. L. Wheat, K. T. Larkin // Applied psychophysiology and biofeedback. – 2010. – Vol. 35, № 3. – P. 229–242.
3. Tobaldini E. Heart rate variability in normal and pathological sleep / E. Tobaldini, L. Nobili, S. Strada [et al.] // Frontiers in physiology. – 2013. – Vol. 4, Art. 294. – P. 1–11.
4. Prinsloo G. E. The effect of short duration heart rate variability (HRV) biofeedback on cognitive performance during laboratory induced cognitive stress / G. E. Prinsloo, H. L. Rauch, M. I. Lambert [et al.] // Applied Cognitive Psychology. – 2011. – Vol. 25, № 5. – P. 792–801.

5. Nunan D. A quantitative systematic review of normal values for short-term heart rate variability in healthy adults / D. Nunan, G. R. H. Sandercock, D. A. Brodie // *Pacing and clinical electrophysiology*. – 2010. – Vol. 33, № 11. – P. 1407–1417.
6. Прекина В. И. Препараты метаболического действия в комплексной терапии церебροкардиального синдрома при ишемическом инсульте: монография [Электронный ресурс] / В. И. Прекина, О. Г. Самолькина. – Академия Естествознания, 2014. – URL: <https://www.monographies.ru/book/view?id=261> (дата обращения 20. 04. 2020).
7. Flatt A. Improving HRV data interpretation with the coefficient of variation [Электронный ресурс]. – 2017. – URL: <https://elitehrv.com/improving-hrv-data-interpretation-coefficient-variation> (дата обращения 23. 04. 2020).
8. Худякова Л. А. Исследование variability сердечного ритма с помощью статических и геометрических методов / Л. А. Худякова, А. И. Багатенкова, Д. М. Гончарова [и др.] // *Вісник НТУУ “КПІ”. Серія Приладобудування* – 2017. – Вип. 53 (1). – С. 95–103.
9. Теплухин Е. И. Влияние физических упражнений на сердечно-сосудистую систему студентов СГУГиТ / Е. И. Теплухин, В. И. Колесников, О. О. Крыжановская // *Интерэкспо Гео-Сибирь*. – 2017. – Т. 6, № 2. – С. 120–122.
10. Stratton G. Youth soccer: From science to performance / G. Stratton, T. Reilly, M. Williams, D. Richardson. – Routledge, 2004. – 229 pp.
11. Зиматкина О. С. Метод диагностики соматоформной вегетативной дисфункции у детей: инструкция по применению / О. С. Зиматкина, С. А. Ляликов, С. А. Игумнов. – Минск: УО «Гродненский государственный медицинский университет», ГУ «Республиканский научно-практический центр психического здоровья», 2012. – 12 с.
12. Дмитриева С. Л. Variability сердечного ритма на различных этапах гестационного процесса / С. Л. Дмитриева, С. В. Хлыбова, В. И. Циркин, Г. Н. Ходырев. – Киров: КГМА, КОКПЦ, 2013. – 124 с.

HEART RATE VARIABILITY IN HIGHLY SKILLED ORIENTEERING ATHLETES WHEN SOLVING COMPLEX MOTOR TASKS

Biryukova E. A., Yarmolyuk N. S., Mishin N. P., Medjytova A. R., Tkach E. S., Kasyanova E. O.

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

Currently, the problem of improving the quality of the training process in both professional and novice athletes is a priority for experts in the medical and biological support of sports all over the world. For these purposes, various biofeedback procedures, including the method of solving specialized motor-cognitive tasks on the stabilometric platform [1], have been actively used in recent years as extra-training means to improve sports performance.

At the same time, we should note that one of the most informative biological signals that allow to judge about the change in the functional state of the body of the tested athletes in the process of sports training is the dynamics of heart rate variability (HRV) [2].

HRV analysis is widely used as a non-invasive and reliable tool for assessment of vegetative control of human cardiovascular system [3]. Numerous literature sources confirm the prospect of using this method for the purposes of sports physiology [4].

However, changes in HRV in highly qualified athletes when solving complex motor and cognitive tasks, as of today, still remain unstudied.

The aim of the present study was to assess changes in heart rate variability in highly qualified orienteering athletes when solving complex coordination tasks on biocontrol of a virtual object using a stabilometric platform ST-150.

Seven days training with biofeedback control on the stabilometric platform resulted in a significant increase of such HRV temporal indices as SDNN – by 8,9 % ($p < 0,01$), RMSSD – by 42,3 % ($p < 0,05$), pNN50 – by 77, 1 % ($p < 0,05$), CV – by 25.3 % ($p < 0,01$), as well as heart rate reduction by 10.5 % ($p < 0,05$), which indicates an increase in functional capabilities of the athletes' bodies, strengthening vagus effects on cardiac rhythm.

The results of geometrical analysis have shown that biofeedback according to reference reaction leads to reliable increase of values of index of mode of cardiointervals by 9,7 % and increase of variation range of histogram of cardiointervals by 21,4 % as well as decrease of values of mode amplitude by 19,2 % and tension index of regulatory systems of the body by 29,6 % ($p < 0,05$), which testifies to improvement of adaptation possibilities of the body of tested sportsmen under the influence of this type of biocontrol.

Analysis of spectral components of heart rhythm in orientation athletes after 7-day training with biofeedback control has shown significant increase in TP by 36 %, LF – by 37,7 %, HF – by 88,2 % as well as decrease in LF/HF by 28,2 % ($p < 0,05$), which testify to increase in general variability of heart rhythm, activation of parasympathetic regulation circuit, increase in functional capabilities and reserves of tested athletes organism.

Keywords: heart rate variability, stabilometry, biocontrol training, heart rate.

References

1. Lyakh Y. E., Vihovanets Y. G. Neuro-Regenerative Analysis of Stabilometry Indicators in Diagnostics of Functional Status of People, *Ukrainian Journal of Telemedicine and Medical Telematics*, **9**, **2**, 155 (2011).
2. Wheat A. L., Larkin K. T. Biofeedback of heart rate variability and related physiology: A critical review, *Applied psychophysiology and biofeedback*, **35**, **3**, 229 (2010).
3. Tobaldini E., Nobili L., Strada S. [et al.] Heart rate variability in normal and pathological sleep, *Frontiers in physiology*, **4**, **294**, 1 (2013).
4. Prinsloo G. E., Rauch H. L., Lambert M. I. [et al.] The effect of short duration heart rate variability (HRV) biofeedback on cognitive performance during laboratory induced cognitive stress, *Applied Cognitive Psychology*, **25**, **5**, 792 (2011).
5. Nunan D., Sandercock G. R. H., Brodie D. A. A quantitative systematic review of normal values for short-term heart rate variability in healthy adults, *Pacing and clinical electrophysiology*, **33**, **11**, 1407 (2010).
6. Prekina V. I., Samolkina O. G. Metabolic preparations in complex therapy of cerebrocardial syndrome in ischemic stroke: monograph [Electronic resource], *Academy of Natural Sciences* (2014) – URL: <https://www.monographies.ru/ru/book/view?id=261> (accessed 20. 04. 2020).
7. Flatt A. Improving HRV data interpretation with the coefficient of variation [Electronic resource], (2017), URL: <https://elitehrv.com/improving-hrv-data-interpretation-coefficient-variation> (accessed 23.04.2020).

8. Khudyakova L. A., Bagatenkova A. I., Goncharova D. M. [et al] Study of heart rhythm variability using static and geometric methods, *Visnik NTUU "KPL". Series Priladobuduvannya*, **53 (1)**, 95 (2017).
9. Teplukhin E. I., Kolesnikov V. I., Kryzhanovskaya O. O. Influence of physical exercises on cardiovascular system of SGUHT students, *Interexpo Geo-Siberia*, **6, 2**, 120 (2017).
10. Stratton G., Reilly T., Williams M., Richardson D. *Youth soccer: From science to performance*, 229 pp. (Routledge, 2004).
11. Zimatkina O. S., Lyalikov S. A., Igumnov S. A. *Diagnostic method of somatoform vegetative dysfunction in children: instructions for use*, 12 p. (Minsk: Educational Establishment "Grodno State Medical University", National Scientific and Practical Center of Mental Health, 2012).
12. Dmitrieva S. L., Khlybova S. V., Tsirkin V. I., Khodyrev G. N. *Cardiac rhythm variability at different stages of the gestational process*, 124 p. (Kirov: KHMA, КОСРС, 2013).

УДК 633.81:581.8:575

DOI 10.37279/2413-1725-2020-6-4-24-35

МОРФОЛОГО-АНАТОМИЧЕСКАЯ И ГЕНЕТИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА НЕКОТОРЫХ СОРТОВ ЧАБРЕЦА ИЗ КОЛЛЕКЦИИ НИКИТСКОГО БОТАНИЧЕСКОГО САДА

Булавин И. В.

**ФГБУН «Ордена Трудового Красного Знамени Никитский ботанический сад –
Национальный научный центр РАН», Ялта, Россия
E-mail: labgenbns@yandex.ru**

Исследованы морфология и анатомия вегетативных и генеративных органов *Thymus mastichina* сорта Светлячок, *T. striatus* сорта Юбилейный и *T. vulgaris* сорта Фантазия, определено содержание эфирного масла, выявлена генетическая близость между исследуемыми видами методом RAPD-ПЦР. Показана общность строения вегетативных и генеративных органов сортов исследованных видов чабреца селекции НБС. *T. mastichina* (Светлячок) сравнительно с *T. striatus* (Юбилейный) и *T. vulgaris* имел отличительные признаки: стебли фиолетового цвета, листья больших размеров с ровным краем, белый венчик и большее процентное содержание эфирного масла в тканях листа и соцветий в пересчете на сырую массу. *T. striatus* (Юбилейный) и *T. vulgaris* (Фантазия) характеризовались большим морфологическим сходством между собой. Тем не менее, *T. striatus* (Юбилейный) имел большую площадь листовых пластинок и процентное содержание эфирного масла в вегетативных и генеративных органах, сравнительно с *T. vulgaris* (Фантазия). Комплекс количественных и качественных характеристик подтвержден генетическим исследованием на основе RAPD-ПЦР.
Ключевые слова: *Thymus L.*, морфология, анатомия, RAPD-ПЦР, генетическая близость.

ВВЕДЕНИЕ

В исследовательских работах различного профиля, в том числе пищевой промышленности и медицины все больше внимания уделяется лекарственным и ароматическим видам растений семейств Myrtaceae Juss., Lauraceae Juss. и Lamiaceae Martinov [1, 2]. Представители семейства Lamiaceae, являясь космополитами, населяют различные экосистемы. Растения известны наличием железистых структур, ответственных за биосинтез и накопление эфирного масла [3]. Род *Thymus L.* включает около 250 таксонов, произрастающих в Европе, Северо-Западной Африке, Эфиопии, Азии и Гренландии [4], является одним из наиболее важных в семействе Lamiaceae [1, 2], а его представители, обладая ароматическими и лекарственными свойствами, относятся к категории популярных растений с эфирным маслом, входящим в десятку лучших в мире [5, 6]. Кроме того, отмечаются декоративные свойства чабрецов при их использовании в ландшафтном дизайне [7]. В связи с вышеизложенным, проводятся исследования морфолого-анатомических характеристик чабрецов различных видов и сортов [8],

биохимического состава их эфирных масел с целью использования в медицине, парфюмерии и косметике [9], поддерживается селекционный процесс [10] для сохранения определенных генотипов и их последующей мультипликации, проводятся исследования в культуре *in vitro* [11], а также осуществляется генетический анализ, который позволяет определить уникальный популяционный генетический состав, отличающий растения в рамках своей группы, установить способность адаптироваться к меняющимся условиям среды [6]. Географическое распространение, факторы окружающей среды, генетические вариации являются определяющими при формировании внешнего облика растений [12]. В литературе акцентируется внимание на значительной морфологической вариабельности многих видов рода *Thymus* и отсутствии четких диагностических характеристик [4], что зачастую приводит к ошибкам при идентификации как живых растений, так и семян [13].

В коллекции Никитского ботанического сада (НБС) насчитывается пять сортов чабреца: *T. mastichina* L. (Светлячок), *T. citriodorus* Schreb. (Silver Queen), *T. striatus* Vahl. (Юбилейный), *T. vulgaris* L. (Фантазия, Ялос) [14]. Для дальнейшего использования растений необходимо всестороннее изучение сортов. Поэтому целью исследования был сравнительный морфолого-анатомический анализ органов растений, определение содержания эфирного масла и проведение RAPD-анализа для установления генетической близости.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В качестве растительного материала были выбраны сорта чабреца Светлячок (*T. mastichina*), Юбилейный (*T. striatus*) и Фантазия (*T. vulgaris*), полученные путем свободного опыления в НБС (рис. 1).

Морфологию вегетативных органов изучали при помощи стереомикроскопа SMZ 460 (Nikon, Китай). Для исследования анатомии, срезы изготавливали на замораживающем микротоме МЗ-2 (Харьков, Украина), окрашивали раствором метиленовой сини и исследовали с использованием светового микроскопа CX 41 (Olympus, Япония), оснащенного цифровой камерой SC 50 и программным обеспечением CellSens Imaging Software версии 1.17. Эфирные масла извлекали методом гидродистилляции на аппаратах Гинзберга [15] с последующим измерением объемов (дата сбора растений – май 2020 г.). ДНК выделяли из молодых неповрежденных листьев при помощи ЦТАБ-метода с добавлением 2% поливинилпирролидона (ПВП). ПЦР проводили с применением набора BioMaster HS-Taq PCR (Биолабмикс, Российская Федерация) в соответствии с протоколом производителя. Для RAPD-анализа использовали олигонуклеотидные праймеры – ОРА1 5'-CAGGCCCTTC-3', ОРА2 5'-TGCCGAGCTG-3', ОРА3 5'-AGTCAGCCAC-3', ОРА4 5'-AATCGGGCTG-3', ОРА5 5'-AGGGGTCTTG-3', ОРА6 5'-GGTCCCTGA-3'. ПЦР проводили в термоциклере C1000™ Thermal Cycler (Bio-Rad, Сингапур). Условия реакции были следующими: начальная денатурация – 95 °С, 5 мин; денатурация 94 °С, 30 с; отжиг – 32 °С, 30 с; элонгация – 72 °С, 30; конечная элонгация 72 °С, 5 мин (30 циклов). Амплифицированные фрагменты анализировали с помощью электрофореза в 1,5 % агарозном геле с 1 × TBE

буфером при 85 В в течение 1 ч с использованием универсального источника питания PowerPac™ (Bio-Rad, Сингапур). Агарозный гель визуализировали с помощью системы гельдокументации E-box (Vilber Lourmat, Франция). Статистический анализ включал составление бинарных матриц по каждому из праймеров, в которых отмечалось «присутствие» (1) или «отсутствие» (0) фрагментов с одинаковой молекулярной массой на электрофореграмме. На основании суммарной матрицы RAPD была определена генетическая близость между исследуемыми образцами. Для построения дендрограммы применяли метод невзвешенного парно-группового кластерного анализа с арифметическим усреднением (UPGMA) с использованием программы PAST [16]. Для более точной статистической оценки вероятностного распределения был использован анализ бутстрэппинг с числом реплик, равным 1000. Процент повторов, при котором каждый узел поддерживается после многократной генерации выборок, отображается на дендрограмме в соответствующем узле.



Рис. 1. Сегменты молодых побегов сортов чабреца Светлячок (а), Юбилейный (б) и Фантазия (в).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Исследованы морфология и анатомия вегетативных и генеративных органов *T. mastichina* (Светлячок), *T. striatus* (Юбилейный) и *T. vulgaris* (Фантазия). Стебли имели округлую или четырехугольную форму, по цвету были фиолетовые (*T. mastichina* (Светлячок)) и желто-зеленые (*T. striatus* (Юбилейный), *T. vulgaris*

(Фантазия)), одревесневающие со временем в нижней части. На эпидерме молодых стеблей обнаруживались кроющие трихомы и пельтатные железки. Листья (рис. 2) супротивные, короткочерешковые, простые, цельнокрайние, узкояйцевидные с острой верхушкой и низбегающим основанием, отличались наличием скрученности по краям (*T. striatus* (Юбилейный), *T. vulgaris* (Фантазия)), а так же размерами. Наибольшая площадь листа была характерна для *T. mastichina* (Светлячок) и составляла $0,1 \pm 0,007 \text{ см}^2$, остальные виды имели несколько меньшие но близкие значения: *T. striatus* (Юбилейный) – $0,037 \pm 0,003 \text{ см}^2$ и *T. vulgaris* (Фантазия) – $0,031 \pm 0,002 \text{ см}^2$.

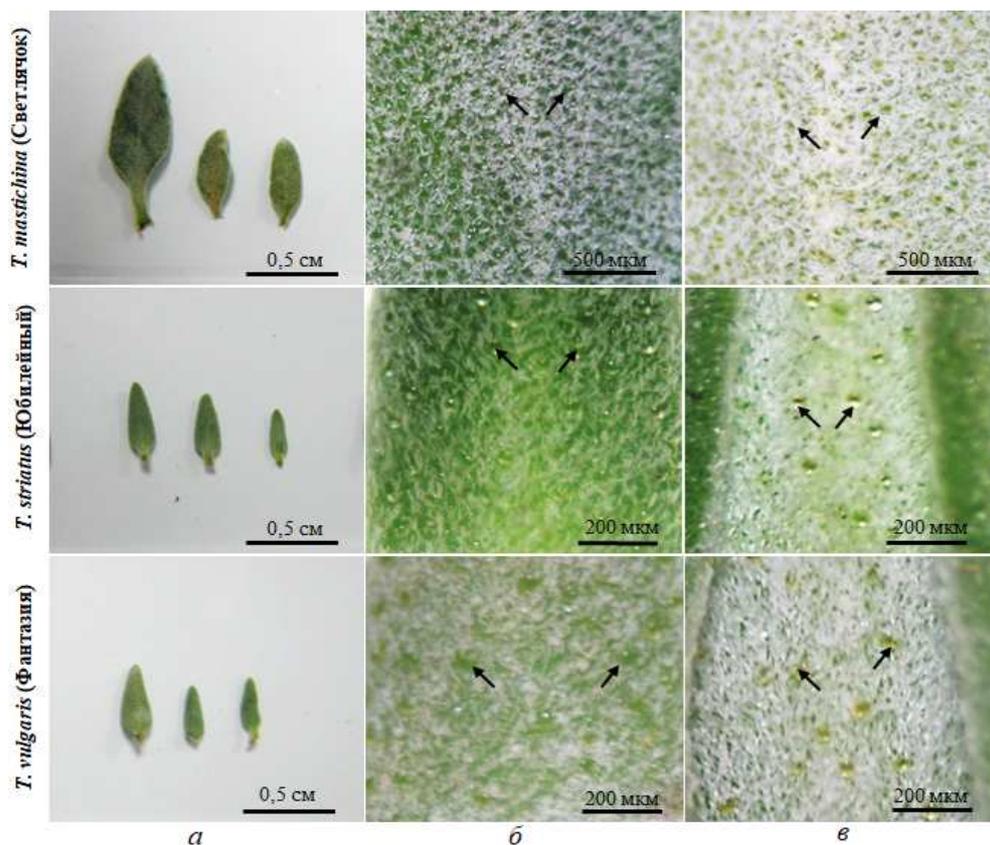


Рис. 2. Морфология листа исследуемых видов чабреца: *a* – листья (общий вид), *б* – верхняя сторона листа, *в* – нижняя сторона листа (стрелками показаны пельтатные железки).

С обеих сторон листа обнаруживали кроющие трихомы и пельтатные железки. Последние находились в небольших углублениях, образованных путем инвагинации клеток эпидермы вглубь листа, за счет чего формировалась волнистая поверхность. Чашечки исследуемых видов так же имели кроющие

трихомы и железистые структуры, которые качественно отличались в зависимости от вида: у *T. mastichina* (Светлячок) выявляли в основном пельтатные железки, у *T. striatus* (Юбилейный) и *T. vulgaris* (Фантазия) – головчатые и пельтатные. Цветки зигоморфные, у *T. mastichina* (Светлячок) белые, у *T. striatus* (Юбилейный) и *T. vulgaris* (Фантазия) – сине-фиолетовые.

Анатомически (рис. 3) стебли и листья разных видов имели общий план строения. В стебле под эпидермой с кутикулой располагались несколько слоев колленхимы, с наибольшим ее развитием в углах (4–6 слоев). Ниже определялись несколько слоев паренхимы, проводящие элементы, которые формировали сплошное кольцо. В средней части стебля, в зависимости от места среза, обнаруживалась либо сердцевина, либо полость. Листовые пластинки характеризовались наличием эпидермальных клеток с кутикулой и дифференцированным мезофиллом. В центральной жилке четко выявляли элементы ксилемы и флоэмы, которые с нижней стороны были окружены тяжами механической ткани (склеренхимы), имевшей наибольшее развитие у *T. striatus* (Юбилейный) и *T. vulgaris* (Фантазия). У сорта Светлячок (*T. mastichina*) к центральной жилке примыкала колленхима. В сростнолистных чашечках под эпидермой различали рыхлый мезофилл, в котором выявляли проводящие пучки.

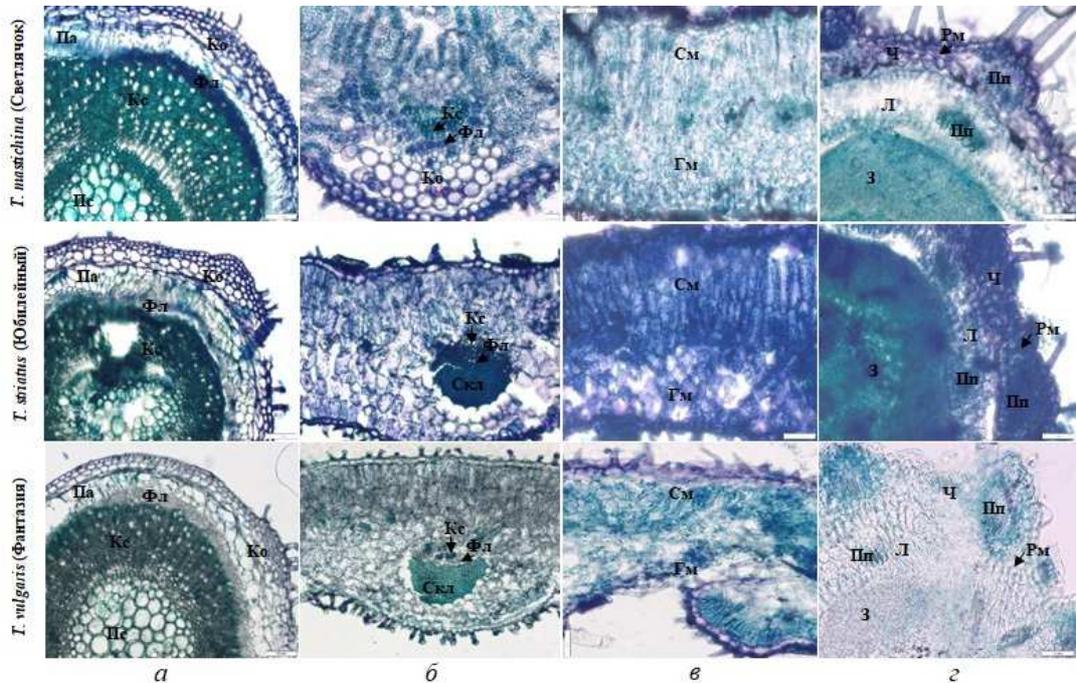


Рис. 3. Фрагменты поперечных срезов вегетативных и генеративных органов чабреца: *а* – стебель, *б* – центральная часть листа, *в* – мезофилл, *г* – цветок; Ко – колленхима, Па – паренхима, Фл – флоэма, Кс – ксилема, Скл – склеренхима, Пс – паренхима сердцевины, См – столбчатый мезофилл, Гм – губчатый мезофилл, Ч – чашечка, Л – лепесток, З – завязь, Рм – рыхлый мезофилл, Пп – проводящий пучок.

Исследования локализации включений с эфирным маслом в стебле показали их наличие, в основном, в колленхиме и паренхиме. В листе включения выявляли в клетках эпидермы, губчатом и столбчатом мезофилле. В цветках наибольшее количество включений находилось в тканях завязи. Размеры включений варьировали в зависимости от органа и сорта растения (табл. 1).

Таблица 1
Площадь включений с эфирным маслом в тканях органов некоторых сортов чабреца (мкм²)

Орган/ Сорт	M±m		
	Стебель	Лист	Цветок
<i>T. mastichina</i> (Светлячок)	3,91±1,05	21,2±1,32	3,14±0,34
<i>T. striatus</i> (Юбилейный)	4,92±1,22	6,52±1,06	5,23±0,72
<i>T. vulgaris</i> (Фантазия)	3,76±0,35	20,23±1,27	4,48±0,62

Наибольшая их площадь выявлена в листьях *T. mastichina* (Светлячок). Для остальных исследуемых видов отмечена единичность и невысокая частота встречаемости включений, как и в стеблях. Во внутренних структурах цветка включения с эфирным маслом характеризовались меньшими размерами, однако их встречаемость была выше. Данные анатомии подтверждаются исследованиями содержания эфирного масла в вегетативных и генеративных органах (табл. 2), где в соцветиях обнаружено наибольшее их количество.

Таблица 2
Содержание эфирного масла в органах исследуемых сортов чабреца (сырая масса)

Орган/ Сорт	Содержание эфирного масла (%) / 100 г	
	Лист	Соцветия
<i>T. mastichina</i> (Светлячок)	1,18	1,82
<i>T. striatus</i> (Юбилейный)	0,21±0,02	0,45±0,01
<i>T. vulgaris</i> (Фантазия)	0,1±0,01	0,41±0,03

Генетический анализ показал, что использованные нами шесть праймеров RAPD генерировали 81 ампликон с размером в основном от 200 до 1500 п.н. Количество полос в выбранных праймерах варьировало от 3 (ОРА 5) до 7 (ОРА 1, 3, 6). Из дендрограммы (рис. 4) видно, что *T. mastichina* (Светлячок) образовывал отдельный кластер. Значение его генетического сходства с *T. striatus* (Юбилейный) составило 0,72, а с *T. vulgaris* (Фантазия) – 0,78. Сходство между *T. striatus* (Юбилейный) и *T. vulgaris* (Фантазия) равнялось 0,86.

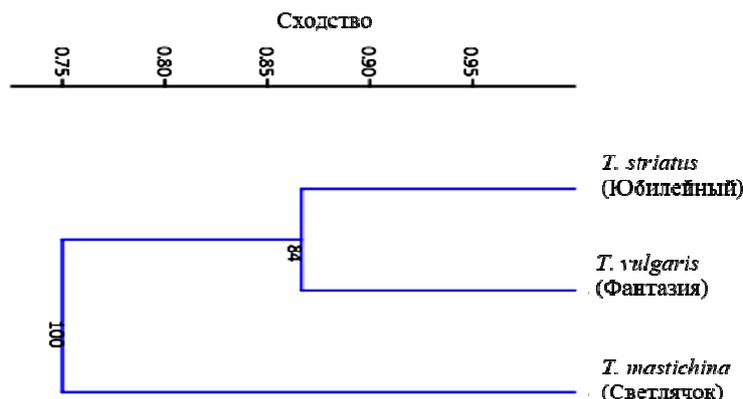


Рис. 4. Дендрограмма генетического сходства, построенная по результатам RAPD-ПЦР.

Исследованные нами сорта *T. mastichina* (Светлячок), *T. striatus* (Юбилейный) и *T. vulgaris* (Фантазия), полученные в НБС путем свободного переопыления, характеризовались общностью строения вегетативных и генеративных органов. Совокупность морфолого-анатомических признаков (эпидермис с кутикулой, наличие кроющих трихом и железок, хорошо развитых механических тканей, небольшие листья) свидетельствует о ксероморфности данных сортов чабреца.

На фоне общих характеристик следует отметить отличительную морфологию и анатомию *T. mastichina* (Светлячок). У данного сорта стебли имели фиолетовую окраску, цветки – белую. Форма стебля не оценивалась нами как отличительный признак, поскольку из литературных данных известна ее изменчивость в зависимости от условий влагообеспеченности растений [17]. Листовые пластинки характеризовались большей опушенностью, площадью и отсутствием скрученности по краю, наличием колленхимы в области центральной жилки. *T. striatus* (Юбилейный) и *T. vulgaris* (Фантазия) по морфолого-анатомическим признакам были более близкими, однако сорт Фантазия (*T. vulgaris*) имел меньшую площадь листовой пластинки и характеризовался сниженным процентным содержанием эфирного масла сравнительно с сортом Юбилейный (*T. striatus*). Нами показано, что эфирное масло у исследованных растений накапливается во всех надземных органах, однако его количество органо-, и видоспецифично. Его наибольший процент выявлено в листьях и соцветиях *T. mastichina* (Светлячок), затем у *T. striatus* (Юбилейный) и *T. vulgaris* (Фантазия). В литературе для *T. mastichina*, произрастающего в Испании в июле месяце указывается вариация процентного содержания эфирного масла от 1,8 до 2,6 % [18], для *T. striatus* var. *interruptus* произрастающего в Турции – 0,39 %; 0,09 %; 1,27 %; 0,37 % в зависимости от месяца (май, июнь) и года сбора растений [19], для *T. striatus* Южной Албании в июне месяце – 2,2 % [20], и *T. vulgaris* собранного в июле в Румынии – 1,25 % [21]. Таким образом процентное содержание эфирного масла не только органо-, и видоспецифично, но также варьирует в зависимости от региона произрастания

растений и месяца сбора. Более того, по данным литературы [22], у одного и того же вида отмечается тенденция к уменьшению содержания эфирного масла в зависимости от возраста – более зрелые растения имеют меньший выход.

Полученные нами морфолого-анатомические и биохимические данные хорошо согласуются с генетическим анализом и отдельной кластеризацией *T. mastichina* сорта Светлячок, *T. striatus* (Юбилейный) и *T. vulgaris* (Фантазия), являясь разными сортами и видами, характеризовались большим генетическим сходством.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Нами показана общность строения вегетативных и генеративных органов сортов разных видов чабреца селекции НБС. Сходство проявлялось в наличии кутикулы, кроющих трихом и железистых структур на эпидерме вегетативных органов, форме листовых пластинок, анатомии стебля, листа и чашечки, наличии включений с эфирным маслом во внутренних тканях. В то же время, *T. mastichina* (Светлячок) имел отличительные признаки: стебли фиолетового цвета, листья больших размеров с ровным краем, белый венчик и большее процентное содержание эфирного масла в тканях листа и соцветий в пересчете на сырую массу *T. striatus* (Юбилейный) и *T. vulgaris* (Фантазия) характеризовались большим морфологическим сходством между собой. Тем не менее, *T. striatus* (Юбилейный) имел большую площадь листовых пластинок и процентное содержание эфирного масла в вегетативных и генеративных органах, сравнительно с *T. vulgaris* (Фантазия). Комплекс количественных и качественных характеристик подтвержден генетическим исследованием на основе RAPD-ПЦР.

БЛАГОДАРНОСТЬ

Автор благодарит научного сотрудника лаборатории ароматических и лекарственных растений – С.А. Феськова за предоставленный растительный материал.

Исследования выполнены в рамках Государственного задания №0829-2019-0038 ФГБУН «НБС-ННЦ РАН» на базе уникальной научной установки «Научный центр биотехнологии, геномики и депонирования растений» (УНУ «ФИТОБИОГЕН»).

Список литературы

1. Morales R. The history, botany and taxonomy of the genus *Thymus* / R. Morales; Eds. E. Stahl-Biskup, F. Saez // *Thyme: the genus Thymus*. – London: Taylor & Francis, 2002. – P. 1–43.
2. Karaca M. Microsatellites for genetic and taxonomic research on thyme (*Thymus L.*) / M. Karaca, G. İncea, A. Aydın, S.Y. Elmasulu, K. Turgut // *Turk. J. Biol.* – 2015. – Vol. 39. – P. 147–159. DOI:10.3906/biy-1406-20
3. Ascensao L. *Plectranthus madagascariensis* – morphology of the glandular trichomes, essential oil composition, and its biological activity / L. Ascensao, A.C. Figueiredo, J.G. Barroso, L.L. Pedro, J. Schripsema, S.G. Deans, J.C.J. Scheffer // *Internat. J. Plant Sci.* – 1998. – Vol. 159. – P. 31–38. DOI: 10.1086/297518

4. Bartolucci F. Typification of names and taxonomic notes within the genus *Thymus* L. (Lamiaceae) / F. Bartolucci, L. Peruzzi, N. Passalacqua // *Taxon*. – 2013. – Vol. 62, No 3. – P. 1308–1314. DOI: 10.12705/626.1
5. Rahimmalek M. Genetic variability and geographic differentiation in *Thymus daenensis* subsp. *daenensis*, an endangered medicinal plant, as revealed by inter-simple sequence repeat (ISSR) markers / M. Rahimmalek, B. Bahreininejad, M. Khorrami, S.B.E. Tabatabaei // *Biochem. Genet.* – 2009. – Vol. 47. – P. 831–842. DOI: 10.1007/s10528-009-9281-z.
6. Dalir M. Morphological, molecular and phytochemical variation in some thyme genotypes / M. Dalir, A. Safarnejad // *J. Medicinal Plants and By-products*. – 2017. – Vol. 1. – P. 41–52.
7. Lawrence B.M. The genus *Thymus* as a source of commercial products / B.M. Lawrence, A.O. Tucker; Eds. E. Stahl-Biskup, F. Saez // *Thyme, the genus Thymus*. – London: Taylor & Francis, 2002. – P. 252–262.
8. Razaei M. Investigation of morphologic variatio and essence value in several thyme native species (*Thymus* sp.) of Iran / M. Razaei, A. Safarnejad, M. Arab, S.B.L. Alamdari, M. Dalir // *J. Hortic. Sci.* – 2016. – Vol. 30, No 3. – P. 383–394. DOI: 10.22067/jhorts4.v30i3.30435
9. Палий А. Е. Сравнительный анализ летучих соединений эфирного масла и этанольного экстракта чабреца бороздчатого (*Thymus striatus* Vahl.) / А. Е. Палий, Л. А. Хлыпенко, В. Н. Ежов, Б. А. Виноградов // *Труды Никит. ботан. сада*. – 2011. – Т.133. – С. 159–166.
10. Carlen C. Breeding and cultivation of medicinal plants / C. Carlen; Eds. G. Bagetta, M. Cosentino, M. T. Corasaniti, S. Sakurada // *Herbal medicines. Development and validation of plant-derived medicines for human health*. – Boca Raton: CRC Press, 2012. – P. 79–91.
11. Ozudogru E. A. *In vitro* propagation from young and mature explants of thyme (*Thymus vulgaris* and *T. longicaulis*) resulting in genetically stable shoots / E. A. Ozudogru, E. Kaya, E. Kirdok, S. Issever-Ozturk // *In Vitro Cell. Dev. Biol. Plant.* – 2011. – Vol. 47. – P. 309–320. DOI 10.1007/s11627-011-9347-6
12. Kutucalan D. A micromorphological study on the genus *Thymus* Lamiaceae in Turkey / D. Kutucalan // *Diss. Dr. Sci. (Biol.)*. – Ankara, 2019. – 91 p.
13. Аль Карави Х. Особенности роста, развития и биохимического состава хозяйственно значимых представителей рода *Thymus* L. в условиях нечерноземной зоны Российской Федерации / Х. Аль Карави // *Дис. канд. биол. наук*. – Москва, 2018. – 158 с.
14. Марко Н. В. Аннотированный каталог ароматических и лекарственных растений коллекции Никитского ботанического сада / Н. В. Марко, Л. А. Логвиненко, О. М. Шевчук, С. А. Феськов. – Симферополь: ИТ «АРИАЛ», 2018. – 176 с.
15. Исиков В. П. Интродукция и селекция ароматических и лекарственных растений: методологические и методические аспекты / В. П. Исиков, В. Д. Работягов, Л. А. Хлыпенко, Л. Е. Логвиненко, Л. А. Логвиненко, С. П. Кутько, Н. Н. Бакова, Н. В. Марко. – Ялта: НБС-НИЦ, 2009. – 112 с.
16. Hammer O. PAST: Paleontological statistics software package for education and data analysis / O. Hammer, D. A. T. Harper, P. D. Ryan // *Palaeontol. Electron.* – 2001. – Vol. 4, No 1. – С. 1–9.
17. Abd Elbar O. H. Effect of putrescine application on some growth, biochemical and anatomical characteristics of *Thymus vulgaris* L. under drought stress / O. H. Abd Elbar, R. E. Farag, S. A. Shehata // *Ann. Agri. Sci.* – 2019. – Vol. 64. – P. 129–137. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.aoas.2019.10.001>.
18. Cutillas A. B. *Thymus mastichina* L. essential oils from Murcia (Spain): composition and antioxidant, antienzymatic and antimicrobial bioactivities / A. B. Cutillas, A. Carrasco, R. Martinez-Gutierrez, V. Tomas, J. Tudela // *PLoS ONE*. – 2018. – Vol. 13, No 1. – e0190790. DOI: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0190790>
19. Husnu Can Baser K. Essential oils of *Thymus striatus* Vahl var. *interruptus* Jalas from Turkey / K. Husnu Can Baser, M. Kurkuoglu, G. Tümen // *J. Essent. Oil Res.* – 2011. – Vol. 11, No 2. – P. 253–256. DOI: 10.1080/10412905.1999.9701125
20. Kontogiorgis C. Chemical composition and antioxidant activity of the essential oils isolated from Greek and Albanian *Thymus* species / C. Kontogiorgis, E.-M. Mpompou, V. Papajani-Toska, D. Hadjipavlou-Litina, D. Lazari // *J. Chem. Pharm. Res.* – 2016. – Vol. 8, No 9. – P. 180–184.
21. Borugă O. *Thymus vulgaris* essential oil: chemical composition and antimicrobial activity / O. Borugă, C. Jianu, C. Mișcă, I. Goleț, A.T. Gruia, F.G. Horhat // *J. Med. Life*. – 2014. – Vol. 7, No 3 (Spec Iss.). – P. 56–60.

22. Hudaib M. GC/MS evaluation of thyme (*Thymus vulgaris* L.) oil composition and variations during the vegetative cycle / M. Hudaib, E. Speroni, A.M. Di Pietra, V. Cavrini // J. Pharm. Biom. Anal. – 2002. – Vol. 29. – P. 691–700. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0731-7085\(02\)00119-X](https://doi.org/10.1016/S0731-7085(02)00119-X)

A MORPHOLOGY, ANATOMY AND GENETIC CHARACTERIZATION OF SOME THYME CULTIVARS FROM THE NIKITA BOTANICAL GARDEN COLLECTION

Bulavin I. V.

*FSFIS “The Nikita Botanical Gardens – National Scientific Center of the RAS”, Nikita, Yalta, Russian Federation
E-mail: labgennbs@yandex.ru*

In the research works of various fields, including food industry and medicine, a great attention is paid to the medicinal and aromatic plants of the families Myrtaceae Juss., Lauraceae Juss. and Lamiaceae Martinov. *Thymus* L. is one of the most important genera of the Lamiaceae family, with aromatic and medicinal properties, it is one of the most popular plants with an essential oil, one of the ten best ones in the world. In the Nikita Botanical Gardens (NBG) on the *ex situ* collection plots, besides the introduced plants, there are thyme cultivars of the NBG selection. For further plant usage, a cultivar comprehensive study is necessary. Therefore, the objective of the research was a comparative morphological, anatomical analysis, an essential oil amount determination and a genetic similarity evaluation.

T. mastichina (L.) L. cv. Svetliachok, *T. striatus* Vahl. cv. Jubileiniy and *T. vulgaris* L. cv. Fantazia (NBG selection) were used. The leaf morphology was studied under the stereomicroscope, the organ sections were obtained on a freezing microtome, stained with methylene blue and examined under a light microscope, an essential oil was extracted using Ginsberg devices, DNAs were isolated with CTAB-method, genetic similarity was evaluated with RAPD-PCR on the basis of binary matrices in the PAST program.

A comparative morphological and anatomical analysis of the cultivars revealed the common structure of vegetative and generative organs. The differences were established in the stem color, the leaf blade sizes, the type of mechanical tissue under midrib, the area of inclusions with essential oil and its total amount. The analysis of a genetic similarity showed that *T. mastichina* cv. Svetliachok formed a separate cluster, cultivars of *T. striatus* (Jubileiniy) and *T. vulgaris* (Fantazia) were closer.

Keywords: *Thymus* L., morphology, anatomy, RAPD-PCR, genetic similarity.

ACKNOWLEDGEMENT

The author thanks the Researcher of the Laboratory of aromatic and medicinal plants – S. A. Feskov for the plant material provided.

Investigation was performed in the framework of the State Assignment №0829-2019-0038 of the FSFIS “NBG–NSC” and done on the base of the Unique Scientific Installation “Scientific Center of Plant Biotechnology, Genomics and Conservation” of the FSFIS “NBG-NSC”.

References

1. Morales R. The history, botany and taxonomy of the genus *Thymus*, *Thyme: the genus Thymus*, 346 p. (edited by E. Stahl-Biskup, F. Saez. London, Taylor & Francis, 2002).
2. Karaca M., İncea G., Aydin A., Elmasulu S. Y., Turgut K. Microsatellites for genetic and taxonomic research on thyme (*Thymus L.*), *Turk. J. Biol.*, **39**, 147 (2015). DOI:10.3906/biy-1406-20
3. Ascensao L., Figueiredo A. C., Barroso J. G., Pedro L. L., Schripsema J., Deans S. G., Scheffer J. C. J. *Plectranthus madagascariensis* – morphology of the glandular trichomes, essential oil composition, and its biological activity, *Internat. J. Plant Sci.*, **159**, 31 (1998). DOI: 10.1086/297518
4. Bartolucci F., Peruzzi L., Passalacqua N. Typification of names and taxonomic notes within the genus *Thymus L.* (Lamiaceae), *Taxon*, **62(3)**, 1308 (2013). DOI: 10.12705/626.1
5. Rahimmalek M., Bahreininejad B., Khorrami M., Tabatabaei S.B.E. Genetic variability and geographic differentiation in *Thymus daenensis* subsp. *daenensis*, an endangered medicinal plant, as revealed by inter-simple sequence repeat (ISSR) markers, *Biochem. Genet.*, **47**, 831 (2009). DOI: 10.1007/s10528-009-9281-z.
6. Dalir M., Safarnejad A. Morphological, molecular and phytochemical variation in some thyme genotypes, *J. Medicinal Plants and By-products*, **1**, 41 (2017).
7. Lawrence B. M., Tucker A. O. The genus *Thymus* as a source of commercial products, *Thyme, the genus Thymus*, 346 p. (edited by E. Stahl-Biskup, F. Saez. London, Taylor & Francis, 2002).
8. Razaei M., Safarnejad A., Arab M., Alamdari S. B. L., Dalir M. Investigation of morphologic variation and essence value in several thyme native species (*Thymus sp.*) of Iran, *J. Hortic. Sci.*, **30(3)**, 383 (2016). DOI: 10.22067/jhorts4.v30i3.30435
9. Paly A. E., Khlypenko L. A., Ezhov V. N., Vinogradov B. A. Sravnitelnyy analiz letuchikh soyedineniy efirnogo masla i etanolnogo ekstrakta chabretsa borozdchatogo (*Thymus striatus Vahl.*), *Trudy Nikit. botan. sada*, **133**, 159 (2011) (in Russian).
10. Carlen C. Breeding and cultivation of medicinal plants, *Herbal medicines. Development and validation of plant-derived medicines for human health*, 519 p. (edited by G. Bagetta, M. Cosentino, M.T. Corasaniti, S. Sakurada. Boca Raton, CRC Press, 2012).
11. Ozudogru E. A., Kaya E., Kirdok E., Issever-Ozturk S. *In vitro* propagation from young and mature explants of thyme (*Thymus vulgaris* and *T. longicaulis*) resulting in genetically stable shoots, *In Vitro Cell. Dev. Biol. Plant.*, **47**, 309 (2011). DOI 10.1007/s11627-011-9347-6
12. Kutucalan D. A micromorphological study on the genus *Thymus* Lamiaceae in Turkey, Dissertation, 91 p. (Ankara, 2019).
13. Al Karavi H. Osobennosti rosta, razvitiya i biokhimicheskogo sostava khozyaystvenno znachimyykh predstaviteley roda *Thymus L.* v usloviyakh nechernozemnoy zony Rossiyskoy Federatsii, Dissertation, 158 p. (Moscow, 2018) (in Russian).
14. Marko N. V., Logvinenko L. A., Shevchuk O. M., Feskov S. A. Annotirovanny katalog aromatischeskikh i lekarstvennykh rasteniy kolleksii Nikitskogo botanicheskogo sada, 176 p. (Simferopol, IT «ARIAL», 2018) (in Russian).
15. Isikov V. P., Rabotyagov V. D., Khlypenko L. A., Logvinenko L. E., Logvinenko L. A., Kutko S. P., Bakova N. N., Marko N. V. Introduktsiya i selektsiya aromatischeskikh i lekarstvennykh rasteniy: metodologicheskiye i metodicheskiye aspekty, 112 p. (Yalta, NBG-NSC, 2009) (in Russian).
16. Hammer O., Harper D. A. T., Ryan P. D. PAST: Paleontological statistics software package for education and data analysis, *Palaeontol. Electron.*, **4(1)**, 1 (2001).
17. Abd Elbar O. H., Farag R. E., Shehata S. A. Effect of putrescine application on some growth, biochemical and anatomical characteristics of *Thymus vulgaris L.* under drought stress, *Ann. Agri. Sci.*, **64**, 129 (2019). DOI: <https://doi.org/10.1016/j.aos.2019.10.001>.

18. Cutillas A. B., Carrasco A., Martinez-Gutierrez R., Tomas V., Tudela J. *Thymus mastichina* L. essential oils from Murcia (Spain): composition and antioxidant, antienzymatic and antimicrobial bioactivities, *PLoS ONE*, **13(1)**, e0190790 (2018). DOI: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0190790>
19. Husnu Can Baser K., Kurkcuoglu M., Tümen G. Essential oils of *Thymus striatus* Vahl var. *interruptus* Jalas from Turkey, *J. Essent. Oil Res.*, **11(2)**, 253 (2011). DOI: 10.1080/10412905.1999.9701125
20. Kontogiorgis C., Mpompou E.-M., Papajani-Toska V., Hadjipavlou-Litina D., Lazari D. Chemical composition and antioxidant activity of the essential oils isolated from Greek and Albanian *Thymus* species, *J. Chem. Pharm. Res.*, **8(9)**, 180 (2016).
21. Borugă O., Jianu C., Mișcă C., Goleț I., Gruia A. T., Horhat F. G. *Thymus vulgaris* essential oil: chemical composition and antimicrobial activity, *J. Med. Life*, **7(Spec Iss. 3)**, 56 (2014).
22. Hudaib M., Speroni E., Di Pietra A. M., Cavrini V. GC/MS evaluation of thyme (*Thymus vulgaris* L.) oil composition and variations during the vegetative cycle, *J. Pharm. Biom. Anal.*, **29**, 691 (2002). DOI: [https://doi.org/10.1016/S0731-7085\(02\)00119-X](https://doi.org/10.1016/S0731-7085(02)00119-X)

УДК 598.2

ФАУНА ПТИЦ УРОЧИЩА ЛЕОНОВСКИЕ ГОРЫ (ЧЕЛЯБИНСКАЯ ОБЛАСТЬ) – ПЕРСПЕКТИВНОЙ ООПТ РЕГИОНАЛЬНОГО ЗНАЧЕНИЯ

Гашек В. А.¹, Яско Д. А.²

¹Международный аэропорт «Челябинск», Челябинск, Российская Федерация

²Областное государственное учреждение «Особо охраняемые природные территории
Челябинской области», Челябинск, Российская Федерация
E-mail: gashek_va@mail.ru

Впервые приводится информация по орнитофауне урочища Леоновские горы, единственного относительно крупного участка горной лесостепи в Челябинской области. Предварительный список птиц включает 84 вида, из которых 61 достоверно или предположительно гнездящихся. Десять видов, отмеченных на данной территории, внесены в региональную Красную книгу, из них 6 включены в Перечень объектов животного мира, занесенных в Красную книгу Российской Федерации. Еще 1 вид внесен в Приложение 3 к региональной Красной книге. Обобщен материал по фенологии, гнездовой биологии, питанию, динамике численности и лимитирующих факторах могильника *Aquila heliaca* и сапсана *Falco peregrinus*, собранный за более чем 20-летний период наблюдений (1997–2019 гг.). На основании собственных и литературных данных сделан вывод о необходимости придания Леоновским горам статуса комплексного регионального заказника.

Ключевые слова: Леоновские горы, урочище, перспективная особо охраняемая природная территория, комплексный заказник, горная лесостепь, Челябинская область, орнитофауна, могильник *Aquila heliaca*, сапсан *Falco peregrinus*, гнездование, рацион, Красная книга.

ВВЕДЕНИЕ

Урочище Леоновские горы (53°56' с.ш., 59°01' в.д.) представляет собой участок горной лесостепи площадью около 10 тыс. га, расположенный на правом берегу р. Урал в западной части Верхнеуральского района Челябинской области, в 12 км к западу от г. Верхнеуральск (рис. 1). В этом месте наиболее восточные отроги Уральских гор заходят в пределы области [1]. Рассматриваемая территория – единственный относительно крупный (около 10 тыс. га) участок горной лесостепи в Челябинской области, где в пределы области заходят наиболее восточные отроги Уральских гор, простирающиеся с северо-востока на юго-запад на протяжении 17 км: Леоновские горы (наибольшая высота – 667 м над ур. м.), хребет Калактау (наибольшая высота – 667 м над ур. м.), гора Большая (737 м над ур. м.) и ряд сопков, расположенных между Леоновскими горами и хр. Узункыр (там же).

Согласно схеме ботанико-географического районирования Челябинской области [2], рассматриваемая территория включена в состав южного округа Зауральской провинции подзоны южной лесостепи лесостепной зоны и расположена близ границы лесостепной и степной зон. Урочище и его ближайшие окрестности вызывает интерес специалистов из разных направлений биологии.

Флору сосудистых растений урочища изучают с конца 1990-х гг., фауну муравьев и пауков исследовали в 2009 г. Территория была рекомендована для создания природного парка или комплексного ландшафтного заказника [3] и включена в Схему развития и размещения особо охраняемых природных территорий (далее – ООПТ) Челябинской области до 2025 г. [4]. Чередование березовых колков с включениями лиственницы, луговых и лугово-степных сообществ, а также участков петрофитных степей создает значительную пестроту растительных ассоциаций. По итогам инвентаризации флоры перспективной ООПТ был составлен список сосудистых растений, 27 из которых внесены в Красную книгу Челябинской области, 2005 [1].

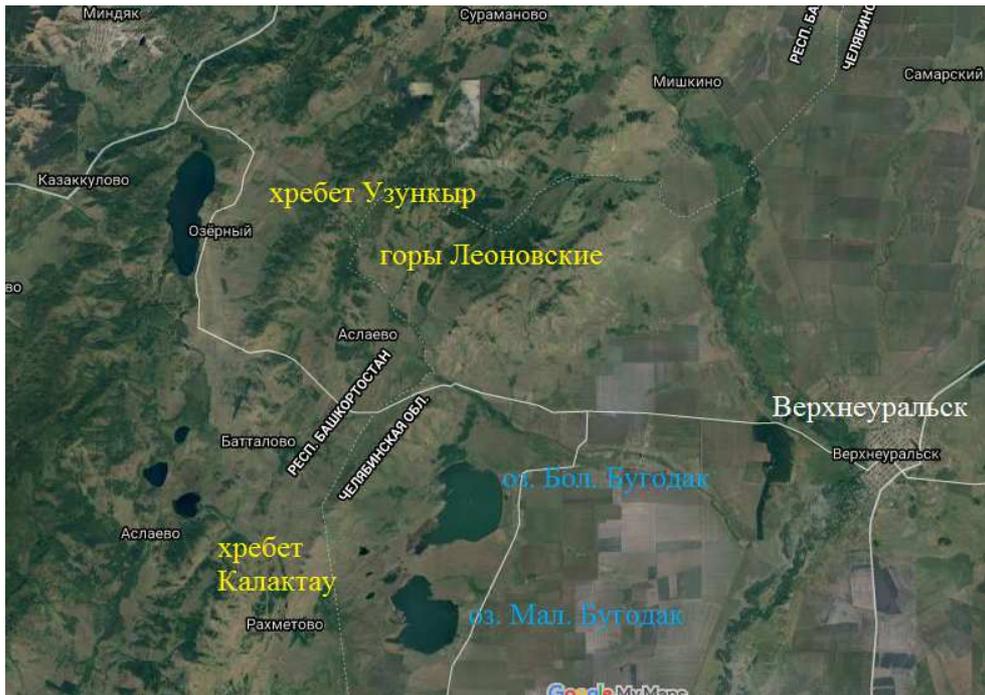


Рис. 1. Карта-схема территории проектируемой ООПТ «Леоновские горы».

В свою очередь пестрота растительных ассоциаций и богатство флористического состава обеспечивает высокое разнообразие энтомо- и арахнофаун [5, 6].

Озера Бол. и Мал. Бугодак, расположенные в 10–13 км к юго-западу от Леоновских гор, также представляют собой значительный интерес в качестве объектов охраны: здесь было отмечены несколько видов рукокрылых [7], в том числе внесенных в Красную книгу Челябинской области [8] и Приложение 3 к ней (Перечень объектов животного и растительного мира, нуждающихся в особом внимании к их состоянию в природной среде). На берегах оз. Мал. Бугодак отмечено произрастание редких и охраняемых растений [1]. На острове оз. Мал. Бугодак в период 1997–2004 гг. существовала крупная колония черноголового

хохотуна [9–11]. Статус ООПТ (памятника природы регионального значения) из этих двух водоемов имеет только оз. Бол. Бугодак.

Большой интерес в качестве объекта охраны представляет болотный массив, расположенный между оз. Мал. Бугодак и хр. Калактау. На одном его участке (в 3 км к западу от пос. Мал. Бугодак) обнаружено мелкоосоково-гипновое сообщество, в состав которого входят виды растений, внесенные в региональную Красную книгу, а также другие редкие виды, заслуживающие охраны. Основным фактором, угрожающим существованию редких видов в этом уникальном местообитании, является осушительная мелиорация, которой подверглась часть болотного массива [1].

Несмотря на своеобразие орнитофауны Леоновских гор и гнездование здесь редких и охраняемых видов птиц, специальных работ, посвященных птицам урочища, к сожалению, до сих пор не было опубликовано. Целью настоящей работы мы ставили восполнение этого пробела.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Исследования орнитофауны урочища Леоновские горы носили фрагментарный характер. Их проводили преимущественно в весенне-летние сезоны в период 1997–2019 гг. Птиц определяли визуально с применением восьми- и двенадцатикратных биноклей, а также по голосам, гнездам и останкам. Для распределения видов птиц по категориям относительного обилия придерживались следующей, принятой нами шкалы:

Очень редкий – встречен не более 5 раз за все годы работ;

Редкий – встречается 1–2 раза за сезон;

Малочисленный – встречается 3–5 раз за сезон;

Немногочисленный – встречается регулярно, но не ежедневно;

Обычный – встречается 1–10 раз за дневную экскурсию;

Многочисленный – встречается более 10 раз за дневную экскурсию.

Наблюдения за двумя видами птиц, могильником *Aquila heliaca* Savigny, 1809 и сапсаном *Falco peregrines* Tunstall, 1771, накоплены нами за тот же период, но носили более регулярный характер: их вели ежегодно с марта по октябрь. Названия птиц и порядок их перечисления приводятся по «Списку птиц Российской Федерации» [12].

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Предварительный список птиц урочища Леоновские горы приведен в таблице 1. Он включает 84 вида. Из них 61 гнездится или предположительно гнездится на данной территории. Пять являются ее посетителями (используют в гнездовой период в качестве кормовых, защитных или других стаций). Четыре – пролетных. Тринадцать встречены на зимовке или кочевках (провести четкую границу между этими двумя категориями часто бывает затруднительно). Характер пребывания одного вида требует уточнения.

Таблица 1

Предварительный список видов птиц урочища Леоновские горы

Название вида птицы	Характер встречаемости	Характер пребывания
1	2	3
Серая цапля <i>Ardea cinerea</i> Linnaeus, 1758	О	Пос
Огарь <i>Tadorna ferruginea</i> (Pallas, 1764)	Нм	Гн
Кряква <i>Anas platyrhynchos</i> Linnaeus, 1758	О	Гн
Чирок-свистунок <i>A. crecca</i> Linnaeus, 1758	О	Пр.
Серая утка <i>A. strepera</i> Linnaeus, 1758	О	Гн?
Чирок-трескунок <i>A. querquedula</i> Linnaeus, 1758	О	Гн?
Широконоска <i>A. clypeata</i> Linnaeus, 1758	О	Гн?
Обыкновенный осоед <i>Pernis apivorus</i> (Linnaeus, 1758)	Р	Гн?
Чёрный коршун <i>Milvus migrans</i> (Boddaert, 1783)	О	Гн
Полевой лунь <i>Circus cyaneus</i> (Linnaeus, 1766)	О	Гн?
Степной лунь <i>C. macrourus</i> (S.G. Gmelin, 1771)	Мал	Гн?
Луговой лунь <i>C. pygargus</i> (Linnaeus, 1758)	Нм	Гн?
*Тетеревятник <i>Accipiter gentilis</i> (Linnaeus, 1758)	Мал	Гн
Перепелятник <i>A. nisus</i> (Linnaeus, 1758)	О	Гн
Канюк <i>Buteo buteo</i> (Linnaeus, 1758)	О	Гн
Могильник <i>Aquila heliaca</i> Savigny, 1809	О	Гн
Кречет <i>Falco rusticolus</i> Linnaeus, 1758	ОР	Пр
Сапсан <i>F. peregrinus</i> Tunstall, 1771	Р	Гн
Чеглок <i>F. subbuteo</i> Linnaeus, 1758	Нм	Гн
Дербник <i>F. columbarius aesalon</i> Linnaeus, 1758	Р	Пр
Обыкновенная пустельга <i>F. tinnunculus</i>	О	Гн
Белая куропатка <i>Lagopus lagopus</i> (Linnaeus, 1758)	Р	Гн?
Тетерев <i>Lyrurus tetrix</i> (Linnaeus, 1758)	О	Гн
Глухарь <i>Tetrao urogallus</i> Linnaeus, 1758	Мал	Гн
Серая куропатка <i>Perdix perdix</i> (Linnaeus, 1758)	О	Гн
Перепел <i>Coturnix coturnix</i> (Linnaeus, 1758)	О	Гн?
Коростель <i>Crex crex</i> (Linnaeus, 1758)	Нм	Гн?
Чибис <i>Vanellus vanellus</i> (Linnaeus, 1758)	Нм	Гн?
Кулик-сорока <i>Haematopus ostralegus</i> Linnaeus, 1758	Р	Пр
Вальдшнеп <i>Scolopax rusticola</i> Linnaeus, 1758	Нм	Гн?
Вяхрь <i>Columba palumbus</i> Linnaeus, 1758	О	Гн
Клинтух <i>C. oenas</i> Linnaeus, 1758	Мал	?
Большая горлица <i>Streptopelia orientalis</i> (Latham, 1790)	О	Гн
Обыкновенная кукушка <i>Cuculus canorus</i> Linnaeus, 1758	О	Гн?

1	2	3
Белая сова <i>Nyctea scaniaca</i> (Linnaeus, 1758)	Нм	Зим
Ушастая сова <i>Asio otus</i> (Linnaeus, 1758)	О	Гн
Болотная сова <i>A. flammeus</i> (Pontoppidan, 1763)	О	Гн
Ястребиная сова <i>Surnia ulula</i> (Linnaeus, 1758)	ОР	Зим
Длиннохвостая неясыть <i>Strix uralensis</i> Pallas, 1771	Мал	Коч
Обыкновенный козодой <i>Caprimulgus europaeus</i> Linnaeus, 1758	О	Гн?
Черный стриж <i>Apus apus</i> (Linnaeus, 1758)	О	Пос
Седой дятел <i>Picus canus</i> J.F. Gmelin, 1788	Р	Коч
Желна <i>Dryocopus martius</i> (Linnaeus, 1758)	О	Гн?
Большой пестрый дятел <i>Dendrocopos major</i> (Linnaeus, 1758)	О	Гн
Белоспинный дятел <i>D. leucotos</i> (Becchstein, 1803)	Нм	Гн?
Малый пестрый дятел <i>D. minor</i> (Linnaeus, 1758)	Нм	Гн?
Береговушка <i>Riparia riparia</i> (Linnaeus, 1758)	Нм	Пос
Деревенская ласточка <i>Hirundo rustica</i> Linnaeus, 1758	О	Пос
Полевой жаворонок <i>Alauda arvensis</i> Linnaeus, 1758	Мн	Гн
Полевой конек <i>Anthus campestris</i> (Linnaeus, 1758)	Нм	Гн?
Лесной конек <i>A. trivialis</i> (Linnaeus, 1758)	Мн	Гн
Желтая трясогузка <i>Motacilla flava</i> Linnaeus, 1758	Мн	Гн
Белая трясогузка <i>M. alba</i> Linnaeus, 1758	О	Гн
Обыкновенный жулан <i>Lanius collurio</i> Linnaeus, 1758	О	Гн
Обыкновенная иволга <i>Oriolus oriolus</i> (Linnaeus, 1758)	Нм	Гн?
Сойка <i>Garrulus glandarius</i> (Linnaeus, 1758)	Мал	Коч
Сорока <i>Pica pica</i> (Linnaeus, 1758)	О	Гн
Кедровка <i>Nucifraga caryocatactes</i> (Linnaeus, 1758)	Мал	Коч
Серая ворона <i>Corvus (corone) cornix</i> Linnaeus, 1758	О	Гн
Ворон <i>Corvus corax</i> Linnaeus, 1758	О	Гн
Свиристель <i>Bombicilla garrulus</i> (Linnaeus, 1758)	О	Коч
Обыкновенный сверчок <i>Locustella naevia</i> (Boddaert, 1783)	О	Гн?
Садовая камышевка <i>Acrocephalus dumetirum</i> Blyth, 1849	О	Гн
Северная бормотушка <i>Hippolais caligata</i> (M.N.K. Lichtenstein, 1823)	О	Гн
Пеночка-теньковка <i>Phylloscopus collybita</i> (Vieillot, 1817)	О	Гн?
Серая мухоловка <i>Muscicapa striata</i> (Pallas, 1764)	О	Гн
Луговой чекан <i>Saxicola rubetra</i> (Linnaeus, 1758)	О	Гн
Обыкновенная каменка <i>Oenanthe oenanthe</i> (Linnaeus, 1758)	О	Гн

Продолжение таблицы 1

1	2	3
Обыкновенная горихвостка <i>Phoenicurus phoenicurus</i> (Linnaeus, 1758)	О	Гн
Варакушка <i>Luscinia svecica</i> (Linnaeus, 1758)	Нм	Гн
Рябинник <i>Turdus pilaris</i> Linnaeus, 1758	О	Коч?
Пухляк <i>Parus montanus</i> Baldenstein, 1827	О	Коч?
Большая синица <i>P. major</i> Linnaeus, 1758	О	Гн
Обыкновенный поползень <i>Sitta europaea</i> Linnaeus, 1758	Нм	Коч?
Полевой воробей <i>Passer montanus</i> (Linnaeus, 1758)	О	Гн
Зяблик <i>Fringilla coelebs</i> Linnaeus, 1758	Мн	Гн?
Щегол <i>Carduelis carduelis</i> (Linnaeus, 1758)	О	Гн
Обыкновенная чечетка <i>Acanthis flammea</i> (Linnaeus, 1758)	О	Коч
Обыкновенная чечевица <i>Carpodacus erythrinus</i> (Pallas, 1770)	О	Гн
Урагус <i>Uragus sibiricus</i> (Pallas, 1773)	О	Коч
Обыкновенный снегирь <i>Pyrrhula pyrrhula</i> (Linnaeus, 1758)	Нм	Пос, коч
Обыкновенная овсянка <i>Emberiza citrinella</i> Linnaeus, 1758	О	Гн
Садовая овсянка <i>E. hortulana</i> Linnaeus, 1758	О	Гн
Пуночка <i>Plectrophenax nivalis</i> (Linnaeus, 1758)	Нм	Зим

Примечание: Мн – многочисленный вид; О – обычный; Нм – немногочисленный; Мал – малочисленный; Р – редкий; ОР – очень редкий; Гн – гнездящийся вид; Пос – посетитель (обитая в окрестностях, посещает данную территорию в гнездовой период); Пр – пролетный; Зим – зимующий; Коч – кочующий; ? – статус вида требует уточнения. Полу жирным шрифтом выделены виды, внесенные в Красную книгу Челябинской области. * – отмечены виды, внесенные в Приложение 3 к Красной книге Челябинской области.

Десять видов из зарегистрированных в урочище внесены в Красную книгу Челябинской области [8]. Шесть из них включены в Перечень объектов животного мира, занесенных в Красную книгу Российской Федерации [13]. Один вид внесен в Приложение 3 к региональной Красной книге. Ранее публиковалась информация лишь о трех охраняемых видах птиц, отмеченных на территории Леоновских гор: обыкновенном осоеде и луговом луке, гнездование которых в некоторые годы на территории урочища или в его ближайших окрестностях мы предполагаем [14]. А также могильнике, о гнездовании одной пары которого на северной оконечности Леоновских гор упоминал В. Д. Захаров [15].

Численность могильника на территории урочища возросла с одной в 1997 г. до трех гнездящихся пар в 2015 г. В 2019 г. мы учли 3 гнездящихся пары. У каждой из них на гнездовом участке имеются 2–3 запасных гнезда, используемых обычно в разные годы по очереди. Все они расположены на берегах, на высоте 7–8 м, на

западных склонах гор. Расстояния между жилыми гнездами составляют 5,7 и 5,3 км. Плотность гнездования вида соответствует здесь значению 3 пары/100 км². Этот же показатель для могильника, обитающего на территории бассейнов рек Сынтасты и Бол. Караганка, расположенных в Брединском и Кизильском районах Челябинской области, площадь которой составляет около 4 тыс. км², по нашим усредненным данным за период исследований 1996–2009 гг., составляет 0,7 пар/100 км². Наибольшая концентрация могильника в регионе – 3 пары/100 км² – была выявлена в Брединском заказнике и его окрестностях, где в 2006 г. обнаружено 8 жилых гнезд [18]. Таким образом, урочище Леоновские горы на современном этапе исследований занимает одно из первых мест по концентрации гнезд могильника в Челябинской области. На гнездовых участках орлы появляются в последней декаде марта. В первой декаде апреля появляется кладка (обычно 2–3 яйца). Основным источником корма для орлов в весенний период, по нашим данным, являются просыпающиеся от спячки суслики *Spermophilus major* (Pallas, 1779). Также в разные годы до начала июня в гнездах мы находили останки молодых воронов *Corvus corax* Linnaeus, 1758, серой куропатки *Perdix perdix* (Linnaeus, 1758), тетерева *Lyrurus tetrix* (Linnaeus, 1758), ежей *Erinaceus europaeus* Linnaeus, 1758, молодых зайцев-русаков *Lepus europaeus* (Pallas, 1778). С начала июня и практически до самой осени (август) в питании могильников преобладают молодые грачи *C. frugilegus* Linnaeus, 1758: ближайшие к урочищу грачевники находятся возле пос. Вятский и сел Степное и Бол. Бугодак. В целом, рацион птиц данной гнездовой группировки весьма близок к рациону, выявленному для этого вида, населяющего степную и лесостепную зоны Челябинской области [15, 16–19]. Основные факторы, негативно влияющие на успешность размножения – беспокойство человеком у гнезд и пожары, регулярно возникающие в урочище преимущественно из-за весенних палов. О существенном влиянии первого из них на состояние вида в степном и лесостепном Зауралье есть указания многих авторов [15–18, 20].

Сапсан впервые загнездился на скалах Леоновских гор в 2014 году. С тех пор пара размножается здесь ежегодно. Ближайшее из известных специалистам гнезд этого сокола расположено на расстоянии около 40 км к северо-востоку от урочища [21]. Взрослые птицы появляются в районе гнездового участка обычно в третьей декаде марта. Откладывать яйца начинают после схода снежного покрова со склона горы и освобождения от него ниш и уступов скал, используемых для гнездования. В 2018 и 2019 гг. у пары было по 3 птенца. Вылупление происходит в конце мая – первой декаде июня. Рацион сапсана в гнездовой период, как мы выяснили, составляют в основном птицы средней величины. Характерно, что более мелкая добыча (жаворонки *Alauda arvensis* Linnaeus, 1758, дрозды *Turdus sp.*, мелкие кулики, речные крачки *Sterna hirundo* (Linnaeus, 1758)) отмечена в поедях в начале вскармливания птенцов, когда охотится в основном самец. Примерно с трехнедельного возраста птенцов и в дальнейшем, по мере их роста и возрастающей потребности в корме, когда охотиться начинают оба родителя, размеры добычи увеличиваются, и количество её возрастает: в рационе появляются врановые, в основном грачи и галки *C. monedula* Linnaeus, 1758, утки (чирки *Anas sp.*), сизые голуби *Columba livia* J.F. Gmelin, 1789, клинтухи *C. oenas* Linnaeus, 1758, нередки и

останки сов – болотной *Asio flammeus* (Pontoppidan, 1763) и ушастой *A. otus* (Linnaeus, 1758). Летными птенцы становятся обычно к середине июля.

Основные факторы, негативно влияющие на успешность размножения сапсана в урочище:

– беспокойство и уничтожение в гнездовой период человеком (в 2014 г. была уничтожена кладка, в 2015 – гнездовые птенцы), в эти же годы были попытки отстрела у гнезда взрослых особей;

– выпас сельскохозяйственных животных (лошади, крупный рогатый скот, овцы и в особенности козы): в некоторые годы гнездовые ниши и уступы были вытоптаны скотом;

– пожары, возникающие в подавляющем числе случаев по вине человека.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, данные наших многолетних исследований в урочище Леоновские горы вносят существенный вклад в имеющуюся информацию по орнитофауне Челябинской области в целом и по редким видам птиц, включенных в региональную и федеральную Красные книги, в частности. Кроме того, наши сведения пополняют имеющийся массив данных по биоразнообразию перспективной ООПТ Челябинской области и могут быть использованы в дальнейшем для обоснования ее создания. Урочище вместе с хребтом Калактау, горой Большая, рядом сопок между хребтами Леоновские горы и Узункыр, озерами Бол. и Мал. Бугодак, несомненно, заслуживает придания ему статуса комплексного заказника. Особо хотелось бы подчеркнуть необходимость включения в ООПТ площади не менее 20–30 тыс. га, что обусловлено тем, что особо охраняемые природные территории должны быть примерно в 50–100 раз больше, чем средние по размерам нарушенные участки для поддержания относительно устойчивого состояния местообитаний, как это следует из мирового опыта [22].

Список литературы

1. Куликов П. В. Флора и растительность проектируемого природного парка «Леоновские горы» (Челябинская область) / П. В. Куликов, Н. В. Золотарева // Степи Северной Евразии: материалы V международного симпозиума / под научной редакцией члена-корреспондента РАН А. А. Чибилёва. – Оренбург, 2009. – С. 417–420.
2. Колесников Б. П. Очерк растительности Челябинской области в связи с ее геоботаническим районированием / Б. П. Колесников // Тр. Ильменск. гос. заповед. им. В. И. Ленина. – Свердловск, 1961. – Вып. 8. – С. 105–129.
3. Лагунов А. В. Особо охраняемые природные территории лесостепной зоны Челябинской области / А. В. Лагунов, Е. И. Вейсберг, В. Д. Захаров, П. В. Куликов, Б. М. Чичков // Степи и лесостепи Зауралья: материалы к исследованиям. Тр. музея-заповедника «Аркаим». – Челябинск, 2006. – С. 97–131.
4. Постановление Правительства Челябинской области от 21.02.2008 г. N 34-П" с изм. от 23 августа 2019 г. N 372-П. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/428673555>
5. Гилев А. В. Заметки о биоразнообразии муравьев Урала. 2. Муравьи Леоновских гор (Челябинская область) / А. В. Гилев, Т. К. Тунева // Фауна Урала и Сибири. – 2016. – № 1. – С. 29–32.
6. Тунева Т. К. К фауне пауков (Aranei) Леоновских гор (Челябинская область) / Т. К. Тунева, С. Л. Есюнин // Евразийский энтомологический журнал. – 2012. – № 11 (4). – С. 373–377.

7. Снитко В. П. Рукокрылые (Chiroptera, Vespertilionidae) Южного Урала (Челябинская область) / В. П. Снитко, Л. В. Снитко // Зоол. журн. – 2017. – Т. 96. № 3. – С. 320–349.
8. Красная книга Челябинской области. Животные, растения, грибы / отв. ред. А.В. Лагунов. – М. 2017. – 504 с.
9. Захаров В. Д. Гнездование черноголового хохотуна *Larus ichthyaetus* в Челябинской области / В. Д. Захаров, С. В. Морозов // Рус. орнитол. журн. – 1997. – № 6 (27). – С. 18–20.
10. Захаров В. Д. Птицы Южного Урала (видовой состав, распространение, численность) / В. Д. Захаров. – Екатеринбург; Миасс: ИГЗ УрО РАН, 2006. – 228 с.
11. Захаров В. Д. К гнездованию черноголового хохотуна *Larus ichthyaetus* в Челябинской области / В. Д. Захаров // Рус. орнитол. журн. – 2015. – № 24 (1190). – С. 3328–3332.
12. Коблик Е. А. Список птиц Российской Федерации / Е. А. Коблик, Я. А. Редькин, В. Ю. Архипов. – М, 2006. – 281 с.
13. Приказ Министерства природных ресурсов и экологии Российской Федерации от 24.03.2020 № 162 "Об утверждении Перечня объектов животного мира, занесенных в Красную книгу Российской Федерации" (Зарегистрирован 02.04.2020 № 57940).
14. Гашек В. А. К авифауне Южного Зауралья / В. А. Гашек, Б. В. Красуцкий, А. В. Рябицев // Фауна Урала и Сибири. – 2018. – № 1. – С. 155–162.
15. Захаров В. Д. Распространение и численность могильника (*Aquila heliaca*) на юге Челябинской области / В. Д. Захаров // Проблемы региональной экологии. – 2013. – № 3. – С. 97–99.
16. Коровин В. А. Птицы в агроландшафтах Урала / В. А. Коровин. // Екатеринбург: Изд-во Урал. ун-та, 2004. – 504 с.
17. Коровин В. А. Особенности экологии могильника *Aquila heliaca* и проблемы его сохранения в степном Зауралье / В. А. Коровин // Рус. орнитол. журн. – 2005. – № 14 (293). – С. 644–646.
18. Гашек В. А. Могильник *Aquila heliaca* в Челябинской области / В. А. Гашек, В. Д. Захаров // Рус. орнитол. журн. – 2010. – № 19 (605). – С. 1871–1876.
19. Тарасов В. В. К фауне птиц южной лесостепи Челябинской области / В. В. Тарасов, В. А. Гашек, С. Е. Звигинцев. // Материалы к распространению птиц на Урале, в Приуралье и Западной Сибири. – 2014. – Вып. 19. – С. 142–153.
20. Коровин В. А. О состоянии редких видов птиц на севере степного Зауралья / В. А. Коровин // Рус. орнитол. журн. – 2017. – № 26 (1389). – С. 65–70.
21. Гашек В. А. Итоги орнитологических исследований в степных и лесостепных районах Челябинской области в 2018 году / В. А. Гашек, Б. В. Красуцкий, А. В. Рябицев // Фауна Урала и Сибири. – 2019. – № 1. – С. 128–141.
22. Рудский В. В. Пространственная организация особо охраняемых природных территорий / В. В. Рудский // Географическое пространство: сбалансированное развитие природы и общества: Материалы Международной научно-практической конференции. – Челябинск, 2019. – С. 312–316.

BIRD FAUNA IN THE LEONOVSKY MOUNTAINS (CHELYABINSK REGION) - A PROSPECTIVE SPNT OF REGIONAL SIGNIFICANCE

Gashek V. A.¹, Yasko D. A.²

¹*International airport "Chelyabinsk", Chelyabinsk, Russia*

²*Regional State Institution "Specially Protected Natural Areas of the Chelyabinsk Region",
Chelyabinsk, Russia*

E-mail: gashek_va@mail.ru

For the first time, information is provided on the avifauna of the Leonovskie Mountains tract, the only relatively large area of the mountain forest-steppe in the Chelyabinsk region and a promising regional specially protected natural area. The preliminary list of birds in the Leonovskie Gory tract includes 84 species. Of these, 61

nest or presumably nest in the area. Five are its visitors (used during the nesting period as forage, protective, or other stations). Four are flyby. Thirteen were found wintering or migrating (it is often difficult to draw a clear line between these two categories). The nature of the residence of one species requires clarification. Ten species noted in this territory are included in the regional Red Book (Ruddy Shelduck *Tadorna ferruginea* (Pallas, 1764), European Honey-buzzard *Pernis apivorus* (Linnaeus, 1758), Pallid Harrier *Circus macrourus* (S.G. Gmelin, 1771), Montagu's Harrier *C. pygargus* (Linnaeus, 1758), Eastern Imperial Eagle *Aquila heliaca* Savigny, 1809, Gyrfalcon *Falco rusticolus* Linnaeus, 1758, Peregrine Falcon *F. peregrinus* Tunstall, 1771, Willow Grouse *Lagopus lagopus* (Linnaeus, 1758), Eurasian Oystercatcher *Haematopus ostralegus* Linnaeus, 1758, Northern Hawk Owl *Surnia ulula* (Linnaeus, 1758). Six of them (Pallid Harrier, Eastern Imperial Eagle, Gyrfalcon, Peregrine Falcon, Willow Grouse, Eurasian Oystercatcher) are included in the List of Fauna Objects included in the Red Book of the Russian Federation. Another species is included in Appendix 3 to the regional Red Book.

The material on phenology, nesting biology, nutrition, abundance dynamics and limiting factors of the Eastern Imperial Eagle *Aquila heliaca* and the Peregrine Falcon *Falco peregrinus*, collected over more than 20 years of observation (1997–2019), is generalized. The number of Eastern Imperial Eagle on the territory of the tract in 1997 was one, in 2019 – 3 nesting pairs. Each of the pairs in the nesting area has 2–3 spare nests, which are usually used in different years in turn. All of them are located on birches, at a height of 7–8 m, on the western slopes of the mountains. The distances between the nearest nests are 5,7 and 5,3 km. The nesting density of the species corresponds here to a value of 3 pairs / 100 km². Thus, at the present stage of research, the Leonovskiy Mountains tract occupies one of the first places in terms of the concentration of Eastern Imperial Eagle nests in the Chelyabinsk region. On the nesting sites, eagles appear in the last decade of March. In the first ten days of April a clutch appears (usually 2–3 eggs). The main source of food for eagles in the spring is the ground squirrels *Spermophilus major*, from the beginning of June to August – young rooks *Corvus frugilegus*. The main limiting factors for the repository in this area are human disturbance and fires. 2014 to 2019 one pair of Peregrine Falcon nested on the rocks of the Leonovskiy Mountains. The nearest known nest of this falcon is located from the tract at a distance of about 40 km to the northeast. Adult birds appear in the nesting area usually in the third decade of March. They begin to lay eggs after the snow cover has melted from the mountainside and the niches and ledges of rocks used for nesting are freed from it. In 2018 and 2019 she had 3 chicks. The diet of the species during the nesting period consists mainly of birds of medium size. It is characteristic that smaller prey (larks, thrushes, sandpipers, river terns) were recorded in food at the beginning of feeding the chicks, when the male hunts mainly. From about three weeks of age the chicks and further, as they grow and the need for food increases, when both parents begin to hunt, the size of the prey increases and its quantity increases: corvids appear in the diet, mainly rooks and Eurasian Jackdaws, ducks, Rock Pigeons, Stock Pigeons, and owls are frequent in the diet – Short-eared Owl and Long-eared Owl. Flying chicks usually become by mid-July. Limiting factors – disturbance and destruction during the nesting period by humans, grazing of farm animals (horses, cattle, sheep and in particular goats) and fires. On the basis of our own and literary data, it was

concluded that it is necessary to give the Leonovskiy Mountains the status of an integrated regional reserve. We would especially like to emphasize the need to include an area of at least 20–30 thousand hectares in protected areas, which is due to the fact that specially protected natural areas should be approximately 50–100 times larger than disturbed areas of average size in order to maintain a relatively stable state of habitats, as follows from world experience

Keywords: Leonovskiy Mountains, tract, perspective specially protected natural area, complex reserve, mountain forest-steppe, Chelyabinsk region, avifauna, Eastern Imperial Eagle *Aquila heliaca*, Peregrine Falcon *Falco peregrinus*, nesting, diet, Red Book.

References

1. Kulikov P. V., Zolotareva N. V. Flora and vegetation of the projected natural park "Leonovskiy Mountains" (Chelyabinsk region), *Steppes of Northern Eurasia: Proceedings of the V International Symposium*, 417 (2009).
2. Kolesnikov B. P. An outline of the vegetation of the Chelyabinsk region in connection with its geobotanical zoning, *Tr. Ilmensk. state commandment. them. V.I. Lenin*, **8**, 105 (1961).
3. Lagunov A. V., Weisberg E. I., Zakharov V. D., Kulikov P. V., Chichkov B. M. Specially protected natural territories of the forest-steppe zone of the Chelyabinsk region, *Steppes and forest-steppes of the Trans-Urals: materials for research. Tr. Museum-reserve "Arkaim"*, 97 (2006).
4. Decree of the Government of the Chelyabinsk Region of February 21, 2008 N 34-P "as amended on August 23, 2019 N 372-P. [Electronic resource]. Access mode: <http://docs.cntd.ru/document/428673555>
5. Gilev A. V., Tuneva T. K. Notes on the biodiversity of ants in the Urals. 2. Ants of the Leonovskiy Mountains (Chelyabinsk region), *Fauna of the Urals and Siberia*, **1**, 29 (2016).
6. Tuneva T. K., Yesunin S. L. To the spider fauna (Aranei) of the Leonovskiy Mountains (Chelyabinsk region), *Eurasian entomol. Journal*, **11** (4), 373 (2012).
7. Snitko V. P., Snitko L. V. Bats (Chiroptera, Vespertilionidae) of the Southern Urals (Chelyabinsk region), *Zool. zhurn.*, **96** (3), 320 (2017).
8. Red Data Book of the Chelyabinsk Region. Animals, plants, mushrooms, 504 p. (Limited Liability Company "Reart", Moscow, 2017).
9. Zakharov V. D., Morozov S. V. Nesting of Great Black-headed Gull *Larus ichthyæetus* in the Chelyabinsk region, *Rus. ornithol. zhurn.*, **6** (27), 18 (1997).
10. Zakharov V. D. *Birds of the Southern Urals (species composition, distribution, number)*, 228 p. (Ekaterinburg, Miass, 2006).
11. Zakharov V. D. To nesting of Great Black-headed Gull *Larus ichthyæetus* in the Chelyabinsk region, *Rus. ornithol. zhurn.*, **24** (1190), 3328 (2015).
12. Koblik E. A., Redkin Ya. A., Arkhipov V. Yu. *List of birds of the Russian Federation*, 281 p. (Moscow, 2006).
13. Order of the Ministry of Natural Resources and Environment of the Russian Federation dated March 24, 2020 No. 162 "On approval of the List of wildlife objects included in the Red Book of the Russian Federation" (Registered April 2, 2020 No. 57940).
14. Gashek V. A., Krasutsky B. V., Ryabitsev A. V. To the avifauna of the Southern Trans-Urals, *Fauna of the Urals and Siberia*, **1**, 155 (2018).
15. Zakharov V. D. Distribution and number of the Eastern Imperial Eagle (*Aquila heliaca*) in the south of the Chelyabinsk region, *Problems of regional ecology*, **3**, 97 (2013).
16. Korovin V. A. *Birds in the agricultural landscapes of the Urals*, 504 p. (Ural University Publishing House, Yekaterinburg, 2004).
17. Korovin V. A. Features of the ecology of Eastern Imperial Eagle *Aquila heliaca* and problems of its preservation in the steppe Trans-Urals, *Rus. ornithol. zhurn.*, **14** (293), 644 (2005).
18. Gashek V. A., Zakharov V. D. Eastern Imperial Eagle *Aquila heliaca* in the Chelyabinsk region, *Rus. ornithol. zhurn.*, **19** (605), 1871 (2010).

19. Tarasov V. V., Gashek V. A., Zvigintsev S. E. To the bird fauna of the southern forest-steppe of the Chelyabinsk region, *Materials for the distribution of birds in the Urals, the Urals and Western Siberia*, **19**, 142 (2014).
20. Korovin V. A. On the state of rare bird species in the north of the steppe Trans-Urals, *Rus. ornithol. zhurn.*, **26** (1389), 65 (2017).
21. Gashek V. A., Krasutsky B. V., Ryabitsev A. V. The results of ornithological research in the steppe and forest-steppe regions of the Chelyabinsk region in 2018, *Fauna of the Urals and Siberia*, **1**, 128 (2019).
22. Rudskiy V.V. Spatial organization of specially protected natural areas, *Geographic space: balanced development of nature and society: Materials of the International scientific-practical conference* (Publishing House "Edge of Ra", Chelyabinsk, 2019), 312.

УДК 574.474

ЭКОЛОГО-ФИТОЦЕНОТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ЛУГОВОЙ ЦЕНОФЛОРЫ ГОРОДА КАЛУГИ

Евсеева А. А.

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

В современных условиях повышенного антропогенного прессинга на урбоэкосистемы, являющиеся местообитанием большей части человеческого населения, необходимо проводить оценку состояния растительных объектов, в том числе и природных, для поиска возможных путей улучшения экологической ситуации при помощи данных природных объектов. В данной работе были проведены биоморфологический и эколого-ценотический анализы, а также анализ адвентивной фракции флоры. В результате исследований была проанализирована эколого-фитоценотическая структура луговой ценофлоры города Калуги. Результаты эколого-фитоценотического анализа свидетельствуют о протекании негативных процессов в изучаемых луговых ценофлорах, ведущих к их антропогенной трансформации. Обнаружены места распространения адвентивных, а также в их числе опасных инвазивных видов.

Ключевые слова: эколого-фитоценотический анализ, луговая флора, городские луговые сообщества, урбофитоценозы, ценофлора Калуги.

ВВЕДЕНИЕ

Данная работа является продолжением серии статей изучения флористической и экологической структуры луговых сообществ г. Калуги. Предыдущие статьи посвящены изучению флористического разнообразия и рекреационной трансформированности луговых экосистем в условиях крупного города [1]. Представленные исследования являются актуальными, поскольку оценка состояния и сохранение природных объектов зеленой инфраструктуры городов имеют огромное значение в аспекте формирования здоровой городской среды [2]. В современных условиях повышенного антропогенного прессинга на урбоэкосистемы, являющихся местообитанием большей части человеческого населения, необходимо периодически проводить оценку состояния растительных объектов, в том числе и природных, для поиска возможных путей улучшения экологической ситуации при помощи данных природных объектов. Для оценки состояния луговых экосистем в данной работе проведен их экологический анализ.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Район изучения интересен с флористической точки зрения благодаря так называемому «феномену Окской флоры», который выражается в интразональном продвижении более южных степных видов на север и их распространение по пойме

реки Оки и ее притоков [3]. В данной работе были проведены биоморфологический и эколого-ценотический анализы, а также анализ адвентивной фракции флоры. Изучение луговой растительности города Калуги было проведено в 2014–2015 годах. Исследования проходили площадным методом, на 25 учетных площадках (рис. 1). Всего было сделано 125 флористических описаний луговой ценофлоры города Калуги. Поскольку г. Калуга находится в подзоне смешанных широколиственно-еловых лесов лесной зоны, луговые экосистемы в городе занимают небольшие участки территории. Среди городских луговых сообществ можно выделить следующие типы местообитаний: 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 угодия (например, площадки 21–22 в микрорайоне Ждамирово). Пойменные луга в черте города распространены вдоль Оки, а также малых рек Калуги – Яченки и Калужки (площадки 4–7, 17–20, 23–25).

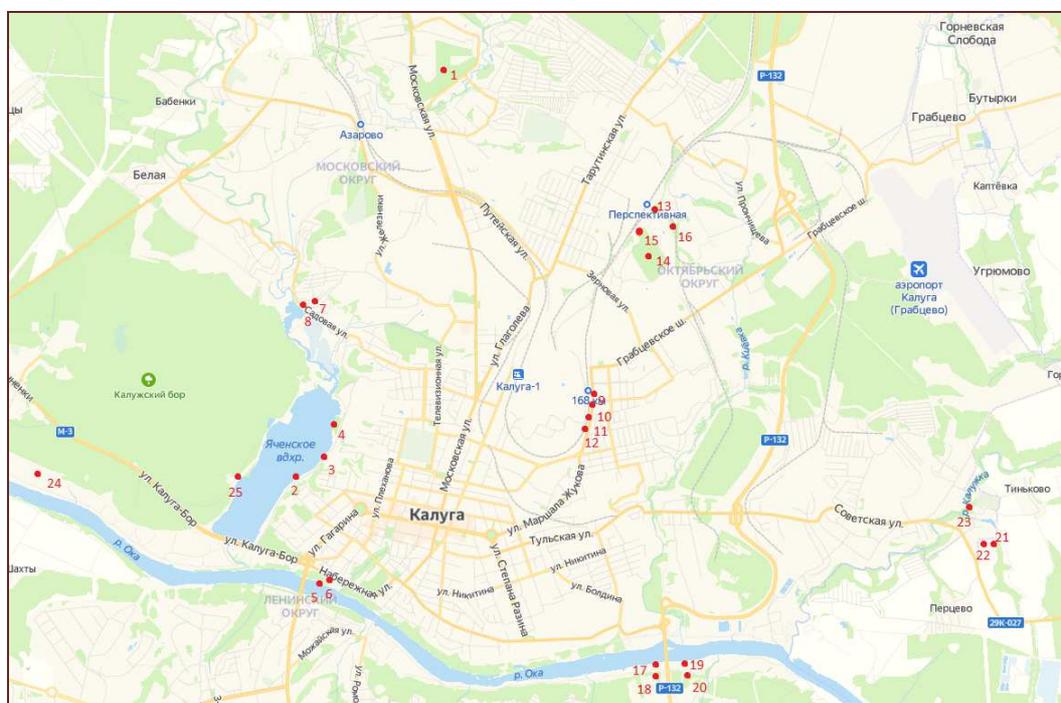


Рис. 1. Расположение площадок изучения луговых сообществ города Калуги.

Для анализа биоморфологической структуры флоры были использованы группы жизненных форм Серебрякова, поскольку они демонстрируют распределение видов по местообитаниям [4]. Анализ адвентивной флоры проводился с использованием конспекта адвентивной флоры Калужской области А. В. Крылова [5, 6].

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Эколого-биологическая структура флоры представлена на рисунке 2. Доминирующей группой являются многолетние травы, что в целом характерно для луговых флор [7, 8]. Следует отметить, что пойменные прибрежные луговые сообщества характеризуются большим включением однолетних растений, например (*Xanthium albinum* (Widd.) H. Scholz, *Bidens frondosa* L., *Spergularia rubra* (L.) J. et C. Presl, *Thlaspi arvense* L., *Erysimum cheiranthoides* L.), суходольные луга характеризуются наличием достаточного количества двулетних растений (*Oenothera biennis* L., *Tragopogon orientalis* L., *Echium vulgare* L., *Pastinaca sativa* L.), сырые луга и олуговевшие городские экосистемы, несущие большую антропогенную нагрузку, содержат меньшее число видов групп однолетников и двулетников. Поскольку в лесных экосистемах подобное соотношение многолетних/однолетних растений может указывать на повышенную рекреационную нагрузку [9], возможно транслировать данное предположение и на луговые сообщества, так же страдающие в условиях города от вытаптывания. В целом данные эколого-биологического анализа характеризуют флору как луговую.

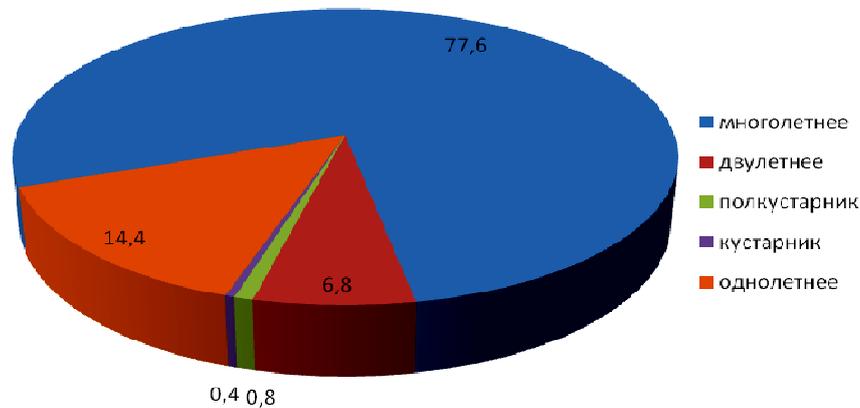


Рис. 2. Спектр эколого-биологических групп луговой растительности города Калуги.

На исследованной территории города растения луговых местообитаний относятся к следующим группам: болотно-лесные, болотно-лесо-луговые, болотно-луговые, болотно-лугово-лесные, болотно-опушечно-луговые, болотно-прибрежно-лесные, болотно-прибрежно-опушечные, интродуценты, лесные, луговые, лугово-болотные, лугово-степные, опушечно-лесные, опушечно-луговые, опушечно-лугово-лесные, опушечно-лугово-степные, опушечно-прибрежно-луговые, опушечно-сорно-луговые, опушечные, прибрежно-болотно-луговые, прибрежно-болотные, прибрежно-водные, прибрежно-луговые, прибрежно-лугово-болотные, прибрежно-сорно-болотные, прибрежно-сорные, прибрежные, сорные, сорно-лесные, сорно-луговые, сорно-лугово-степные, сорно-опушечно-лесные, сорно-опушечно-луговые, сорно-опушечные, сорно-прибрежно-болотные, сорно-

прибрежно-опушечные, сорно-прибрежные, степные. Для удобства сравнительного анализа спектров и их соотношений эколого-ценотические группы растений были укрупнены до групп луговых, лесных, сорных, интродуцентов и прочих. Поскольку в данной работе исследуется растительность луговых биотопов, при укрупнении эколого-ценотических групп растений в группу луговых видов были объединены все типы, которые имеют в составе названия указание на луговой биотоп произрастания.

Анализ фитоценотического спектра показывает, что ведущее положение занимают луговые виды (рис. 3). К луговым относится 112 видов; что составляет 42,1 % всех выявленных. Среди них отмечаются виды, произрастающие на сырых лугах, например *Dactylorhiza fuchsii* (Druce) Soo, *Carex hirta* L., *C. acuta* L., *Geum rivale* L., *Juncus compressus* Jacq., *Epilobium hirsutum* L., *Ranunculus repens* L. и т.д.; лесо-луговые виды сообществ лесных полей, например, *Prunella vulgaris* L., *Melampyrum nemorosum* L., *Galium mollugo* L.; прибрежно-луговые: *Potentilla anserina* L., *Polygonum lapathifolium* Besf., *Rorippa amphibia* (L.) Bess., *Juncus bufonius* L. Состав и структура растительности лугов Калуги связаны с их нахождением в лесной зоне, откуда идет распространение в них бореальных видов (*Betonica officinalis* L., *Geranium silvaticum* L., *Platantera bifolia* (L.) Rich., *Campanula latifolia* L. и др.). Это обуславливает присутствие в составе флоры наряду с луговыми видами и лесных представителей (41 вид; 15,4 %), происходящее под зональным влиянием на луговую флору окружающей лесной растительности.

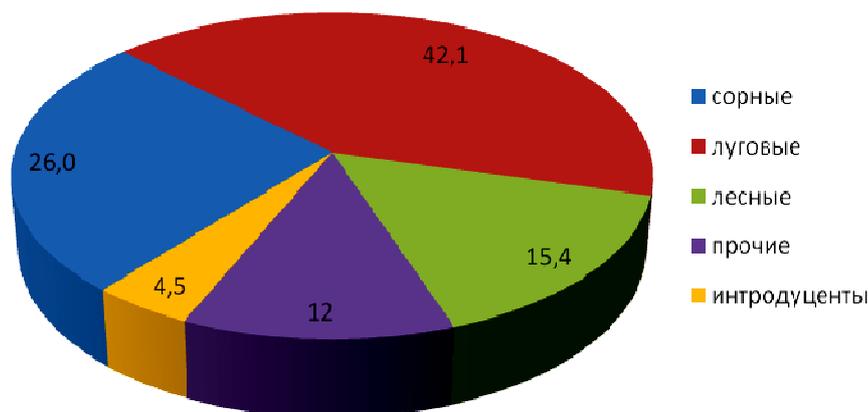


Рис. 3. Спектр эколого-ценотических групп луговой растительности города Калуги.

Специфической особенностью пойменных лугов Калуги является «феномен Окской флоры». К представителям данного явления относятся следующие виды, обнаруженные на территории города: *Leersia oryzoides* (L.) Swartz., *Arrhenatherum*

elatus (L.) J. et C. Presl, *Centaurea pseudomaculosa* Dobroc., *Juncus ambiguus* Guss., *Rorippa anceps* (Wahlenb.) Reichenb., *Lycopus exaltatus* L. fil., *Scabiosa ochroleuca* L., *Cirsium polonicum* (Petrak) Iljin, *Androsace septentrionalis* L., *Xanthium albinum* (Widd.) H. Scholz, *Veronica spicata* L., *V. teucrium* L., *Echium vulgare* L. и др. Достаточно большую долю в спектре (26%) составляют сорные виды, свидетельствующие о дегенеративных процессах в городских лугах, протекающих под воздействием хозяйственной деятельности. Это типичные сорняки и рудеральные виды, такие как *Bunias orientalis* L., *Barbarea arcuata* (Opiz ex J. et C. Presl) Reichenb., *Leonurus quinquelobatus* Gilib., *Sonchus oleraceus* L., *Senecio vulgaris* L., *Capsella bursa-pastoris* (L.) Medik., *Thlaspi arvense* L., *Erysimum cheiranthoides* L., *Galeopsis bifida* Boenn. К интродуцентам относятся 4,5% выявленных видов. Это такие представители флоры, как *A Armoracia rusticana* Gaertn., Mey. Et Scherb. *Erigeron canadensis* L., *Echinocystis lobata* Torr. Et Gray, *Heracleum sosnowskyi* Manden., *Solidago gigantea* Ait., *S. canadensis* L., *Impatiens glandulifera* Royle, *Arrhenatherum elatius* (L.) J. et C. Presl. Большая часть данных видов составляет ядро адвентивной фракции луговой флоры Калуги, к которой относится 16 видов, что составляет 10% от общего числа. Адвентивные виды луговых местообитаний представлены в таблице 4. Таким образом, эколого-ценотический анализ свидетельствует об изменениях в луговых сообществах, протекающих под антропогенным воздействием городской среды.

Изучение адвентивного компонента флоры необходимо для своевременного выявления и борьбы с агрессивными инвазионными видами, разрушающими местные аборигенные экосистемы. Это особенно важно в условиях города, поскольку городские фитоценозы подвергаются наибольшему антропогенному воздействию и, вследствие этого имеют низкую устойчивость, что допускает быстрое внедрение и распространение адвентивных видов.

Как видно, большая часть адвентивных видов лугов Калуги имеют преднамеренный путь заноса. Все адвентивные виды, за исключением *Atriplex patens* (Litv.) Iljin, – натурализовавшиеся в местных сообществах агрессивные виды. К примеру, флора лесных экосистем Калуги допускает внедрение менее агрессивных адвентивных видов, не прошедших барьер натурализации, что может быть связано со снижением уровня устойчивости данных экосистем [10]. Возможно, луговые сообщества города Калуги характеризуются относительной устойчивостью благодаря тому, что данная городская луговая флора носит интразональный характер, представлена видами более «южных» местообитаний и менее подвержена изменениям, связанным с урбанизацией [11]. Ряд видов включен в Черную книгу Калужской области [12]. Это виды, представляющие угрозу аборигенным экосистемам. Работа по выявлению таких видов и учет их мест произрастания – необходимая часть регионального экологического мониторинга. Таким образом, в ходе данного исследования были установлены места произрастания таких опасных инвазивных видов, как *Echinocystis lobata* Torr. Et Gray, *Erigeron canadensis* L., *Heracleum sosnowskyi* Manden., *Impatiens glandulifera* Royle, *Solidago canadensis* Ait., *S. gigantea* Aiton.

Таблица 4.
Адвентивные виды луговых местообитаний г. Калуги и степень их натурализации

№	Виды	По степени натурализации								Путь заноса	Включен в черную книгу Калужской области
		N ⁰ - N ²	N ³	N ⁴	N ⁵	N ⁶	N ⁷	N ⁸	N ⁹		
1.	<i>Arrhenatherum elatius</i>								+	АС	+
2.	<i>Atriplex patens</i>	+								А	
3.	<i>Bidens frondosa</i>							+		А	+
4.	<i>Bromopsis riparia</i>				+					А	
5.	<i>Echinocystis lobata</i>								+	АС	+
6.	<i>Erigeron canadensis</i>								+	А	
7.	<i>Helianthus tuberosus</i>					+				АС	
8.	<i>Heracleum sosnowskyi</i>								+	С	+
9.	<i>Impatiens glandulifera</i>								+	С	+
10.	<i>I. parviflora</i>								+	А	+
11.	<i>Juncus tenuis</i>								+	А	
12.	<i>Mentha x gentelis</i>				+					С	
13.	<i>Oenothera biennis</i>								+	А	
14.	<i>Solidago canadensis</i>								+	С	+
15.	<i>Solidago gigantea</i>								+	С	+
16.	<i>Xanthium albinum</i>								+	А	+

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате исследований была проанализирована эколого-фитоценотическая структура луговой ценофлоры города Калуги. Результаты эколого-фитоценотического анализа свидетельствуют о протекании негативных процессов в изучаемых луговых ценофлорах, ведущих к их антропогенной трансформации. На это указывает присутствие в изучаемой флоре значительной доли сорных и рудеральных видов, а также распространение адвентивных видов, среди которых выявлены инвазивные виды Черной книги Калужской области. Выявленное соотношение многолетних/однолетних растений может указывать на повышенную рекреационную нагрузку данных экосистем в условиях города [9], что проявляется в вытаптывании. Данный анализ является важным при изучении растительности, поскольку показывает экологическую адаптированность данного растительного сообщества к биотопу и условиям среды, что особенно важно в динамично меняющейся, измененной антропогенной деятельностью городской среде.

Список литературы

1. Евсеева А. А. Определение рекреационной трансформации, как метод анализа последствий воздействия рекреационной нагрузки на экосистемы / А. А. Евсеева // Вестник Калужского университета. – 2018. – №4. – С. 61–65.
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. Решетникова Н. М. Калужская флора: аннотированный список сосудистых растений Калужской области / Н. М. Решетникова [и др.]. – М. : Товарищество науч. изданий КМК, 2010. – 549 с.
4. Серебряков И. Г. Экологическая морфология растений. Жизненные формы покрытосеменных и хвойных растений / И. Г. Серебряков – М., 1962. – 378 с.
5. 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.
6. 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.
7. Щукина К. В. Анализ луговой флоры поймы реки Вятки в пределах Кировской области / К. В. Щукина // Ботаника в современном мире. Труды XIV Съезда Русского ботанического общества и конференции «Ботаника в современном мире» (г. Махачкала, 18–23 июня 2018 г.). Т. 1: Систематика высших растений. Флористика и география растений. Охрана растительного мира. Палеоботаника. Ботаническое образование. – Махачкала: АЛЕФ., 2018. – С. 221–224.
8. Демидова А. Н. Комплексный подход к анализу флоры / А. Н. Демидова, Н. Г. Прилепский // Вестник Московского университета. Серия 16: Биология. – 2014. – № 2. – С. 46–53.
9. Евсеева А. А. Анализ роли однолетних и двулетних растений в остаточных лесных сообществах города / А. А. Евсеева, Е. Л. Константинов // Экология урбанизированных территорий. – 2015. – № 3. – С. 22–25.
10. Евсеева А. А. Видовое богатство и адвентизация как критерии устойчивости остаточных урбофитоценозов / А. А. Евсеева, Е. Л. Константинов // Экология урбанизированных территорий. – 2014. – № 1. – С. 54–58.
11. Шадрин В. А. Состояние лесных экосистем под влиянием рекреации (на примере города Ижевска) / В. А. Шадрин, А. В. Федчук // Молодежный научный вестник. – 2017. – № 12 (25). – С. 33–39.
12. Решетникова Н. М. Черная книга Калужской области. Сосудистые растения. / Решетникова Н. М., Майоров С. Р., Крылов А. В. – Калуга, ООО «Ваш Домь», 2019. – 342 с.: ил.

ECOLOGO-PHYTOCOENOTIC ANALYSIS OF MEADOW CANAFLORE OF
THE CITY OF KALUGA

Evseeva A. A.

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

This work is a continuation of a series of articles studying the floristic and ecological structure of meadow communities in Kaluga. Previous articles are devoted to the study of floristic diversity and recreational transformation of meadow ecosystems in a large city. The presented research is relevant, since the assessment of the state and preservation of natural objects of the green infrastructure of cities are of great importance in the aspect of forming a healthy urban environment. In modern conditions of increased anthropogenic pressure on urban ecosystems, which are the habitat of most of the human population, it is necessary to assess the state of plant objects, including natural ones, in order to find possible ways to improve the environmental situation using these natural objects. To assess the state of meadow ecosystems in this work, their ecological analysis is carried out. Groups of Serebryakov's life forms were used to analyze the biomorphological structure of the flora, since they demonstrate the distribution of species by habitat. The analysis of the adventive flora was carried out using the abstract of the adventive flora of the Kaluga region by A. V. Krylov. The dominant group is perennial grasses, which is generally characteristic of meadow flora. A fairly large share of the spectrum (26 %) is made up of weeds that indicate degenerative processes in urban meadows that occur under the influence of economic activity. These are typical weeds and ruderalAs a result of the research, the ecological and phytocenotic structure of the meadow cenoflora of the city of Kaluga was analyzed. The results of ecological and phytocenotic analysis indicate that negative processes occur in the studied meadow cenoflora, leading to their anthropogenic transformation. This is indicated by the presence of a significant proportion of weed and ruderal widows in the studied flora, as well as the spread of adventitious species, among which invasive species of The black book of the Kaluga region were identified. The revealed ratio of perennial/annual plants may indicate an increased recreational load of these ecosystems in urban conditions which is manifested in trampling. This analysis is important when studying vegetation, since it shows the ecological adaptability of this plant community to the biotope and environmental conditions, which is especially important in a dynamically changing urban environment. . All adventitious species, with the exception of *Atriplex patens* (Litv.) Iljin, are aggressive species naturalized in local communities. A number of species are included in The black book of the Kaluga region [12]. These are species that pose a threat to native ecosystems. Identification of such species and consideration of their habitats is a necessary part of regional environmental monitoring. Thus, in the course of this study, the growing places of such dangerous invasive species as *Echinocystis lobata* Torr Et Gray, *Erigeron canadensis* L., *Heracleum sosnowskyi* Manden., *Impatiens glandulifera* Royle, *Solidago canadensis* Ait., *S. gigantea* Aiton.

Keywords: ecological-phytocenotic analysis, urbophytocenoses, meadow flora, urban meadow communities, Kaluga coenoflora.

References

1. Evseeva A. A. definition of recreational transformation as a method for analyzing the effects of recreational load on ecosystems, *Vestnik Kaluzhskogo universiteta [Bulletin of the Kaluga University]*, **4**, 61 (2018).
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. Reshetnikova N. M. *Kaluga flora: annotated list of vascular plants of the Kaluga region*, 549 p. (Partnership of scientists. KMC publications, Moscow, 2010).
4. Serebryakov I. G. *Ecological morphology of plants. Life forms of angiosperms and coniferous plants*, 378 p. (Moscow, 1962).
5. 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).
6. 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).
7. Shchukina K. V. Analysis of meadow flora of the Vyatka river floodplain within the Kirov region. Botany in the modern world. Proceedings of the XIV Congress of the Russian Botanical society and the conference "Botany in the modern world" (Makhachkala, June 18-23, 2018). Vol. 1: systematics of higher plants. Floristics and geography of plants. Protection of the plant world. Paleobotany. Botanical education, (Makhachkala: ALEF, 2018), 221.
8. Demidova A. N., Prilepsky N. G. Complex approach to flora analysis, *Vestnik Moskovskogo universiteta [Bulletin of the Moscow University]*, **16**, **2**, 46 (2014).
9. Evseeva A. A., Konstantinov E. L. Analysis of the role of annual and biennial plants in the residual forest communities of the city, *Ekologiya urbanizirovannyh territorij. [Ecology of urbanized territories]*, **3**, 22 (2015).
10. Evseeva A. A., Konstantinov E. L. Species richness and adventization as stability criteria for residual urban phytocenoses, *Ekologiya urbanizirovannyh territorij. [Ecology of urbanized territories]*, **1**, 54 (2014).
11. Shadrin V. A., Fedchuk A. V. Sostoyanie lesnyh ekosistem pod vliyaniem rekreacii (na primere goroda Izhevskaja), *Molodezhnyj nauchnyj vestnik. [Youth Scientific Herald]*, **12** (**25**), 33 (2017).
12. Reshetnikova N. M., Mayorov S. R., Krylov A. V. *Black book of the Kaluga region. Vascular plants*, 342 p. (LLC Vash Dom, 2019).

УДК 612.13

АНАЛИЗ ВАРИАБЕЛЬНОСТИ СЕРДЕЧНОГО РИТМА СТУДЕНТОВ С РАЗНЫМ УРОВНЕМ ДВИГАТЕЛЬНОЙ АКТИВНОСТИ

Емельянова А. С.¹, Симонян Л. А.², Степура Е. Е.²

ФГБОУ ВО РГГУ имени П.А. Костычева, Рязань, Россия

ГОУ ВО Московской области ГСГУ, Коломна, Россия

E-mail: chimik89@mail.ru

В статье рассматривается анализ исходного вегетативного статуса студентов с разным уровнем двигательной активности. Регистрация и анализ ВСР проведен с помощью современной комплексной электрофизиологической лаборатории «CONAN – 4.5». Оценена сердечная деятельность студентов занимающихся физической культурой в рамках образовательного процесса на основе анализа ВСР. Выявлено, что среди всего изученного массива студентов (при дифференцировании ИВТ, рассчитанного по ИН) «нормотоники» характеризуются оптимальным соотношением между парасимпатическим и симпатическим отделами ВНС. При этом значение коэффициента физической активности у исследованных данной группы определялся на уровне значений $1,73 \pm 0,1$. Для нормальной адаптации к физическим нагрузкам у студентов, необходимо формировать уровень двигательной активности, количественно соответствующий КФА физической активности не ниже 1,75.

Ключевые слова: электрокардиограмма, сердечно-сосудистая система, индекс напряжения, исходный вегетативный тонус, коэффициент физической активности.

ВВЕДЕНИЕ

Физические нагрузки играют важную роль в развитии функциональных резервов организма, а уровень двигательной активности определяет их количественный эквивалент [1, 9]. В работах Доронцева А. В. и Козлятникова О. А., отмечается, что установлена взаимосвязь между показателями физического развития, физической подготовленности и состоянием здоровья обучающихся [2–4]. В то же время тренировочная деятельность параллельно с учебными нагрузками предъявляет повышенные требования к функциональным резервам организма. Физические нагрузки, могут вызвать целый ряд изменений в функциональных системах гомеостатического уровня, изменить регуляторно-адаптивный статус организма, предопределяя настоящий и дальнейший ход адаптации [5–8].

Вариабельность сердечного ритма (ВСР) – это физиологическое явление, заключающееся в непрерывном изменении длительности кардиоциклов. Анализ ВСР основан на измерении временных интервалов между соседними R-зубцами электрокардиограммы. Математическая обработка ЭКГ позволяет получить ряд временных, спектральных и геометрических показателей, благодаря которым осуществляется объективная оценка состояния вегетативной нервной системы (ВНС), в том числе ее симпатического (СО) и парасимпатического (ПО) отделов.

Данный метод позволяет исследовать и оценить механизмы регуляции сердечно-сосудистой системы, а также напряжение регуляторных систем.

В связи с этим цель данной работы – провести анализ variability сердечного ритма у студентов с учётом уровня двигательной активности.

Задачи данной работы заключаются в следующем: 1) провести регистрацию ЭКГ у студентов с разным уровнем двигательной активности; 2) провести математический анализ variability сердечного ритма студентов с разным уровнем двигательной активности с помощью современной комплексной электрофизиологической лаборатории «CONAN – 4.5»; 3) установить исходный вегетативный тонус на основе индекса напряжения у студентов; 4) получить и проанализировать числовые значения первичных показателей variability сердечного ритма (мода, амплитуда моды и вариационный размах) и частоту сердечных сокращений, полученных на основе обработки электрокардиограммы; 5) проанализировать триангулярный индекс variability сердечного ритма студентов, с разным уровнем двигательной активности; 6) определить взаимосвязь уровня двигательной активности и показателей variability сердечного ритма.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Регистрацию частоту сердечных сокращений и ЭКГ проводили в покое у студентов. На добровольной основе были обследованы 100 студентов, из них 31 девушка и 69 юношей. Возраст обследуемых – от 18 до 22 лет. На момент обследования учащиеся не предъявляли жалоб и не имели в анамнезе патологий сердечно-сосудистой системы. Запись ЭКГ проводилась с помощью комплексной электрофизиологической лаборатории «CONAN – 4.5» с протоколированием следующих показателей variability сердечного ритма: частота сердечных сокращений (ЧСС), мода (Мо), амплитуда моды (АМо), вариационный размах (ΔX) и индекс напряжения (ИН), с последующей компьютерной обработкой данных в Microsoft Excel 2007 программный пакет для статистического анализа Statistical10. Для оценки достоверности отличий использовали t-критерий Стьюдента.

Согласно цветовой маркировке, красный электрод накладывали на правую руку, желтый – на левую, зеленый – на левую ногу, черный – на правую ногу. Для лучшего контакта электродов с кожей применяли гидрофильные прокладки – кусочки марли, смоченные 1 %-ным раствором NaCl. Все эксперименты проведены с соблюдением принципов биоэтики.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

В ходе анализа ЭКГ были получены следующие показатели: частота сердечных сокращений, мода, амплитуда моды и вариационный размах. Градация числовых значений индекса напряжения была предложена Ширяевым О. Ю. и Ивлевой Е. И., которая учитывала, что при сильном стрессе и заболеваниях ИН может возрастать до более высоких значений. В результате было предложено выделить пять типов ИН: ваготонический, нормотонический, симпатикотонический, сверхсимпатикотонический и запредельный. Последний характеризуется повышением показателей преобладания симпатической нервной системы в

диапазоне более, чем 600 у.е. Поскольку запредельный тип ИН встречается крайне редко и в ходе проведённого нами исследования данный тип не был выявлен ни у одного испытуемого, мы произвели деление участников на 4 группы, используя рекомендуемую градацию числовых значений, исключая пятый тип ИН. Полученные соотношения студентов по сходному вегетативному тону, рассчитанного на основе индекса напряжения, представлены в таблице 1.

Таблица 1

Соотношение студентов по исходному вегетативному тону на основе индекса напряжения

Индекс напряжения, у.е.	ИВТ по ИН	Количество студентов
До 30	Ваготония	10
31–120	Нормотония	22
121–300	Симпатикотония	63
Более 301	Гиперсимпатикотония	5

При анализе электрокардиограммы с помощью современной комплексной электрофизиологической лаборатории «CONAN – 4.5» была установлена частота сердечных сокращений у студентов с разным исходным вегетативным статусом, полученные числовые значения представлены в таблице 2.

Таблица 2

Частота сердечных сокращений студентов с разной вегетативной регуляцией

№	ИН, у.е.	ИВТ по ИН	ЧСС, уд/мин	Достоверность между группами	Вид изменения ритма / отсутствие нарушения ритма
1	До 30	Ваготония	65 ± 0,13	1–2 (p<0,001) 1–3 (p<0,001)	умеренная нормокардия
2	31–120	Нормотония	70 ± 0,21	1–4 (p<0,001)	нормокардия
3	121–300	Симпатикотония	73 ± 0,16	2–3 (p<0,001)	нормокардия
4	Более 301	Гиперсимпатикотония	80 ± 0,27	2–4 (p<0,001) 3–4 (p<0,001)	тахикардия

Примечание: достоверность различий ЧСС оценивалась между группами с применением t-критерия Стьюдента

В первую группу вошли студенты с индексом напряжения до 30 у.е. с исходным вегетативным тоном «ваготония». Такая группа характеризовалась преобладанием парасимпатической вегетативной нервной системы. Количество студентов данной группы составило 10 человек (10 % от общего числа участников). Показатель ЧСС варьировался в диапазоне 65±0,13 уд/мин (p<0,001).

Вторая группа составила 22 студента, с индексом напряжения от 31 до 120 у.е. с исходным вегетативным тонусом «нормотония». Данную группу составили 22 % от общего количества исследуемых студентов. Они характеризовались равновесным состоянием вегетативной нервной системы между парасимпатическим и симпатическим отделом, что свидетельствовало о тоне парасимпатического отдела нервной системы и преобладанием дыхательных изменений сердечного ритма. ЧСС у данной группы находилась в диапазоне $70 \pm 0,21$ уд/мин ($p < 0,001$) – нормокардия.

Третья группа характеризовалась преобладанием симпатической части вегетативной нервной системы с индексом напряжения от 121 до 300 у.е. с исходным вегетативным тонусом «симпатикотония». В данной группе количество студентов составило 63 человека, то есть 63 % от общего числа участников. усреднённая ЧСС также отличалась от предыдущих групп – $73 \pm 0,16$ уд/мин ($p < 0,001$) и соответствовала нормокардии.

Четвертая группа характеризовалась значительным повышением показателей деятельности симпатической вегетативной нервной системы с индексом напряжения более 301 у.е., с исходным вегетативным тонусом «сверхсимпатикотония». В данной группе количество студентов составило всего 5 испытуемых, то есть 5 % от общего количества. Диапазон ЧСС составил $80 \pm 0,27$ уд/мин ($p < 0,001$), вид аритмии – тахикардия.

При анализе электрокардиограммы с помощью современной комплексной электрофизиологической лаборатории «CONAN – 4.5» были получены и проанализированы числовые значения следующих показателей variability сердечного ритма: мода (Mo), амплитуда моды (AMo) и вариационный размах (ΔX) у студентов с разным исходным вегетативным статусом, полученные числовые значения данных показателей представлены в таблицах 3, 4, 5.

Таблица 3
Значение моды (Mo) variability сердечного ритма студентов

№	ИН, у.е.	ИВТ по ИН	Достоверность между группами	Mo, сек
1	До 30	Ваготония	1–3 ($p < 0,001$) 1–2 ($p < 0,001$)	$0,88 \pm 0,01$
2	31–120	Нормотония	1–4 ($p < 0,001$) 2–3 ($p < 0,001$)	$0,82 \pm 0,01$
3	121–300	Симпатикотония	2–4 ($p < 0,001$)	$0,79 \pm 0,01$
4	более 301	Гиперсимпатикотония	3–4 ($p < 0,01$)	$0,76 \pm 0,01$

Примечание: достоверность различий Mo оценивалась между группами с применением t-критерия Стьюдента

Анализ таблиц 3, 4, 5 показал следующую физиологическую картину первичных показателей вариабельности сердечного ритма у студентов, с разным исходным вегетативным статусом.

Мода – это диапазон значений наиболее часто встречающихся R-R-интервалов. Она указывала на наиболее вероятный уровень функционирования системы кровообращения и при достаточно стационарных процессах совпадала с математическим ожиданием.

У гиперсимпатикотоников значение моды составило $0,76 \pm 0,01$ сек ($p < 0,05$). Данная группа характеризовалась уменьшением наиболее часто встречающегося кардиоинтервала среди всего массива.

Для ваготоников, у которых парасимпатический отдел преобладает над симпатическим отделом вегетативной нервной системы, значение данного показателя – $0,88 \pm 0,1$ сек ($p < 0,05$). Число сердечных сокращений уменьшается по сравнению с гиперсимпатикотониками.

Значение моды у нормотоников составило $0,82 \pm 0,1$ сек ($p < 0,05$). Они характеризовались равновесным состоянием вегетативной нервной системы между парасимпатическим и симпатическим отделом, что свидетельствовало о тонузе парасимпатического отдела нервной системы. Расстояние между кардиоинтервалами меньше, чем у ваготоников, на 0,06 сек и больше, чем у гиперсимпатикотоников и симпатикотоников, на 0,06 сек и 0,03 сек соответственно.

У симпатикотоников, которая характеризовалась преобладанием симпатической вегетативной нервной системы над парасимпатической, показатель данного значения составил $0,79 \pm 0,1$ сек ($p < 0,05$).

Амплитуда моды – число кардиоинтервалов соответствующих значению (диапазону) моды. Данный показатель отражал стабилизирующий эффект централизации управления ритмом сердца. В основном этот эффект обусловлен влиянием симпатического отдела вегетативной нервной системы. Низкие показатели значения амплитуды моды указывали на преобладание автономного контура регуляции сердечного ритма, а высокие значения – на преобладание центрального контура регуляции.

Таблица 4

Значение амплитуды моды (АМо) вариабельности сердечного ритма студентов

№	ИН, у.е.	ИВТ по ИН	Достоверность между группами	АМо, %
1	До 30	Ваготония	1–2 ($p < 0,05$)	$40 \pm 1,2$
2	31–120	Нормотония	1–3 ($p < 0,001$)	$45 \pm 2,1$
3	121–300	Симпатикотония	1–4 ($p < 0,001$)	$52 \pm 3,5$
4	более 301	Гиперсимпатикотония	2–4 ($p < 0,001$) 3–4 ($p < 0,001$)	$89 \pm 8,4$

Примечание: достоверность различий АМо оценивалась между группами с применением t-критерия Стьюдента

Данные таблицы 4 свидетельствуют о том, что самый высокий показатель характерен для гиперсимпатикотоников – $89 \pm 8,4\%$ ($p < 0,01$). Он указывал на то, что в процесс управления сердечным ритмом включается центральный контур регуляции.

У ваготоников данный показатель составил $40 \pm 4,2\%$ ($p < 0,05$), а у нормотоников и симпатикотоников $45 \pm 2,1\%$ ($p < 0,001$) и $52 \pm 3,5\%$ ($p < 0,001$) соответственно. Низкие показатели значения амплитуды моды указывали на преобладание автономного контура регуляции.

Вариационный размах отражал суммарный эффект регуляции ритма вегетативной нервной системы, но указывал на максимальную амплитуду колебаний значений R-R-интервалов. Поскольку влияние блуждающих нервов на дыхательные изменения сердечного ритма обычно преобладают над недыхательными его изменениями, обусловленными активностью подкорковых центров, то вариационный размах можно считать показателем, в значительной мере связанным состоянием парасимпатического отдела вегетативной нервной системы.

Наибольший вариационный размах наблюдался у ваготоников – $0,65 \pm 0,02$ сек ($p < 0,05$), что свидетельствует о снижении сократительных функций миокарда и преобладании ваготонического тонуса.

В группе нормотоников данное значение составило $0,32 \pm 0,07$ сек ($p < 0,05$), что свидетельствует о тонусе парасимпатического отдела нервной системы и характеризуется преобладанием дыхательных изменений сердечного ритма.

Низкие показатели вариационного размаха отмечены у симпатикотоников и гиперсимпатикотоников, $0,22 \pm 0,04$ сек ($p < 0,05$) и $0,12 \pm 0,06$ сек ($p < 0,05$) соответственно, что может являться следствием преобладания недыхательного компонента сердечного ритма и парасимпатического звена. Следовательно, для таких студентов характерна низкая адаптационная возможность, а также низкий уровень врожденных внутренних резервов для поддержания на определенном уровне вегетативного гомеостаза.

Таблица 5

Значение вариационного размаха (ΔX) variability сердечного ритма студентов с разным вегетативным статусом

№	ИН, у.е.	ИВТ по ИН	Достоверность между группами	ΔX , сек
1	До 30	Ваготония	1–2 ($p < 0,001$)	$0,65 \pm 0,02$
2	31–120	Нормотония	1–3 ($p < 0,001$)	$0,32 \pm 0,07$
3	121–300	Симпатикотония	1–4 ($p < 0,001$)	$0,22 \pm 0,04$
4	более 301	Гиперсимпатикотония	2–3 ($p < 0,001$) 2–4 ($p < 0,001$) 3–4 ($p < 0,001$)	$0,12 \pm 0,06$

Примечание: достоверность различий ΔX оценивалась между группами с применением t-критерия Стьюдента

При анализе электрокардиограммы с помощью современной комплексной электрофизиологической лаборатории «CONAN – 4.5», были получены и проанализированы значения триангулярного индекса (TiNN) variability сердечного ритма у студентов, с разным исходным вегетативным статусом, полученные числовые значения данного показателя представлены в таблице 6.

Таблица 6
Показатели триангулярного индекса (TiNN) variability сердечного ритма студентов с разным вегетативным статусом

№	Индекс напряжения, у.е.	ИВТ по ИН	Достоверность между группами	TiNN, у.е.
1	До 30	Ваготония	1–2 (p<0,05)	2,5±0,1
2	31–120	Нормотония	1–3 (p<0,05)	2,2±0,1
3	121–300	Симпатикотония	1–4 (p<0,001)	1,9±0,2
4	Более 301	Гиперсимпатикотония	2–4 (p<0,05)	1,1±0,4

Примечание: достоверность различий TiNN оценивалась между группами с применением t-критерия Стьюдента

Для ваготоников, у которых парасимпатический отдел преобладает над симпатическим отделом ВНС, значение триангулярного индекса составило 2,5±0,1 у.е. (p<0,05), число сердечных сокращений уменьшается по сравнению с нормотониками, симпатикотониками и гиперсимпатикотониками. Это подтверждает представление о повышении влияния парасимпатического отдела вегетативной нервной системы.

Значение триангулярного индекса у нормотоников составило 2,2±0,1 у.е. (p<0,05). Данная группа характеризовалась равновесным состоянием вегетативной нервной системы между парасимпатическим и симпатическим отделом, что свидетельствовало о тоне парасимпатического отдела нервной системы.

У симпатикотоников, которые характеризовались преобладанием симпатического отдела вегетативной нервной системы, показатель данного значения составил 1,9±0,2 у.е. (p<0,05). Это подтверждает представление о повышении влияния симпатического отдела вегетативной нервной системы.

У гиперсимпатикотоников значение триангулярного индекса составило 1,1±0,4 у.е. (p<0,05). Для данной группы студентов характерно уменьшение наиболее часто встречающегося кардиоинтервала среди всего массива.

Студентам был предложен тест для определения коэффициента физической активности. Коэффициент физической активности – это отношение среднесуточных затрат энергии человека к затратам энергии в состоянии покоя, к так называемой величине основного обмена.

В таблице 7 представлены значения коэффициента физической активности у студентов с разным исходным вегетативным тоном.

Таблица 7

Показатели коэффициента физической активности (КФА) у студентов с разным вегетативным статусом

№	Индекс напряжения, у.е.	ИВТ по ИН	Достоверность между группами	КФА, баллы
1	до 30	Ваготония	1–2 (p<0,05)	1,41±0,1
2	31–120	Нормотония	1–3 (p<0,001)	1,73±0,1
3	121–300	Симпатикотония	1–4 (p<0,001)	2,01±0,1
4	Более 301	Гиперсимпатикотония	2–3 (p<0,001) 2–4 (p<0,001) 3–4 (p<0,001)	2,42±0,2

Примечание: достоверность различий КФА оценивалась между группами с применением t-критерия Стьюдента

В первую группу вошли студенты с ИН до 30 у.е. с исходным вегетативным тонусом «ваготония». Такая группа характеризовалась преобладанием парасимпатической вегетативной нервной системой. Коэффициент физической активности составил 1,41±0,1 баллов.

Вторая группа с индексом напряжения от 31 до 120 у.е. с предполагаемым исходным вегетативным тонусом «нормотония». Такая группа характеризовалась равновесным состоянием вегетативной нервной системы между парасимпатическим и симпатическим отделами. Коэффициент физической активности составил в данной группе студентов 1,73±0,1 баллов.

Третья группа характеризовалась преобладанием симпатической вегетативной нервной системы с индексом напряжения от 121 до 300 у.е. с исходным вегетативным тонусом «симпатикотония». Для данной группы коэффициент физической активности составил 2,01±0,1 баллов.

Четвертая группа характеризовалась значительным повышением показателей деятельности симпатической вегетативной нервной системы с индексом напряжения более 301 у.е., с исходным вегетативным тонусом «сверхсимпатикотония». Коэффициент физической активности составил – 2,42±0,2 баллов.

Выявлено, что среди всего изученного массива студентов (при дифференцировании исходного вегетативного тонуса, рассчитанного по индексу напряжения) «нормотоники» характеризовались оптимальным соотношением между парасимпатическим и симпатическим отделами вегетативной нервной системы. При этом значение коэффициента физической активности у исследованных данной группы определялся на уровне значений 1,73±0,1 баллов. Таким образом, для обеспечения адекватного функционирования сердечно-сосудистой системы и для нормальной адаптации к физическим нагрузкам у студентов, необходимо формировать уровень двигательной активности, количественно соответствующий коэффициенту физической активности не ниже 1,75 баллов.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе регистрации и математического анализа вариабельности сердечного ритма у студентов с помощью современной комплексной электрофизиологической лаборатории «CONAN – 4.5», пришли к следующим выводам.

1. В результате исследований испытуемые студенты разделились на четыре подгруппы: в первую подгруппу с исходным вегетативным тонусом – ваготония вошли 10 человек, во вторую с предполагаемым исходным вегетативным тонусом – нормотония – 22 студента, в третью подгруппу с исходным вегетативным тонусом – симпатикотония – 63 студента, а в четвертую с исходным вегетативным тонусом – гиперсимпатикотония – 5 человек.
2. У гиперсимпатикотоников значение моды составило $0,76 \pm 0,01$ сек – уменьшением наиболее часто встречающего кардиоинтервала среди всего массива. Для ваготоников, у которых преобладает парасимпатический отдел, значение составило $0,88 \pm 0,1$ сек. Значение моды у нормотоников составило $0,82 \pm 0,1$ сек – равновесием между симпатической и парасимпатической нервной системой. У симпатикотоников, которые характеризовались преобладанием симпатической вегетативной нервной системы – $0,79 \pm 0,1$ сек.
3. Самый высокий показатель амплитуды моды был характерен для гиперсимпатикотоников – $89 \pm 8,4$ %. У ваготоников этот показатель составил $40 \pm 4,2$ %, а у нормотоников и симпатикотоников $45 \pm 2,1$ % и $52 \pm 3,5$ % соответственно. Низкие показатели значения амплитуды моды указывали на преобладание автономного контура регуляции.
4. Наибольший вариационный размах наблюдался у ваготоников – $0,65 \pm 0,02$ сек, что свидетельствует о снижении сократительных функций миокарда и преобладании ваготонического тонуса. В группе нормотоников – $0,32 \pm 0,07$ сек, что свидетельствует о тонусе ПО ВНС и преобладанием дыхательных изменений сердечного ритма. Низкие показатели вариационного размаха отмечены у симпатикотоников и гиперсимпатикотоников, $0,22 \pm 0,04$ сек и $0,12 \pm 0,06$ сек соответственно, что может являться следствием преобладания недыхательного компонента сердечного ритма и ПО ВНС.
5. Для ваготоников значение треугольного индекса составляло $2,5 \pm 0,2$ у.е., что подтверждает представление о повышении влияния ПО ВНС. Значение у нормотоников – $2,2 \pm 0,1$ у.е. Данная группа характеризовалась равновесием между симпатическим и парасимпатическим отделами вегетативной нервной системы. У симпатикотоников – $1,9 \pm 0,5$ у.е., что подтверждает представление о повышении влияния симпатического отдела вегетативной нервной системы. У гиперсимпатикотоников – $1,1 \pm 0,4$ у.е.
6. Для обеспечения адекватного функционирования сердечно-сосудистой системы и для нормальной адаптации к физическим нагрузкам у студентов, необходимо формировать уровень двигательной активности, количественно соответствующий коэффициенту физической активности не ниже 1,75.

Список литературы

1. Агаджанян Н. А. Проблемы адаптации и учение о здоровье / Н. А. Агаджанян, Р. М. Баевский, А. П. Берсенева – М.: Изд-во РУДН, 2006. – 281 с.
2. Баевский Р. М. Вариабельность сердечного ритма: теоретические аспекты и возможности клинического применения / Р. М. Баевский, Г. Г. Иванов // Ультразвуковая и функциональная диагностика. – 2015. – № 2. – С. 108.
3. Баевский Р. М. Анализ вариабельности сердечного ритма: история и философия, теория и практика / Р. М. Баевский // Клиническая информатика и телемедицина. – 2004. – № 1. – С. 54–64.
4. Баевский Р. М. Анализ вариабельности сердечного ритма при использовании различных электрокардиологических систем / Р. М. Баевский, Г. Г. Иванов, И. В. Чирейкин // Вестник аритмологии. – 2001. – № 24. – С. 15.
5. Бондарев С. А. Облачные технологии регистрации ЭКГ в тренировочном цикле и профилактике внезапной смерти спортсмена / Бондарев С. А. // В сборнике: БЕЗОПАСНЫЙ СПОРТ-2016. Материалы III Всероссийской научно-практической конференции с международным участием. – 2016. – С. 24–25.
6. Бондарев С. А. Применение облачных технологий регистрации ЭКГ для контроля сердечной деятельности спортсменов / Бондарев С. А. // Здоровье – основа человеческого потенциала: проблемы и пути их решения. – 2016. – Т. 11, № 2. – С. 517–519.
7. Кулаичев А. П. Методы и средства комплексного анализа данных. / Кулаичев А. П. – Москва, 2007 – 640 с.
8. Макаров Л. М. Особенности ЭКГ у молодых спортсменов уровня высшего спортивного мастерства / Макаров Л. М., Комолятова В. Н., Киселева И. И. // Прикладная спортивная наука. – 2015. – № 2. – С. 108–114.
9. Судаков К. В. Информационный принцип в физиологии: анализ с позиций общей теории функциональных систем / Судаков К. В. // Успехи физиол. наук. – 1995. – Т. 26, № 4. – С. 3–27.

ANALYSIS OF HEART RATE VARIABILITY IN STUDENTS WITH DIFFERENT LEVELS OF MOTOR ACTIVITY

Emelyanova A. S.¹, Simonyan L. A.², Stepura E. E.²

¹*Ryazan State Agrotechnological University Named after P.A. Kostychev, Ryazan, Russia*

²*Moscow region state university, Kolomna, Russia*

E-mail: chimik89@mail.ru

The article deals with the analysis of the initial vegetative status of students with different levels of motor activity. Registration and analysis of heart rate variability was performed using a modern complex electrophysiological laboratory "CONAN-4.5". Heart rate variability is a physiological phenomenon that consists in a continuous change in the duration of cardiocycles. The analysis of heart rate variability is based on measuring the time intervals between adjacent R-waves of the electrocardiogram. Mathematical processing of an electrocardiogram allows us to obtain a number of time, spectral, and geometric indicators that enable an objective assessment of the state of the autonomic nervous system, including its sympathetic and parasympathetic divisions. This method allows us to study and evaluate the mechanisms of regulation of the cardiovascular system, as well as the tension of regulatory systems. The aim of the work is to analyze the variability of students' heart rate taking into account motor activity. Research objectives:

to conduct a mathematical analysis of the electrocardiogram of students with different levels of motor activity according to the method of R. M. Baevsky; to calculate the stress index, and on its basis the initial vegetative tone; to determine the ratio of students with motor activity based on the initial vegetative tone based on the stress index; to analyze the heart rate with different vegetative activity; to analyze the mode, mode amplitude and variation range; to analyze the triangular index of heart rate variability of students, taking into account motor activity with different vegetative status. The heart activity of students engaged in physical culture in the educational process was evaluated based on the analysis of heart rate variability. Gipersimpatikotonia value was 0.76 ± 0.01 h – reduction the most frequently occurring of cardiointervals among the entire array. For vagotonic patients with a predominant parasympathetic division, the value was 0.88 ± 0.1 seconds. In normotonics, it was 0.82 ± 0.1 seconds – the balance between the sympathetic and parasympathetic nervous systems. And in sympathicotonics, which were characterized by a predominance of the sympathetic autonomic nervous system – 0.79 ± 0.1 seconds. The highest rate of the mode amplitude were characteristic of gipersimpatikotonia – 89 ± 8.4 percent. In vagotonics, this indicator was 40 ± 4.2 %, and in normotonics and sympathicotonics, 45 ± 2.1 % and 52 ± 3.5 %, respectively. Low values of the mode amplitude indicated the predominance of the Autonomous control loop. The greatest variation range was observed in vagotonic patients – 0.65 ± 0.02 seconds, which indicates a decrease in myocardial contractile functions and a predominance of vagotonic tone. In the normotonic group – 0.32 ± 0.07 seconds, which indicates the tone of the ANS and the predominance of respiratory changes in the heart rate. Low values of variation range were observed in sympathicotonics and hypersympathicotonics, 0.22 ± 0.04 sec and 0.12 ± 0.06 sec, respectively, which may be a consequence of the predominance of the non-respiratory component of the heart rhythm and the parasympathetic part of the autonomic nervous system. For vagotonics, the value of the triangular index was 2.5 ± 0.2 cu, which confirms the idea of increasing the influence of the parasympathetic division of the autonomic nervous system. The value in normotonics is 2.2 ± 0.1 cu. This group was characterized by an equilibrium between the sympathetic and parasympathetic parts of the autonomic nervous system. In sympathicotonics – 1.9 ± 0.5 cu, which confirms the idea of increasing the influence of the sympathetic division of the autonomic nervous system. In hypersympathicotonics – 1.1 ± 0.4 cu. It was revealed that among the entire studied array of students (with differentiation of the initial vegetative tone calculated by the stress index), "normotonics" are characterized by an optimal ratio between the parasympathetic and sympathetic divisions of the autonomic nervous system. At the same time, the value of the coefficient of physical activity in the studied group was determined at the level of 1.73 ± 0.1 . It is determined that in order to ensure adequate functioning of the cardiovascular system and for normal adaptation to physical activity in students, it is necessary to form a level of motor activity that quantitatively corresponds to a physical activity coefficient of at least 1.75.

Keywords: electrocardiogram, cardiovascular system, stress index, initial vegetative tone, physical activity coefficient.

References

1. Agadzhanyan N. A., Baevsky R. M., Berseneva A. P. *Problems of adaptation and teaching about health*, 281 (M.: publishing house of PFUR, 2006).
2. Baevsky R. M., Ivanov G. G. heart rate Variability: theoretical aspects and clinical application, *Ultrasound and functional diagnostics*, **2**, 108 (2015).
3. Baevsky R. M. Analysis of heart rate variability: history and philosophy, theory and practice, *Clinical Informatics and telemedicine*, **1**, 54 (2004).
4. Baevsky R. M., Ivanov G. G., Chireikin I. V. Analysis of heart rate variability when using various electrocardiological systems, *Bulletin of Arrhythmology*, **24**, 15 (2001).
5. Bondarev S. A. Cloud technologies for ECG registration in the training cycle and prevention of sudden death of an athlete, In the collection: SAFE SPORT-2016 : *Materials of the III all-Russian scientific and practical conference with international participation*, 24 (2016).
6. Bondarev S. A. Application of cloud technologies for ECG registration for monitoring the heart activity of athletes, *Health-the basis of human potential: problems and solutions*, **11**, **2**, 517 (2016).
7. Kulaichev A. P. *Methods and means of complex data analysis*, 640 (Moscow, 2007).
8. Makarov L. M., Komolotova V. N., Kiseleva I. I. Features of ECG in young athletes of the highest level of sports skill, *Applied sports science*, **2**, 108 (2015).
9. Sudakov K. V. Information principle in physiology: analysis from the standpoint of the General theory of functional systems, *The successes of physiology. nauk*, **26**, **4**, 3 (1995).

УДК 581.95

**МОРФО-БИОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ *NYMPHOIDES*
PELTATA (GMEL.) O. KUTZE В УСЛОВИЯХ ПРИРОДНОЙ ФЛОРЫ
ГОРНОГО КРЫМА**

Жалдак С. Н., Бибик А. И.

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

Изучены особенности морфологического строения *Nymphoides peltata* в условиях природной флоры Крымского полуострова. Проанализированы морфометрические параметры, особенности роста и фенологического развития *Nymphoides peltata* в естественных условиях произрастания, дана интегральная оценка состояния ценопопуляций вида в условиях Горного Крыма.

Ключевые слова: *Nymphoides peltata* (Gmel.) O. Kuntze., морфометрические параметры, фенологический спектр, Горный Крым.

ВВЕДЕНИЕ

Изучение биологического разнообразия природных территорий до сих пор остается одним из актуальных направлений современной ботаники. Крымский полуостров в этом отношении является уникальным регионом не только с точки зрения его физико-географического положения, но и со стороны видового многообразия природной флоры. Исследования крымской флоры проводятся достаточно давно, но в основном охватывают представителей высших наземных растений. Отсутствие в Крыму крупных рек и пресноводных водоемов сказывается на низкой видовой насыщенности фитоценозов высшими водными растениями на полуострове. Количество гидрофитов среди растений флоры Крыма невелико и, в настоящее время, составляет всего 2,1 % от общего числа видов [1, 2]. Поэтому, данные о видовом составе высших водных растений водоемов, особенностях их жизнедеятельности, эколого-ценотическая приуроченность до сих пор остаются актуальными для изучения. Особый научный интерес представляют флористические находки новых водных видов растений, поскольку раскрывают закономерности формирования флоры и растительности пресноводных водоемов Крыма, а так же касаются вопросов миграции и натурализации высших растений.

Цель исследования - изучить особенности морфологического строения, роста и развития *Nymphoides peltata* (Gmel.) O. Kuntze (Menyanthaceae), впервые обнаруженного в природной флоре Горного Крыма.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Нимфейник щитолистный (*Nymphoides peltata* (Gmel.) O. Kuntze) ранее никогда не входил в состав водной природной флоры на территории Крымского полуострова, следовательно, авторами во флористических сводках не упоминался. Данный вид занесен в Красные книги различных регионов Российской Федерации, а также включен в Красные книги Украины, Белоруссии, Казахстана, Латвии и Литвы [3].

Nymphoides peltata корневищный травянистый многолетний нимфеид из группы гидрофитов. Листья крупные черешковые, округлые, сердцевидные, достигающие 10 см в диаметре. Околоцветник двойной, 5-членный, венчик окрашен в ярко-желтый цвет, рассечен на лопасти с бахромчатым краем. Цветки собраны в зонтиковидные соцветия. Плод – коробочка, яйцевидной формы, одногнездная, невскрывающаяся и многосемянная. Цветение зарегистрировано с июня по сентябрь, созревание плодов – с августа по октябрь [4].

Архитектурная жизненная модель строения *Nymphoides peltate* представлена взаимным расположением модулей на вегетативном теле растения [4, 5]

Согласно Ледневу, у *Nymphoides peltata* выделяют пять модулей:

1. Укороченные корневища – это та часть растения, которая погружена в субстрат на дне водоема. Имеет укороченные междоузлия. Именно здесь формируются придаточные корни и листья;
2. Придаточные укороченные корневища, их ветвление очень слабое, на которых образуются боковые корни;
3. Столоны-цветоносы, из их узлов отходят придаточные корни, которые, в свою очередь, не закрепляются в субстрате;
4. Вегетативные столоны развиваются из пазушной почки при основании корневищ;
5. Зачатки нового укороченного корневища, они развиваются на столонах из почек в пазухах листьев. Как правило осенью, данные зачатки становятся весенним продолжением самостоятельных новых корневищ и особей *Nymphoides peltata* [6].

При изучении флоры и растительности пресноводных водоемов в окр. пгт. Научный (Бахчисарайский район, Республика Крым) в 2015 году вид впервые был зафиксирован авторами в природной флоре Горного Крыма. Пресноводный водоем, где произрастает *Nymphoides peltata*, площадью около 4,5 га со слабопроточной водой, расположен в глубокой лесной балке на юго-восточном склоне от пгт. Научный (44°43'35" с. ш. 34°00'45" в. д). Основные источники питания водоема подземные воды и периодически пересыхающий родник Сухой Фонтан. Оценка жизнедеятельности вида и изучение морфометрических параметров растений в новом географическом пункте произрастания *Nymphoides peltata* было начато в 2017 г. и проводилось в течение нескольких вегетационных сезонов вида с использованием стандартных геоботанических методов исследования [6, 7].

Для полной характеристики флористического состава водоема были зафиксированы все виды растений, произрастающие в пределах его водного зеркала и в прибрежной зоне. Проективное покрытие каждого вида, выраженное в % от общей площади водоема принимаемой за 100 %, определяли визуально при

проведении реногносцировочного изучения территории. Для глазомерной оценки степени зарастания водоема использовали схему Starmach [8], выражаемую в баллах и процентах (%).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Развитие растительности водоема тесно связано с его гидрологическими особенностями, в частности с размерами, морфометрией котловины, температурным режимом, химическим составом вод, характером и распределением литоральной зоны, а так же рядом других факторов. Изучаемый водоем в окрестностях пгт. Научный искусственного происхождения, был образован на месте бывшей карьерной разработки в середине 20 века, и по классификации озер Иванова [9] отнесен к малым озерам. Средняя глубина литоральной зоны составляет 0,5–1,5 м, при средней температуре воды в период вегетации растений +17,6 °С (2018 г). Водоем характеризуется высоким коэффициентом открытости водного зеркала, не отличается разнообразием биотопов и имеет бедный флористический состав прибрежно-водной и водной растительности

Флора макрофитов данного пресноводного водоема насчитывает 12 видов сосудистых растений, из семейств: *Menyanthaceae*, *Typhaceae*, *Juncaceae*, *Ceratophyllaceae*, *Equisetaceae*, *Ranunculaceae*, *Asteraceae*, *Alismataceae*, *Polygonaceae*, *Cyperaceae*, *Brassicaceae* и *Graminaceae*. По своим морфологическим и эколого-биологическим особенностям виды относятся к разным экологическим группам (табл. 1).

Таблица 1
Флора пресноводного водоема в окр. пгт. Научный (2018 г.)

Экологические группы растений по отношению к воде [10]	
гидрофиты	гигрофиты
<i>Nymphoides peltata</i> (S.G. Gmel) Kuntze (5 %)	<i>Equisetum arvense</i> L. (ед)
<i>Typha angustifolia</i> L. (11 %)	<i>Ranunculus repens</i> L. (0,5 %)
<i>Juncus inflexus</i> L. (1 %)	<i>Tussilago farfara</i> L. (2 %)
<i>Ceratophyllum submersum</i> L. (3 %)	<i>Alisma plantago</i> L. (ед)
	<i>Rumex confertus</i> Willd (ед)
	<i>Carex sp.</i> L. (ед)
	<i>Rorippa austriaca</i> (Crantz) Besser (ед)
	<i>Glyceria plicata</i> Chevall. (ед)

Примечание: в скобках указано проективное покрытие вида в % от общей поверхности водоема (100 %); ед – вид встречается единично.

Из макрофитов, относящихся к экологической группе – гидрофиты – настоящие водные растения, постоянно обитающие в воде, наиболее часто встречается рогоз узколистный – *Typha angustifolia*. Вид, по сравнению с остальными представителями, занимает значительную площадь водоема (общее проективное

покрытие около 11 %) и образует несколько узких полос на мелководных участках (до 1,5 м), по кругу почти опоясывая озеро.

Nymphoides peltata был обнаружен в виде трех самостоятельных локалитетах, расположенных на мелководье литоральной зоны озера с общим проективным покрытием вида не более 5 % от общей площади водоема. Локалитет № 1 площадью около 15 м², вытянутый вдоль уреза воды располагается в юго-восточной части водоема, в 30 см от берега. Локалитет № 2 в виде овального пятна, площадью около 12 м² расположен на расстоянии примерно в 1,5 м от берега, в южной центральной части водоема. Самый дальний труднодоступный локалитет № 3, был обнаружен в северо-западной части водоема на расстоянии 0,7 м от берега и по площади не превышает 1 м².

Распространение вида на большую глубину водоема в течение нескольких лет наблюдений установлено не было и ограничивалось глубиной не более 1 м. Диапазон глубины произрастания *Nymphoides peltata*, в литоральной зоне водоема варьировал от 38,1±1,5 см (локалитет № 3) до 97,3±2,9 см (локалитет № 1). Причем, в последнем отмечено смыкание листовых пластинок растений над водной поверхностью и самый высокий процент проективного покрытия плавающих листьев (до 98 %) среди локусов вида. Данная ценопопуляция *Nymphoides peltata* оказалась самой многочисленной. В 2018 году количество особей составило 21,4±3,7 шт/м², в то время как в локалитете № 3 было зафиксировано только 3–5 перезимовавших особей (обилие по Друде – 2 балла).

Морфометрические параметры листовой пластинки у особей *Nymphoides peltata* за период вегетации во всех исследуемых локалитетах оказались в пределах морфологической нормы вида и стабильными за два года наблюдений. В 2017 г. длина черешка листовой пластинки растений к периоду цветения *Nymphoides peltata* в локалитете № 2 составила 83,0±5,9 см; длина листа – 7,8±0,4 см; ширина – 6,2±0,5 см. В 2018 г. морфометрические параметры листовой пластинки растений *Nymphoides peltata* длина черешка так же не превышала 84,6±1,4 см; длина листа – 7,3±0,6 см; ширина – 6,4±0,9 см. Размерные параметры генеративных органов растений в условиях Горного Крыма оказались так же мало вариабельны за период наблюдений и соответствовали морфометрическим параметрам вида (табл. 2) [8, 9].

Полученные результаты, можно соотнести с постоянной, не изменяющейся в течение всего периода наблюдений за растениями глубиной водоема и возможной адаптацией вида к новым условиям места произрастания.

При фенологических исследованиях сроки наступления и ритм прохождения растениями той или иной фенологической фазы, довольно четко характеризуют адаптацию растений к климатическим условиям произрастания. При наблюдении за этапами роста и развития *Nymphoides peltata* в новых для вида физико-географических условиях произрастания, нами были выделены следующие фазы развития растений: появление листовых пластинок над поверхностью воды, распускание первых бутонов, массовое цветение особей в локусах, созревание плодов и отмирание листовых пластинок.

Исходя из фенологических наблюдений, было установлено, что общая продолжительность вегетационного периода растений *Nymphoides peltata* составила

в среднем 165–170 дней (рис. 1, 2). Массовое цветение в 2018 году было зафиксировано в первой декаде июля, количество цветков над поверхностью воды, в среднем достигало 40–60 шт. (табл. 2). Фазу массового цветения можно было наблюдать достаточно долго – с начала июня, до середины сентября. Это связано с архитектурной моделью вида и особенностями его жизненной формы. Согласно данным Леднева, столоны-цветоносы на растении формируются каждый год, образуя серию цимозных соцветий по типу завитка, продолжительность жизни которых составляет в среднем 3 месяца [9]. За один вегетационный сезон на корневище у растения образуется до 5 столонов-цветоносов и на каждом формируется по 2–3 соцветия.

Таблица 2

Морфометрические параметры *Nymphoides peltata* (S. G. Gmel) Kuntze в течение периода вегетации растений (локалитет № 1 и № 2) (окр. пгт. Научный)

Морфометрические показатели	Сроки отбора					
		10.06.18	30.06.18	19.07.18	03.08.18	22.09.18
L, см	X	4,3±0,5	6,5±0,3	6,8±0,2	7,2±0,7	7,1±0,4
	Y	4,1±0,4	7,04±0,31	7,3±0,6	7,3±0,8	7,7±0,9
b, см	X	3,1±0,1	5,7±0,3	5,1±0,1	5,7±1,3	6,1±0,7
	Y	3,3±0,8	6,3±0,3	6,4±0,9	5,8±0,5	6,3±0,8
L ч, см	X	32,0±3,1	64,9±3,4	64,1±4,6	64,0±1,3	68,0±8,1
	Y	28,0±3,5	85,2±4,2	84,6±1,4	79,0±4,6	78,1±4,8
d ц, см	X	2,9±0,1	2,16±0,05	3,2±0,4	2,8±0,2	3,7±0,2
	Y	2,4±0,1	2,2±0,5	3,0±0,2	3,4±0,3	3,6±0,2
L цв, см	X	1,4±0,1	1,45±0,1	1,41±0,07	1,60±0,04	1,61±0,07
	Y	1,50±0,07	1,64±0,5	1,62±0,04	1,61±0,07	1,73±0,07
N, шт	X	22,1 ±1,0	64,0±2,8	65,0±3,3	68,0±3,8	16,8±3,0
	Y	31,2±2,1	48,0±3,2	33,0±3,2	19,0±4,2	60,0±1,1

Примечание: L – длина листовой пластинки *Nymphoides peltata*; b – ширина листовой пластинки *Nymphoides peltata*; Lч–длина черешка *Nymphoides peltata*; dц – диаметр цветка *Nymphoides peltata*; Lцв—длина цветоножки *Nymphoides peltata*; N – общее количество цветков в локусе (шт), локалитет № 1 – X локалитет № 2 – Y

Таким образом, массовое цветение растений, постепенный переход их в период зимнего покоя в октябре после образования семян, отмирание листовых пластинок и сохранение в зеленом состоянии черешков, указывает на положительную адаптивную реакцию вида к новым физико-географическими условиями местопроизрастания *Nymphoides peltata* в Горном Крыму.

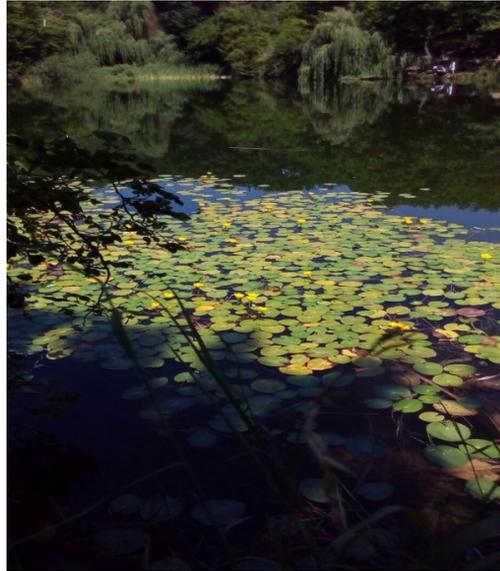


Рис. 1. *Nymphoides peltata* в фазу цветения растений (Локалитет № 2, окр. пгт. Научный, первая декада сентября 2018 г.).

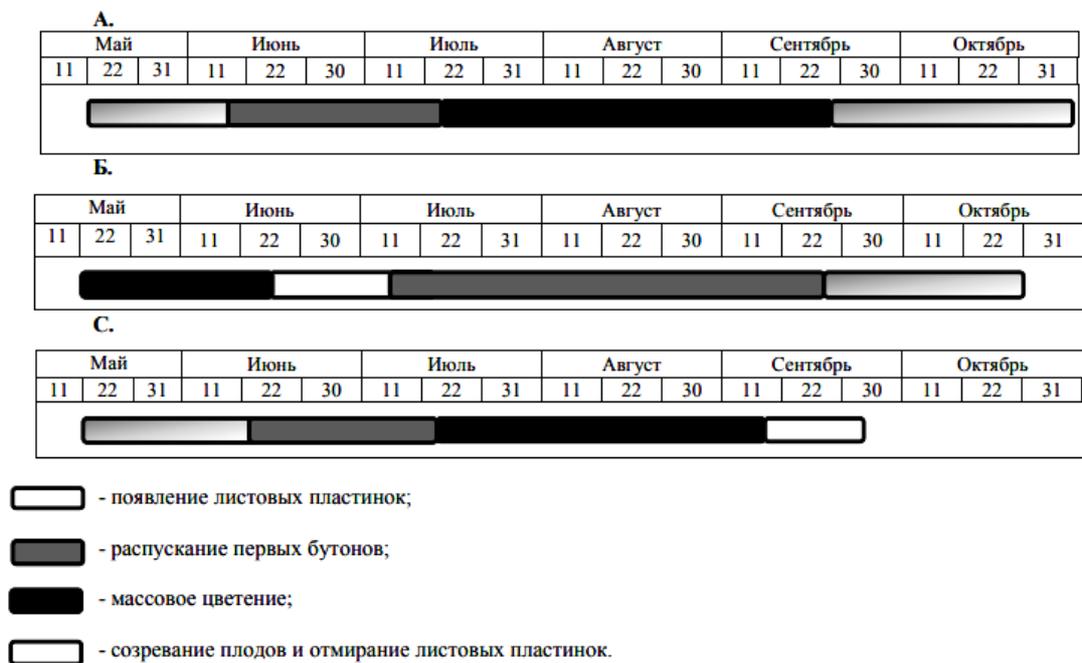


Рис. 2. Фенологический спектр сезонного развития *Nymphoides peltata* в условиях Горной зоны Крыма (2018 г.) (А. – Локалитет №1; Б. – Локалитет № 2; С. – Локалитет № 3)

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Морфометрические параметры растений *Nymphoides peltata* в условиях Горного Крыма оказались в пределах морфологической нормы вида и стабильными в течении двух лет наблюдений;
2. В ходе исследования было выявлено 5 фаз сезонного развития *Nymphoides peltata*: появление листовых пластинок над поверхностью воды, распускание первых бутонов, массовое цветение особей в локусах, созревание плодов и отмирание листовых пластинок;
3. Вегетационный период растений за период наблюдения составил в среднем 165–170 дней и завершился переходом растений в состояние зимнего покоя. Установленная закономерность указывает на положительную адаптивную реакцию вида к новым физико-географическими условиями местопроизрастания в Горном Крыму;
4. *Nymphoides peltata* в условиях Горного Крыма сохраняет свою жизненную форму и согласно биоморфологической характеристике является придаточнокорневым летнезимнезеленым коротко-корневищным многолетником с удлинненными столоновидными вегетативными и генеративными побегами.

Список литературы

1. Халявина С. В. Редкие и исчезающие виды водных и прибрежноводных растений в коллекции Ботанического сада Таврического национального университета им. В. И. Вернадского / Халявина С. В., Маслов И. И. // Экосистемы, их оптимизация и охрана. – 2011. – С. 183–187.
2. Голубев В. Н. Биологическая флора Крыма. / Голубев В. Н. – Ялта: ГНБС, 1996. – 86 с.
3. Губанов И. А. Иллюстративный определитель растений средней России / Губанов И. А., Киселева К. В., Новиков В. С., Тихомиров В. Н. – М., 2004. – 520 с.
4. Азовский М. Г. Высшие водные растения озера Байкал. / Азовский М. Г., Чепинога В. В. – Иркутск, 2007. – 1157 с.
5. Жмылев П. Ю., Биоморфология растений: иллюстративный словарь / Жмылев П. Ю., Алексеев Ю. Е., Карпухина Е. А., Баландин С. А. – М., 2005. – 256 с.
6. Леднев, С. А. Биоморфология и сезонное развитие *Nymphoides peltata* (Gmel.) O. Kuntze. – 2015. – 120 с.
7. Белявская А. П. Высшая водная растительность (Методика изучения биоценозов внутренних водоемов). / Белявская А. П. – М.: МГУ, 1975. – С. 117–132.
8. Starmach K. Metody badan spodowiska stawowego. / Starmach K. // Biul. Zakladu. Biol. stawow PAN. – 1954. – No 2. – P. 10–21.
9. Сорокин Ю. И. Первичная продукция морей и океанов / Сорокин Ю. И. // Итоги науки и техники. Общая экология. Биогеоценология. Гидробиология. – М. : ВИНТИ, 1973. – Т. 1. – С. 7–46.
10. Гигевич Г. С. Высшие водные растения Беларуси: эколого-биологическая характеристика, использование и охрана. / Гигевич Г. С., Власов Б. П., Вынаев Г. В. – Минск: БГУ, 2001. – 231 с.
11. Губанов И. А. *Nymphoides peltata* (S.G.Gmel.) O. Kuntze [*Limnanthemum nymphoides* (L.) Link] – Нимфейник, или Белоцветник щитолистный / Губанов И. А., Киселева К. В., Новиков В. С., Тихомиров В. Н. – Иллюстрированный определитель растений Средней России. В 3 т. – М. : Т-во науч. изд. КМК, Ин-т технолог. иссл., 2004. – Т. 3. Покрытосеменные (двудольные: раздельнолепестные). – 49 с.
12. Леднев С. А. Биоморфология и сезонное развитие *Nymphoides peltata* (Gmel.) O. Kuntze / Леднев С. А. // Бюллетень Московского общества испытателей природы. Отделение Биология. – 2015. – Т. 120, Вып. 1. – С. 69–75.

13. Садчиков А. П. Гидробиотика : Прибрежно-водная растительность : Учеб пособие для студ. высш. учеб. заведений / А. П. Садчиков, М. А. Кудряшов. – М. : Издательский центр «Академия», 2005. – 240 с.

**MORPHO-BIOLOGICAL FEATURES OF *NYMPHOIDES PELTATA* (GMEL.)
O. KUTZE IN THE CONDITIONS OF NATURAL FLORA OF MOUNTAIN
CRIMEA**

Zhaldak S. N., Bibik A. I.

*V. I. Vernadsky Crimean Federal University, Simferopol, Crimea, Russia
E-mail: bibik.nastasya@list.ru*

The urban village Nauchny is located on the territory of the Bakhchisarai region of the Republic of Crimea. It is characterized by a rather dense river network fed by rainwater. A reservoir in the vicinity of the urban village Nauchny where the *Nymphoides peltata* species grows in three localities, has been previously investigated. The lake under study is characterized by a high coefficient of openness and has a poor species composition of coastal and aquatic vegetation all types of vascular plants were taken into account. When determining the floristic composition of a freshwater reservoir. The flora of macrophytes in a freshwater reservoir currently includes 12 species of vascular plants. *Nymphoides peltata* was discovered in the vicinity of Nauchnyy in 2015, and the morphometric and phenological parameters of this species were studied in 2018.

The total duration of the growing season of *Nymphoides peltata* plants averaged 165–170 days was established from phenological observations. It was also found that the linear dimensions of the vegetative organs of introductions did not experience an active wave anthropogenic load in summer and practically did not differ from the morphometric parameters of plants at the Locus Number 3, growing at a considerable distance from the Locus Number 1 and Number 2.

Keywords: *Nymphoides peltata* (Gmel.) O. Kuntze., morphometric parameters, phenological spectrum, Mountainous Crimea.

References

1. Khalyavina S. V., Maslov I. I. Rare and endangered species of aquatic and coastal plants in the collection of the Botanical Garden of the Tavrichesky National University, *Ecosystems, their optimization and protection*, 183 (2011).
2. Golubev V. N. *Biological flora of Crimea*, 86 (Yalta: GNBS, 1996).
3. Gubanov I. A. *Illustrative guide to plants of Central Russia*, 520 (M., 2004).
4. Azovsky M. G., Chepinoga V. V. *Higher aquatic plants of Lake Baikal*, 1157 (Irkutsk, 2007).
5. Zhmylev P. Yu. *Biomorphology of plants: an illustrative dictionary*, 256 (M., 2005).
6. Lednev S. A. *Biomorphology and seasonal development of *Nymphoides peltata* (Gmel.) O. Kuntze*, 120 (2015).
7. Belyavskaya A. P. *Higher aquatic vegetation (Methods for studying biocenoses of inland water bodies)*, 117 (M. : Moscow State University, 1975).
8. Starmach K. Metody badan spodowiska stawowego, *Biul. Zakladu. Biol. stawow PAN*, 2, 10 (1954).

9. Sorokin Yu. I. Primary production of seas and oceans, *Outcomes of Science and Technology. General Ecology. Biogeocenology. Hydrobiology*, 7 (M., VINITI, 1973).
10. Gigevich G. S., Vlasov B. P., Vynaev G. V. *Higher aquatic plants of Belarus: ecological and biological characteristics, use and protection*, 231 (Minsk: BSU, 2001).
11. Gubanov I. A., Kiseleva K. V., Novikov V. S., Tikhomirov V. N. *Nymphoides peltata (SGGmel.) O. Kuntze*, 49 p. (M., The Institute of Technological Research, KMMK Publishing House, 2004).
12. Lednev S. A. Biomorphology and seasonal development of *Nymphoides peltata* (Gmel.) O. Kuntze., *Bulletin of the Moscow Society of Nature Testers*, **120**, **1**, 69 (2015).
13. Sadchikov A. P. *Hydrobotany: Coastal aquatic vegetation*, 240 p. (M. Publishing Center "Academia"2005).

УДК 597.5.591.11

DOI 10.37279/2413-1725-2020-6-4-78-89

ВОЗРАСТНЫЕ ОСОБЕННОСТИ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ОКИСЛИТЕЛЬНОГО СТРЕССА И СОДЕРЖАНИЯ АНТИОКСИДАНТОВ В ПЕЧЕНИ МОРСКОГО ЕРША *SCORPAENA PORCUS* ИЗ ПРИБРЕЖЬЯ БОЛЬШОГО КАВКАЗА

Залевская И. Н.¹, Руднева И. И.^{1,2}, Селюков А. Г.³, Щерба А. В.²

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

²*ФИЦ Институт биологии южных морей им. А. О. Ковалевского РАН, Севастополь, Россия*

³*Тюменский государственный университет, Тюмень, Россия*

E-mail: inz3@mail.ru

Сравнительный анализ размерно-массовых и морфофизиологических характеристик, показателей перекисного окисления липидов (ПОЛ) и содержания антиоксидантов в печени морского ерша из кавказских прибрежных вод показал наличие возрастных изменений. Содержание ТБК-реактивных продуктов преобладало в липидах печени 5-6-годовалых рыб по сравнению с более молодыми особями. Концентрация витамина А и каротиноидов в печени рыб не изменялась с возрастом. Возрастные различия размерно-массовых характеристик, морфофизиологических индексов, содержания продуктов ПОЛ и антиоксидантов у морского ерша могут отражать специфичность метаболических процессов в печени разновозрастных рыб, обусловленных особенностями развития и роста, а также накопления токсикантов в тканях, что необходимо учитывать при проведении мониторинговых исследований, ответных реакций рыб на действие неблагоприятных факторов и при оценке экологического состояния морских акваторий.

Ключевые слова: Черное море, морской ерш *Scorpaena porcus*, возраст, размерно-массовые характеристики, печень, перекисное окисление липидов, антиоксиданты.

ВВЕДЕНИЕ

Изучение физиолого-биохимических особенностей рыб представляет несомненный интерес для понимания механизмов адаптаций низших позвоночных к условиям существования, а также при их изменении. Последнее особенно актуально в настоящее время в связи с выраженными климатическими флуктуациями и активным антропогенным воздействием на водную среду. Для выяснения влияния этих процессов на природные популяции рыб используют разные биохимические параметры, которые характеризуют нарушение гомеостаза в случае изменения условий существования и развития стрессовых реакций [1]. Эффективными биомаркерами в этом случае являются показатели, отражающие состояние оксидантно-антиоксидантного баланса, играющего важнейшую роль в поддержании гомеостаза организма [2, 3]. Свободнорадикальное окисление (СРО) характерно для многих физиологических процессов, происходящих при росте, развитии, созревании и репродукции [4]. При

действии неблагоприятных факторов этот баланс смещается в результате усиления СРО, и происходит развитие окислительного стресса [5, 6]. Увеличение образования свободных радикалов и их накопление в клетках и тканях отрицательно влияет на жизнедеятельность организма, поскольку они обладают повреждающим действием на биомолекулы, мембраны и другие клеточные структуры.

Согласно свободнорадикальной теории старения [7] накопление этих соединений в клетках и тканях с возрастом приводит к развитию патологий, нарушает нормальное протекание многих физиологических процессов и функционирование органов и тканей. Исследование возрастных изменений у разных таксономических групп животных представляет интерес для выяснения механизмов, лежащих в основе роста, развития и старения организма. Если для высших животных эти процессы изучены относительно полно, то для рыб имеющаяся информация явно недостаточна [8, 9]. Это объясняется в том числе тем, что в природной среде сложно отобрать необходимое количество особей разных возрастных категорий. Поэтому возрастные изменения у рыб в основном изучены на видах, выращиваемых в условиях аквакультуры, что не всегда адекватно отражает реальные процессы, происходящие в организме в ходе онтогенеза у животных из природных популяций [10]. В связи с этим изучение биохимических показателей у разновозрастных рыб, обитающих в разных акваториях одного бассейна, является актуальным. В этом плане интересны организмы, ведущие оседлый образ жизни и не совершающие длительных миграций. К таковым относится морской ерш, который был определен нами в качестве биомонитора для Черного моря при экотоксикологической оценке состояния морской среды [11]. Проведенные ранее исследования морского ерша, обитающего в бухтах Севастополя, позволили выявить особенности его физиолого-биохимических характеристик в разные сезоны, годы, в разных акваториях, отличающихся уровнем антропогенного воздействия, половые и возрастные различия [11]. Следует отметить, что рыбы кавказского побережья в этом плане исследованы в меньшей степени и информация о них весьма ограничена [12]. На этом основании целью настоящей работы явилось изучение возрастной динамики показателей перекисного окисления липидов (ПОЛ) и содержания антиоксидантов (витамина А и каротиноидов) в печени морского ерша из прибрежных кавказских вод у поселка Шепси.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Рыб отлавливали в прибрежных водах Черного моря в районе курортного поселка Шепси Туапсинского района, расположенного в 9 км юго-восточнее Туапсе в устье реки Шепси.

Проводили полный биологический анализ рыб, находящихся на стадии зрелости гонад II, измеряли общую (TL, см) и стандартную (SL, см) длину, массу тела и массу тела без внутренностей, а также определяли индекс печени (ИП) как отношение массы печени к массе рыбы без внутренностей (в %). Гонадосоматический индекс (ГСИ) вычисляли как отношение массы гонад к массе рыбы без внутренностей (в %). Упитанность рыб анализировали по Фультону как отношение массы рыб к длине в кубе, а также по Кларк как отношение массы рыбы без внутренних органов к длине в кубе [13]. Возраст рыб анализировали по чешуе (3

особи возрастом 2 года, 4 особи возрастом 3 года, 7 особей возрастом 4 года, 3 особи возрастом 5–6 лет).

Печень рыб извлекали, взвешивали, перфузировали холодным физиологическим раствором на холоду и заливали 96 %-ным этанолом. Образцы хранили в холодильнике перед определением параметров перекисного окисления липидов. Затем ткань гомогенизировали в растворе гексан:изопропанол в соотношении 2:1, перемешивали и определяли содержание продуктов ПОЛ в пределах длин волн 215–273 нм, рассчитывали индекс окисленности липидов как отношение показателей экстинкции при 232 нм к 215 нм, содержание диеновых конъюгатов, используя молярный коэффициент экстинкции для сопряженных диенов, равный $2,2 \times 10^4 \text{ M}^{-1} \text{ cm}^{-1}$ [14], результаты выражали в мкмоль mg^{-1} липидов. Относительное содержание кетодиенов определяли по отношению показателей экстинкции при 270 нм к 215 нм. При определении реактивных продуктов тиобарбитуровой кислоты (ТБК-реактивных продуктов) 0,1 мл липидного экстракта в гексане смешивали с 0,5 мл 0,8 %-ного раствора 2-тиобарбитуровой кислоты и 5%-ным раствором трихлоруксусной кислоты, кипятили 10 минут. Показатели экстинкции анализировали при длине волны 532 нм, расчет вели с использованием молярного коэффициента экстинкции, который для триметинового комплекса, образуемого малоновым диальдегидом с 2-ТБК, равен $1,56 \times 10^4 \text{ M}^{-1} \text{ cm}^{-1}$. Результаты выражали в нмоль mg^{-1} липидов [15].

Содержание каротиноидов определяли в липидных экстрактах ткани печени рыб спектрофотометрически при длине волны 450 нм, витамина А – при длине волны 325 нм [16].

Статистический анализ результатов проводили общепринятыми методами, вычисляли среднее значение, ошибку средней, сравнение результатов осуществляли по критерию Стьюдента при $p < 0,05$ [17].

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Биологический анализ разновозрастных особей морского ерша приведен в таблице 1. Полученные данные показали последовательную динамику увеличения размеров и массы рыб, а также массы печени и гонад. В то же время величины упитанности рыб изменялись в меньшей степени (табл. 2). ИП активно возрастал у 2-х и 3-х годовалых рыб, у представителей более старших возрастных групп рост этого показателя был замедлен. Существенное увеличение ГСИ наблюдали у 4-х и 5-6-годовалых рыб, но не у 3-х годовалых по сравнению с 2-х годовалыми.

Результаты анализа показателей окислительного стресса в печени рыб позволили установить неоднозначную возрастную динамику (рис. 1). Индекс окисленности липидов не изменялся с возрастом, относительное содержание кетодиенов имело тенденцию снижению у старших возрастных групп. Содержание диеновых конъюгатов в липидах печени было достоверно ($p < 0,001$) снижено у 3-4-х годовалых рыб по сравнению с показателями других возрастных групп. Концентрация ТБК-реактивных продуктов в липидах печени рыб увеличивалась с возрастом, достигая максимальных величин у 5-6-годовалых рыб.

Таблица 1

Размерно-массовые характеристики рыб

Параметры	Возраст, год			
	2 (n=3)	3 (n=4)	4 (n=7)	5/6 (n=3)
Общая длина, см	12,56±0,98	16,95±1,05	16,79±0,64	20,57±0,37
Стандартная длина, см	10,05±0,63	13,05±1,13	13,58± 0,53	16,33±0,28
Высота, см	4,32±0,99	5,73±0,52	6,99±1,03	5,72±0,40
Масса рыбы, г	25,03±4,36	50,93±11,92	65,62±6,14	106,83±6,51
Масса рыбы без внутренностей, г	24,21±1,53	44,31±11,03	53,60±3,83	85,63±8,52
Масса печени, г	0,51±0,06	1,52±0,64	2,09±0,40	3,53±1,18
Масса гонад, г	0,24±0,03	0,38±0,14	1,04±0,56	2,24±1,32

Таблица 2

Морфо-физиологические индексы морского ерша

Параметры	Возраст, год			
	2 (n=3)	3 (n=4)	4 (n=7)	5/6 (n=3)
Упитанность по Фультону	2,48±0,41	2,31±0,13	2,61±0,15	2,45±0,08
Упитанность по Кларку	2,44±0,29	1,90±0,07	2,18±0,21	1,95±0,11
ИП	2,13±0,27	3,06±0,50	3,78±0,56	3,97±1,21
ГСИ	1,00±0,17	0,89±0,35	1,83±0,97	2,69±1,53

При этом установлена высокая корреляция между содержанием ТБК-реактивных продуктов в липидах печени и возрастом рыб ($r = 0,88, p < 0,05$). Между концентрацией других изученных параметров ПОЛ и возрастом рыб значимой зависимости не отмечено.

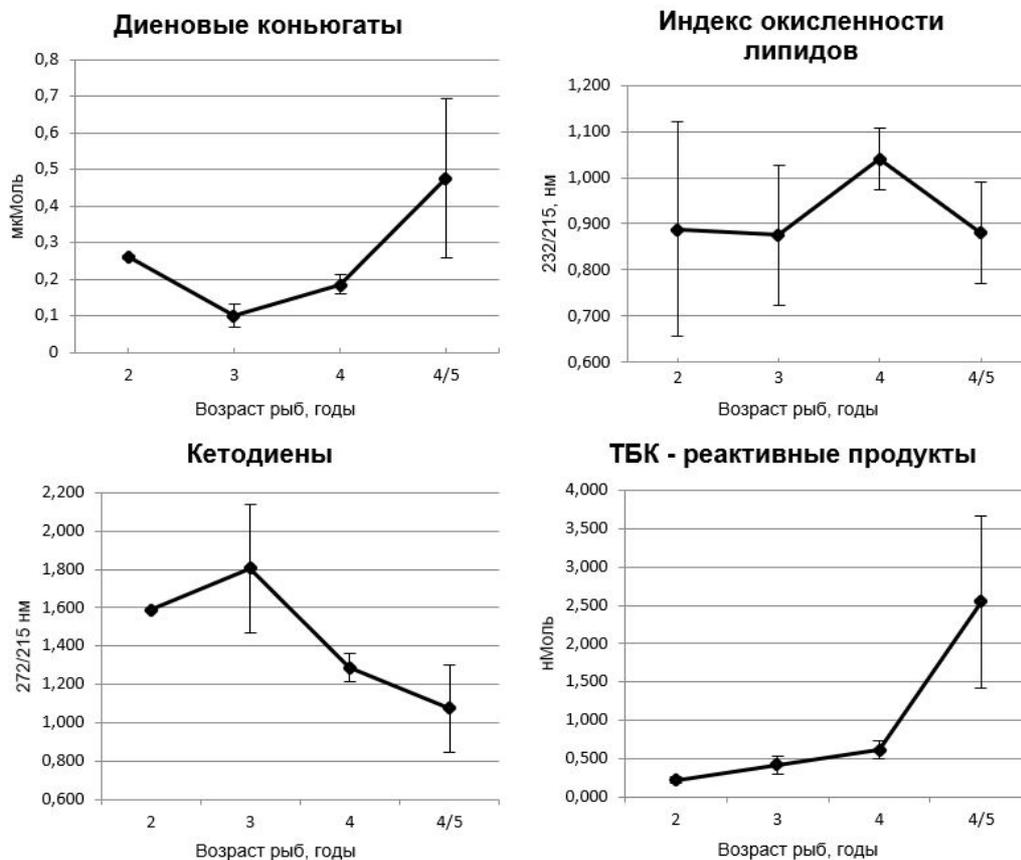


Рис. 1. Содержание продуктов ПОЛ (на мг липидов)в печени морского ерша разного возраста.

Содержание витамина А и каротиноидов в липидах печени с возрастом не изменялась (рис. 2), но проявляло тенденцию к увеличению у 4-х годовалых рыб

Таким образом, результаты проведенных исследований позволили установить определенные возрастные различия содержания продуктов окислительного стресса и антиоксидантов в печени морского ерша. Печень рыб как и других позвоночных животных является многофункциональным органом, где происходят процессы синтеза необходимых организму веществ и детоксикация ксенобиотиков. Она является энергетическим источником для обеспечения многих физиологических процессов в организме, включая рост, развитие, созревание, репродукцию [18]. При

этом с возрастом эти процессы могут существенно меняться, что отражается как на функционировании органа, так и маркеров, характеризующих его состояние.

Возрастные изменения оксидантно-антиоксидантного баланса продемонстрированы в тканях многих видов рыб, причем эти изменения имеют выраженные видовые особенности и являются тканеспецифическими [2, 4, 9, 19]. При этом исследователи в основном уделяли внимание сдвигам активности антиоксидантных ферментов, тогда как колебания параметров ПОЛ обсуждали в меньшей степени.

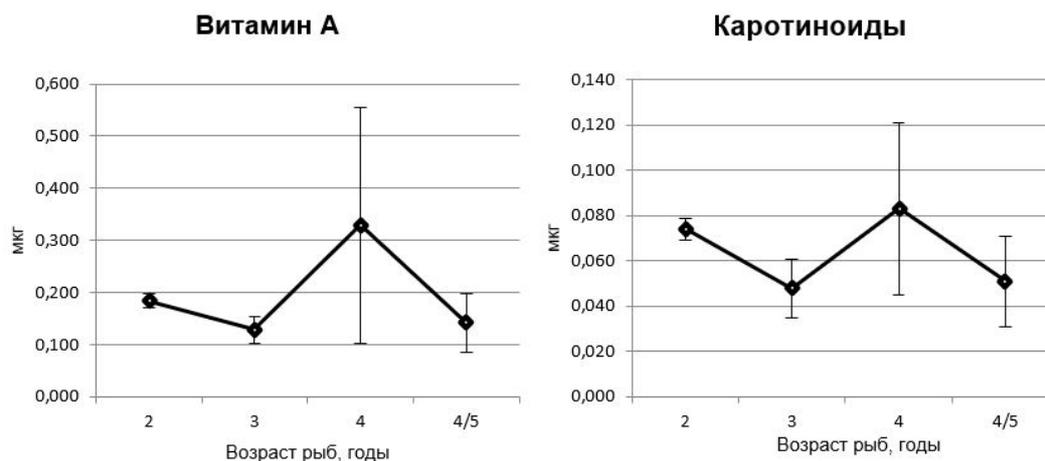


Рис. 2. Содержание антиоксидантов (на мг липидов) в печени морского ерша разного возраста

Было показано, что в тканях более молодых рыб активность антиоксидантных ферментов выше, чем у особей старших возрастных групп [20, 21]. Однако, возрастные сдвиги параметров окислительного стресса могут по-разному проявляться в тканях разных видов рыб. Так, ранее нами были установлены три варианта возрастных сдвигов активности антиоксидантных ферментов в эритроцитах крови рыб: 1. активность ферментов не изменялась с возрастом, 2. активность ферментов снижалась с возрастом и 3. активность ферментов увеличивалась с возрастом [22]. При этом у морского ерша, отловленного в прибрежных водах Севастополя, активность супероксиддисмутазы (СОД), каталазы (КАТ) и глутатионтрансферазы (ГСТ) в крови снижалась с возрастом, тогда как активность пероксидазы (ПЕР) и глутатионредуктазы (ГР) не изменялась. Возрастное увеличение активности глутатионпероксидазы (ГП) и КАТ было показано в крови адриатического лосося *Acipenser naccarii* [23]. Сходная динамика активности антиоксидантных ферментов была установлена в печени разновозрастных горбылей *Totoaba macdonaldi*, при этом было отмечено повышение активности ферментов в печени рыб, достигших половой зрелости [18]. Возрастное увеличение концентрации конечных продуктов ПОЛ (липофусцина) было

обнаружено в тканях короткоживущей рыбы *Nothobranchius rachovii*, служащей моделью для изучения процессов старения, при одновременном снижении активности ГП, СОД и КАТ, в то время как активность теломеразы не зависела от возраста [19].

В настоящем исследовании нами не установлены существенные различия в содержании промежуточных продуктов ПОЛ у разновозрастных особей морского ерша, за исключением снижения концентрации диеновых конъюгатов у 3-4-годовалых рыб и последовательного возрастания уровня ТБК-реактивных продуктов. При этом четко прослеживается прямая корреляция между содержанием этих компонентов и возрастом рыб ($r=0,88$).

Причинами усиления СРО и повышения концентрации продуктов ПОЛ могут быть как снижение защитных способностей организма и накопление в результате этого поврежденных биомолекул, генетических дефектов, патологий клеток, тканей и органов, так и аккумуляция ксенобиотиков в организме, оказывающих хронический токсический эффект, сопровождающийся окислительным стрессом. Причем у особей старших возрастных групп уровень токсикантов выше, и одновременно со снижением защитных свойств совокупный негативный эффект становится более выраженным. Так, например, было показано, что у двух видов скорпен *Helicolenus dactilopterus* и *Pontinus huhliti* накопление ртути в мышцах с возрастом существенно увеличивалось [24]. Такая же закономерность была обнаружена в печени, жабрах и мышцах леща *Abramis brama*, когда у рыб старших возрастных групп содержание тяжелых металлов значительно превосходило эти показатели у более молодых особей, а величины упитанности имели противоположную тенденцию [25]. Сходные данные были получены для кумжи *Salmo trutta*, когда у старших рыб содержание тяжелых металлов в тканях было значительно выше по сравнению с молодыми [26]. Совершенно очевидно, что накопление токсикантов в органах и тканях рыб является стрессовым фактором, который инициирует СРО и способствует накоплению продуктов ПОЛ в тканях, нарушает окислительно-антиоксидантный баланс. Таким образом, с одной стороны с возрастом ослабевают защитные возможности организма, с другой стороны происходит накопление вредных соединений различной природы, вызывающих повреждения и нарушение биологических структур и их функций, что было отмечено у разных таксономических групп животных [27–29]. Нельзя исключать и активацию метаболических процессов в печени рыб старших возрастных групп, связанных с половым созреванием, увеличением размеров самого органа, что подтверждается высокой корреляцией между содержанием ТБК-реактивных продуктов и ИП ($r=0,82$).

Обращает на себя внимание высокое содержание витамина А в печени 3-х годовалых морских ершей, что может быть обусловлено интенсивным питанием рыб и поступлением витамина с пищей, его аккумуляцией в гепатоцитах для усиления антиоксидантной функции с целью компенсации снижения активности ферментов и защитных систем [18]. В печени рыб этой возрастной группы отмечено самое низкое содержание диеновых конъюгатов, о чем было сказано выше.

Вероятно, половое созревание у 3-х годовалых рыб сопровождается существенной перестройкой метаболизма, включая оксидантно-антиоксидантный баланс.

Таким образом, результаты данного исследования вносят дополнительный вклад в свободнорадикальную теорию старения на примере низших позвоночных природных популяций. Дальнейшие исследования могут быть направлены на изучение роли эндо- и экзогенных условий, от которых зависят данные возрастные процессы, что важно для понимания механизмов онтогенеза и их зависимости от модулирующих их природных и антропогенных факторов,

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. С возрастом происходит увеличение размерно-массовых характеристик морского ерша, тогда как величины морфофизиологических индексов варьируют в меньшей степени.
2. Содержание компонентов ПОЛ – диеновых конъюгатов и ТБК-реактивных продуктов в печени рыб увеличивалось с возрастом, концентрация кетодиенов имела тенденцию к снижению, а индекс окисленности липидов не изменялся.
3. Содержание витамина А и каротиноидов в печени рыб разного возраста не различалось.

Работа 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. Balasch J. C. Netting the stress responses in fish / J. C. Balasch, L. Tort // *Frontiers in Endocrinology*. – 2019. – V. 10. – Article 62.
2. Fernandes C. Oxidative Stress Response in Gill and Liver of *Liza saliens*, from the Esmoriz-Paramos Coastal Lagoon Portugal / C. Fernandes, A. Fontainhas-Fernandes, M. Ferreira, M. A. Salgado // *Arch Environ Contam. Toxicol*. – 2008. – V.55. – P. 262–269.
3. Speakman J. R. Oxidative stress and life histories: Unresolved issues and current needs. / J. R. Speakman, J. D. Blount, A. M. Bronikowski, R. Buffenstein, C. Isaksson, T. B. Kirkwood // *Ecol. Evolution*. – 2015. – V. 5. – P. 5745–5757.
4. Birniy-Gauvin K. A comparative and evolutionary approach to oxidative stress in fish: a review. / K. Birniy-Gauvin, D. Costantini, S. J. Cooke, W. G. Willmore // *Fish Fish*. – 2017. – V. 18. – P. 928–942.
5. Van Der Oost R. Fish bioaccumulation and biomarkers in environmental risk assessment: a review / R. Van Der Oost, J. Beyer, N. P. E. Vermeulen // *Environ. Toxicol. Pharmacol*. – 2003. – V. 3. – P. 57–149.
6. Beaulieu M. Integrating oxidative ecology into conservation physiology / M. Beaulieu, A. M. Thierry, D. Gonzalez-Acuca, M. J. Polito // *Conserv. Physiol*. – 2013. – V. 1. – cot 004.
7. Harman D. The free radical theory of aging / D. Harman // *Antioxid. Redox. Sign*. – 2003. – V.5. – P. 557–561.
8. Almáida-Pagan P. F. Age-related changes in mitochondrial membrane composition of *Nothobranchius furzeri*: comparison with a longer-living *Nothobranchius* species / P. F. Almáida-Pagan, C. Ortega-Sabater, A. Lucas-Sanchez, D. Gonzalez-Silvera, A. Martinez-Nicolas, M. A. Rol de Lama, P. Mendiola, J. de Costa // *Biogerontology*. – 2019. – V. 20, Is. 1. – P. 83–92.

9. Parolini M. Age- and sex-dependent variation in the activity of antioxidant 2 enzymes in the brown trout (*Salmo trutta*) / M. Parolini, R. Iacobuzio, B. Bassano, R. Pennati, N. Saino // *Fish Physiology and Biochemistry*. – 2019. – V. 45. – P. 145–154
10. Almroth B. C. Early-age changes in oxidative stress in brown trout, *Salmo trutta*. / B. C. Almroth, A. Johansson, L. Furlin, J. Sturve // *Comp. Biochem. Physiol. B*. – 2010. – V. 155. – P. 442–448.
11. Экотоксикологические исследования прибрежной черноморской ихтиофауны в районе Севастополя. / ред Руднева И. И. – М.: ГЕОС, 2016. – 360 с.
12. Микряков В. Р. Влияние антропогенного загрязнения на иммунологические и биохимические механизмы поддержания гомеостаза у рыб Черного моря / В. Р. Микряков, Н. И. Силкина, Д. В. Микряков // *Биология моря*. – 2011. – Т. 37, № 2. – С. 141–147
13. Правдин И. Ф. Руководство по изучению рыб. / И. Ф. Правдин – М.: Пищ. Промышленность, 1966. – 376 с.
14. Стальная И. Д. Метод определения диеновой конъюгации ненасыщенных высших жирных кислот / И. Д. Стальная // *Современные методы в биохимии*. – М.: Медицина, 1977. – С. 62–64.
15. Стальная И. Д. Метод определения малонового диальдегида с помощью тиобарбитуровой кислоты / И. Д. Стальная, Т. Г. Гаришвили // *Современные методы в биохимии*. – М.: Медицина, 1977. – С. 66–68.
16. Карнаухов В. Н. Методы определения содержания каротиноидов и витамина А в тканях животных. / В. Н. Карнаухов, Г. Г. Федоров // *Методические рекомендации*. – Пушкино, 1982. – С. 15–18.
17. Лакин Г. Ф. Биометрия. / Г. Ф. Лакин. – М.: Высшая школа, 1990. – 352 с.
18. Hernandez-Aguilar S. B. Temporal variation in oxidative stress indicators in liver of totoaba (*Totoabamacdonaldi*) Perciformes: Sciaenidae / S. B. Hernandez-Aguilar, T. Zenteno-Savin, J. A. De-Ando-Montanez, L. C. Mendez-Rodriguez // *J. Marine Bio. Ass. United Kingdom*. – 2018. – V. 98, № 4. – P. 833–844.
19. Hsu Ch-Y. Age-related markers assayed at different developmental stages of the annual fish *Nothobranchius rachovii* / Ch-Y Hsu, Y-Ch. Chin, W-L. Hsu, Y-P. Chan // *J. Gerontology*. – 2008. – V. 63A, No 12. – P. 1267–1276.
20. Martinez-Alvarez R. M. Antioxidant defenses in fish: Biotic and abiotic factors / R. M. Martinez-Alvarez, A. E. Morales, A. Sanz // *Rev. Fish Biol. Fish*. – 2005. – V. 15. – P. 75–88.
21. Otto D. M. E. Endogenous antioxidant systems of two teleost fish, the rainbow trout and the T. W. black bullhead, and the effect of age / D. M. E Otto, T. W. Moon // *Fish Physiol. Biochem*. – 1996. – V. 15. – P. 349–358.
22. Rudneva I. I. Age composition and antioxidant enzyme activities in blood of Black Sea teleosts / I. I. Rudneva, E. N. Skuratovskaya, N. S. Kuzminova, T. B. Kovyrschina // *Comparative Biochemistry and Physiology. Part C Toxicology and Pharmacology*. – 2010. – V. 151. – P. 229–239.
23. Sanz A. Evolution of antioxidant defenses and lipid peroxidation with age in the sturgeon *Acipenser naccarii* / A. Sanz, M. C. Hidalgo, A. E. Morales, C. Cillero, A. Domezain, J. Domezain, M. Garcia-Gallego // *Proceedings of the 4th International Symposium on Sturgeon*, July 8–13, Oshkosh, WI – 2001. – P. 80–89.
24. Monteiro L. R. Mercury content in relation to sex, age and growth in two scorpionfish *Helicolenus dactilopterus* and *Pontinus huhliti* from Azorean waters / L. R. Monteiro, E. J. Isidro, H. D. Lopes // *Water, air and soil pollution*. – 1991. – V. 56. – P. 359–367.
25. Farkis A. Age- and size-specific patterns of heavy metals in the organs of freshwater fish *Abramis brama* L. populating a low-contaminated sites / A. Farkis, J. Salanki, A. Speziar // *Water Research*. – 2002. – V. 37 (5). – P. 959–964.
26. Linde A. R. Brown trout as biomonitor of heavy metal pollution: effect of age on the reliability of the assessment / A. R. Linde, S. Sanchez-Galan, J. L. Izquierdo, P. Arribas, E. Maranon, E. Garcia-Vazquez // *Ecotoxicology and Environmental Safety*. – 1998. – V. 40, Iss 1–2. – P. 120–126.
27. Eggas E. A study of gender, strain and age differences in mouse liver glutathione-S-transferase / E. Eggas, C. J. Falls, W. C. Dauterman // *Comparative Biochem Physiol Part C: Pharmacology, Toxicology and Endocrinology*. – 1995. – V. 110, Iss. 1. – P. 35–40.

28. Fujita Sh. Age-associated alterations in hepatic glutathione-S-transferase activities / Sh. Fujita, H. Kitagawa, H. Ishizawa, T. Suzuki, K. Kitani // *Biochemical Pharmacology*. – 1985. – V. 34, Is. 21. – P. 3891–3894.
29. Novoa-Valinas V. C. Hepatic glutathione-S-transferase from lamprey (*Petromyzom marinus*): purification and characterization / V. C. Novoa-Valinas, M. Perez-Lopez, M. Melgar-Riol // *Biochemical Systematics and Ecology*. – 2004. – V. 32, iss. 2. – P. 169–178.

**AGE-DEPENDENT PECULIARITIES OF THE OXIDATIVE STRESS
PARAMETERS AND ANTIOXIDANTS CONTENT IN THE LIVER OF
SCORPION FISH *SCORPAENA PORCUS* L. IN THE COASTAL WATERS OF
THE BOLSHOI CAUCASUS**

Zalevskaya I. N.¹, Rudneva I. I.^{1,2}, Selyukov A. G.³, Scherba A. V.²

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

²*A. O. Kovalevskiy Institute of the Biology of the Southern Seas RAS, Sevastopol, Russian Federation*

³*Tyumen State University, Tyumen, Russian Federation*

E-mail: inz3@mail.ru

Comparative study of size-weight characteristics, lipid peroxidation (LPO) parameters and antioxidants content in the liver of marine scorpion fish *Scorpaena porcus* caught in the coastal waters of the Caucasus at the region of Shepsy village demonstrated age-related differences. The increase of the size and weight, the mass of the liver and gonads was observed in the elder fish, while the condition index varied less. Liver somatic index (LSI) increased in 2-3 years old animals, in the elder fish the growth of this parameters was slowly. Significant increase of gonadosomatic index (GSI) was noted in 4-5 years old animals, while the differences between 2 and 3 years groups were not observed. Lipid oxidation index and relative concentration of the ketodiens did not vary in age. Content of dien conjugates in hepatic lipids was significantly lower ($p < 0,001$) in 3-4 years old fish as compared with the parameters of other studied age groups. TBA-reactive products concentration in the hepatic lipids increased with age and the highest values were observed in 5-6 years old animals. Significant correlation was shown between the content of TBA-reactive products in fish liver and the animals age ($r = 0,88$, $p < 0,05$), while between the other studied parameters and fish age no significant relations were noted. Vitamin A and carotenoids concentration did not vary with age, however the tendency to increase was observed in 4 years old fish. The reasons of the growth of reactive oxygen species processes (ROS) and the increase of lipid peroxidation compounds concentration can be connected with the decrease of the defense mechanisms of the organism and the damage biomolecules, genetic defects, cell pathologies, tissues and organs and accumulation of xenobiotics in the fish, which impact the organism, accompanied with the oxidative stress. In elder animals the concentration of toxic substances is greater, and together with the decrease of the defense systems the cumulative toxic effect becomes mote considarable. The obtained results in this study provide the additional information

for the understanding of the mechanisms of ROS theory of aging at the case of vertebrates of the natural populations. Further investigations could be strengthening to the study the role of endo- and exogenous conditions, modulating the age processes in aquatic organisms, which is important for the ontogenesis mechanisms and they dependence on natural and anthropogenic factors.

Keywords: Black Sea, scorpion fish *Scorpaena porcus*, age, size and weight characteristics, morphological and physiological indices, liver, lipid peroxidation, antioxidants.

References

1. Balasch J. C., Tort L. Netting the stress responses in fish, *Frontiers in Endocrinology*, **10**, Article 62. (2019).
2. Fernandes C., Fontanhas-Fernandes A., Ferreira M., Salgado M. A., Oxidative Stress Response in Gill and Liver of *Liza saliens*, from the Esmoriz-Paramos Coastal Lagoon Portugal, *Arch Environ Contam. Toxicol*, **55**, 262 (2008).
3. Speakman J. R., Blount J. D., Bronikowski A. M., Buffenstein R, Isaksson C., Kirkwood T. B. Oxidative stress and life histories: Unresolved issues and current needs, *Ecol. Evolution.*, **5**, 5745 (2015)
4. Birniy-Gauvin K., Costantini D., Cooke S. J., Willmore W. G. A comparative and evolutionary approach to oxidative stress in fish: a review, *Fish Fish.*, **18**, 928 (2017).
5. Van Der Oost R., Beyer J., Vermeulen N. P. E. Fish bioaccumulation and biomarkers in environmental risk assessment: a review, *Environ. Toxicol. Pharmacol.*, **3**, 57 (2003).
6. Beaulieu M., Thierry D., Gonzalez-Acuca A. M., Polito M. J. Integrating oxidative ecology into conservation physiology, *Conserv. Physiol.*, **1**, cot 004. (2013).
7. Harman D. The free radical theory of aging, *Antioxid. Redox. Sign.*, **5**, 557 (2003)
8. Almaida-Pagan P. F., Ortega-Sabater C., Lucas-Sanchez A., Gonzalez-Silvera D., Martinez-Nicolas A., Rol de Lama M. A., Mendiola P., de Costa J., Almaida-Pagan P. F. Age-related changes in mitochondrial membrane composition of *Nothobranchius furzeri*: comparison with a longer-living *Nothobranchius* species, *Biogerontology*, **20** (Is. 1), 83 (2019).
9. Parolini M., Iacobuzio R., Bassano B., Pennati R., Saino N. Age- and sex-dependent variation in the activity of antioxidant 2 enzymes in the brown trout (*Salmo trutta*), *Fish Physiology and Biochemistry*, **45**, 145 (2019).
10. Almroth B. C., Johansson A., Furlin L., Sturve J. Early-age changes in oxidative stress in brown trout, *Salmo trutta*, *Comp. Biochem. Physiol. B.*, **155**, 442 (2010).
11. Ecotoxicological; studies the Black Sea coastal ichthyofauna at Sevastopol region (Rudneva I.I. ed). 360 p. (Moscow, GEOS, 2016) (in Russ)
12. Mikraykov V. R., Silkina N. I., Mikraykov D. V. The influence of anthropogenic pollution on immunological and biochemical mechanisms of homeostasis in the Black Sea fish species, *Marine Biology*, **37**(2), 141 (2011) (in Russ).
13. Pravdin I. F. Manual Book for fish study. 376 p. (Moscow, Pishhevaya promyshlennost, 1966) (in Russ)
14. Stalnaya I. D. Method of the determination of dien conjugation of unsaturated fatty acids. *Current methods in biochemistry*, 62 (Moscow, Medicina, 1977) (in Russ)
15. Stalnaya I. D., Garishvili T. G. Method of th determination of malonic aldehyde used tiobarbituric acid *Current methods in biochemistry*, 66 (Moscow, Medicina, 1977) (in Russ)
16. Karnauhov V. N., Fedorov G. G. Methods of the determination of carotenoids content and vitamin A in the animals tissues. Methodological recommendations, 15 (Pushino, 1982) (in Russ)
17. Lakin G. F. Biometry, 352 p. (Moscow, Vysshaya shkola, 1990) (in Russ)
18. Hernandez-Aguilar S. B., Zenteno-Savin T., De-Ando-Montanez J. A., Mendez-Rodriguez L. C. Temporal variation in oxidative stress indicators in liver of totoaba (*Totoaba macdonaldi*) Perciformes: Sciaenidae. *Marine Bio. Ass. United Kingdom.*, **98** (4), 833 (2018).
19. Hsu Ch-Y., Chin Y-Ch., Hsu W-L., Chan Y-P. Age-related markers assayed at different developmental stages of the annual fish *Nothobranchius rachovii*, *J. Gerontology*, 2008, **63A** (12), 1267 (2008).

20. Martinez-Alvarez A. E., Morales A., Sanz A. Antioxidant defenses in fish: Biotic and abiotic factors, *Rev. Fish Biol. Fish*, **15**, 75 (2005).
21. Otto D. M. E., Moon T. W. Endogenous antioxidant systems of two teleost fish, the rainbow trout and the T.W. black bullhead, and the effect of age, *Fish Physiol. Biochem.*, **15**, 349 (1996).
22. Rudneva I. I., Skuratovskaya E. N., Kuzminova N. S., Kovyrshina T. B. Age composition and antioxidant enzyme activities in blood of Black Sea teleosts, *Comparative Biochemistry and Physiology. Part C Toxicology and Pharmacology*, **151**, 229 (2010).
23. Sanz A., Hidalgo M. C., Morales A. E., Cillero C., Domezain A., Domezain J., Garcia-Gallego M. Evolution of antioxidant defenses and lipid peroxidation with age in the sturgeon *Acipenser naccarii*, *Proceedings of the 4th International Symposium on Sturgeon, July 8- 13, Oshkosh, WI*, 80 (2001).
24. Monteiro L. R., Isidro E. J., Lopes H. D. Mercury content in relation to sex, age and growth in two scorpionfish *Helicolenus dactilopterus* and *Pontinus huhliti* from Azorean waters, *Water, air and soil pollution*, **56**, 359 (1991).
25. Farkis A., Salanki J., Speziar A. Age- and size-specific patterns of heavy metals in the organs of freshwater fish *Abramis brama* L. populating a low-contaminated sites, *Water Research*. **37** (5), 959 (2002).
26. Linde A. R., Sanchez-Galan S., Izquierdo I. J., Arribas P., Maranon E., Garcia-Vazquez E. Brown trout as biomonitor of heavy metal pollution: effect of age on the reliability of the assessment, *Ecotoxicology and Environmental Safety*, **40** (1-2), 120 (1998).
27. Eggas E. A., Falls C. J., Dauterman W. C. Study of gender, strain and age differences in mouse liver glutathione-S-transferase, *Comparative Biochem. Physiol. Part C: Pharmacology, Toxicology and Endocrinology*, **110** (1), 35 (1995).
28. Fujita Sh., Kitagawa H., Ishzawa H., Suzuki T., Kitani K. Age-associated alterations in hepatic glutathione-S-transferase activities, *Biochemical Pharmacology.*, **34** (21), 3891 (1985).
29. Novoa-Valinas V. C., Perez-Lopez M., Melgar-Riol M. Hepatic glutathione-S-transferase from lamprey (*Petromyzon marinus*): purification and characterization, *Biochemical Systematics and Ecology.*, **32**, (2), 169 (2004).

УДК 004:57:616-07

DOI 10.37279/2413-1725-2020-6-4-90-100

ФИЗИОЛОГИЧЕСКАЯ ОБЪЕКТИВИЗАЦИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ФИЗИЧЕСКОЙ РЕАБИЛИТАЦИИ У ЛИЦ ПОЖИЛОГО ВОЗРАСТА НА ОСНОВЕ ОЦЕНКИ СКОРОСТИ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ СЕРДЦА

Минина Е. Н.¹, Хаит Н.², Компилецкая О. П.¹

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

*²Медицинская 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.ua*

Определено, что физиологическая объективизация полученных результатов физической реабилитации и оценка её эффективности возможна только на основе тщательного анализа как индивидуальных возрастных изменений кардиореспираторной системы, а также персонализированного контроля за происходящими изменениями функционального состояния в процессе коррекции. Установлено, что признаки графической иллюстрации одноканальной ЭКГ, полученные путём преобразования электрического сигнала миокарда в условной фазовой плоскости, как отдельно, так и в совокупности, количественно отражали эффективность проведенной программы физической реабилитации у женщин пожилого возраста.

Ключевые слова: фазокардиография, функционирование кардиореспираторной системы, пожилые, гипоканния, электрическая активность сердца, симметрия зубца Т.

ВВЕДЕНИЕ

Во многих странах мира, в том числе и в России, отмечается устойчивая тенденция к старению населения и увеличению количества людей пожилого возраста. Изучение физиологических основ старения и предупреждение преждевременного старения человека – основная задача возрастной физиологии и геронтологии [1]. Это связано с тем, что старение человека в преобладающем большинстве протекает по патологическому, преждевременному типу. Современное поколение людей сопровождают заболевания, широко распространенные во второй половине жизни - атеросклероз, ишемическая, гипертоническая болезнь, сахарный диабет и другие, ускоряя развертывание программы старения и приводя к потере умственной и физической активности, что в конечном итоге способствует преждевременному старению человека, к неполному использованию им видового и биологического предела жизни [2].

В связи с этим одной из важных медико-биологических и социальных проблем является поддержание физической формы и умственных способностей у лиц

пожилого возраста, обеспечивающие полезность человека в социуме. Сохранение мыслительной и двигательной активности в старших возрастных группах должны начинаться с молодого возраста и включать разумное и рациональное использование питания, физических и умственных нагрузок, а также применение геропротекторов, обеспечивающих активный стиль жизни людей. Главной задачей профилактических мероприятий будет являться сохранение органов и систем в оптимальном функциональном состоянии на всем протяжении жизни и особенно в возрасте после 55–60 лет. Адекватное внешним нагрузкам функционирование сердечно-сосудистой и дыхательной систем имеет важное значение на протяжении всей жизни человека. Оптимизация кардиореспираторной функции обеспечивает физическую работоспособность, что особенно важно для пожилых людей не только в обеспечении качества жизни, но и продлении активного долголетия и трудоспособного периода жизни [1, 2]. Это обуславливает поиск новых подходов и методик построения программ физической реабилитации с лицами пожилого возраста, а так же методологий выявления их эффективности и физиологической объективизации произошедших в процессе коррекции изменений [3]. В этих условиях дозирование физических нагрузок, применение и разработка информативных методов и технологий динамического и оперативного контроля за функциональным состоянием организма в процессе выполнения различных заданий, а также в процессе реабилитации крайне актуальны и способствуют снижению риска возникновения сердечно-сосудистых катастроф.

Наиболее распространенный и доступный способ оценки деятельности сердечной деятельности – электрокардиография. Однако чувствительность и специфичность обычного электрокардиографического обследования, особенно в области пограничных состояний, недостаточно высоки, а его разрешающая способность незначительна. Это побуждает исследователей постоянно искать новые подходы к решению задачи регистрации электрического сигнала миокарда и его прогностического анализа. Метод, применённый в данном исследовании, отображает ЭКГ в фазовом пространстве координат, и на основе исследований временной характеристики электрокардиосигнала оценивается его производная с графическим отображением в координатах зависимости между амплитудой и скоростью изменения биопотенциала во времени. Применение теории избыточных измерений фазового сдвига периодических сигналов разной физической природы, описывая частные законы, принципы, методы, математические модели, может составить новую стратегию измерений электрических сигналов миокарда при их значительной чувствительности и специфичности к изменениям в организме.

Цель исследования – определить возможность физиологической объективизации эффективности физической реабилитации у лиц пожилого возраста на основе использования фазографических показателей электрической активности сердца.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Исследования проводились на базе ГБУ РК «Симферопольский пансионат для престарелых и инвалидов». Выборку составили 25 женщин в возрасте 60–65 лет в

период 2016–2017 года. При отборе когорты женщин для участия в реабилитационной программе, с помощью клинических и инструментальных методов исследования исключалась патология сердечно-сосудистой, дыхательной, эндокринной и других систем организма. Для данной группы была составлена программа респираторной коррекции, включающая занятия дыхательной гимнастикой по 15–20 мин 5 раз в неделю и комплекс динамических упражнений общеукрепляющего характера без предметов и с предметами по 20–30 минут 3 раза в неделю в течение 6 недель.

Параметры кардиореспираторной системы фиксировали до и после коррекции. Исследование системы кровообращения проводили реографическим методом, с помощью метода импедансной реографии при помощи прибора ReoComStandart. 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.

Функциональное состояние респираторной системы изучали методом пневмотахометрии с использованием прибора «Спиро-Тест РС» с компьютерной обработкой регистрируемых показателей. При этом фиксировали следующие функциональные показатели: объём легочной вентиляции (VE, л/мин), дыхательный объём (VT, мл), частоту дыхательных движений (f, цикл/мин), пиковую объёмную скорость (PEV, л/с), жизненную ёмкость лёгких (VC, л), резервный объём вдоха (IRV, мл), резервный объём выдоха (ERV, мл). Оценивали уровень дыхания (УД, отн. ед) по соотношению ERV/IRV. Капнометрия проводилась с помощью ультразвукового проточного капнометра КП-01-«ЕЛАМЕД». Капнограмму записывали в состоянии относительного покоя. Регистрировали следующие показатели: показатель неравномерности дыхания (UB, %), долю мёртвого пространства в общей вентиляции (Vd/VE, %), конечно-эспираторное парциальное давление CO₂, (PetCO₂, мм рт.ст.).

Регистрацию и анализ скорости электрической активности сердца производили на основе фазографических показателей электрокардиограммы, полученной преобразованием одноканальной ЭКГ в фазовом пространстве, что осуществляли с помощью программно-технического комплекса ФАЗАГРАФ[®], в котором реализована оригинальная информационная технология обработки электрокардосигнала в фазовом пространстве с использованием идей когнитивной компьютерной графики и методов автоматического распознавания образов (рис. 1). Кроме того использована цифровая обработка полученных данных и метод визуализации на плоскости [4–6]. Анализировали параметры фазовой графической иллюстрации и их совокупность: параметр рассеивания точек фазовых траекторий (σ_{QRS} , ед.), угол ориентации усредненной фазовой траектории (α_{QRS} , град.), показатель отношения площадей петель зубца T и комплекса QRS усредненной фазовой траектории (S_{TR} , ед.), параметр симметрии фрагмента реполяризации усредненной фазовой траектории (β_T , ед.) и его дисперсию $D\beta_T$, ед.

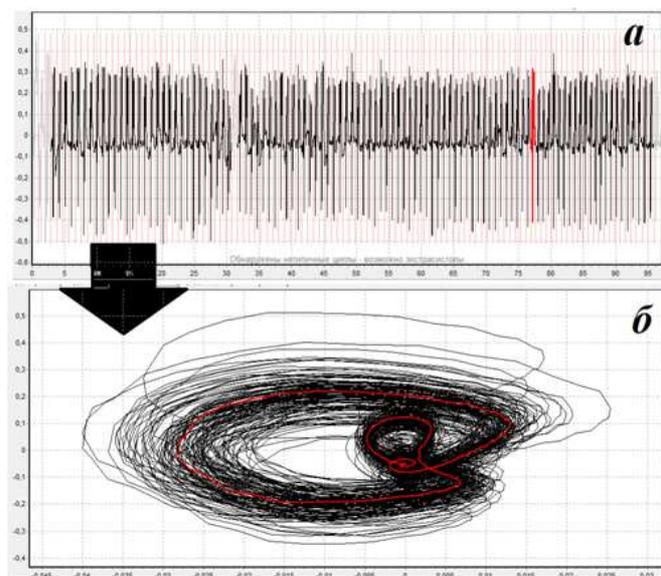


Рис. 1. Последовательность этапов обработки ЭКГ: исходная ЭКГ (а); ее фазовая траектория – фазовая графическая иллюстрация (б).

Для оценки эффективности функционирования сердечно-сосудистой системы при применялась предложенная схема принятия диагностических решений по совокупности фазографических показателей β_T , S_{TR} , α_{QRS} и σ_{QRS} , основанная на принципе равноправных «голосований» (табл. 1).

Референтные диапазоны описаны в [5]. Для количественной оценки применялась формализованная балльная система.

Таблица 1.

Схема принятия решений по совокупности 4-х фазометрических показателей

Решение о функциональном состоянии сердечно-сосудистой системы	Условие, налагаемые на значения показателей β_T , S_{TR} , α_{QRS} и σ_{QRS}	Баллы
Функциональная норма	Все показатели в пределах референтных диапазонов	0
Условно нормальное	Один из показателей вне референтного диапазона	0,5
Низкий риск нарушений	Два показателя вне референтного диапазона	1
Средний риск нарушений	Три показателя вне референтного диапазона	2
Высокий риск нарушений	Четыре показателя вне референтного диапазона	3

Примечание: норма, при условии $\beta_T < 0,72$ ед., $110 < \alpha_{QRS} < 185$ град., $10 < \sigma_{QRS} < 30$, $S_{TR} > 0,02$ у.е.

Дополнительно анализировали следующие показатели кардионтервалографии: индекс напряжения Баевского (ИН, усл. ед), а также спектральные показатели сердечного ритма: высокочастотная компонента (HF, %), медленные волны 1 порядка (LF, %), а также рассчитывали LF/HF (усл. ед.), характеризующий рост централизации управления.

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 начале и конце коррекции использовали параметрический Т-критерий Стьюдента и непараметрический Т-критерий Вилкоксона.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Возрастные изменения исследуемых женщин в начале курса характеризовались нарушением вентиляционной функции, обусловленные механическими свойствами аппарата дыхания и уменьшением просвета бронхов. Как видно из таблицы 2, возрастные изменения системы внешнего дыхания при первичном обследовании у исследуемых сопровождались снижением эффективности функционирования системы внешнего дыхания. Так, на фоне тахипноического паттерна дыхания отмечалось уменьшение VC, л (65,5 % от должных значений), что напрямую связано с дегенеративно-дистрофическими нарушениями (которые затрагивают как инспираторные, так и экспираторные мышцы), приводящими к их ригидности дыхательной мускулатуры и падению сократительной способности при дыхательных движениях. Существенная роль в оценке состояния системы внешнего дыхания отводится показателям IRV и ERV. Для обследуемых лиц было характерным снижение резервного объема выдоха относительно резервного объема вдоха, а как результат уменьшение уровня дыхания, показатель которого не превышал $0,38 \pm 0,02$ отн. ед.

Очевидно, при таком уровне дыхания создаются дополнительные условия для усиления элиминации метаболического CO₂, что способствовало формированию состояния низкого парциального давления углекислого газа в альвеолярном воздухе. Перераспределение составляющих VC в сторону увеличения роли IRV в активизации вентиляционной функции свидетельствовало о перестройке структуры дыхательного цикла в сторону усиления значения инспираторной активности в формировании необходимого уровня лёгочной вентиляции. Приспособительное значение в этой ситуации может иметь снижение рефлекса Геринга–Брейера, ослабление афферентной импульсации в лёгких. Обратная информация с рецепторного аппарата лёгких обычно ограничивает амплитуду дыхательных движений. Также до коррекционных мероприятий было зарегистрировано значительное снижение PEF относительно должных величин в среднем на 20,0 %. Снижение возможностей дыхательной мускулатуры у пожилых женщин, компенсировались тахипноическим типом дыхания для достижения определенной величины минутного объема дыхания, что сопровождалось сниженными

показателями дыхательного объема, в среднем на 21 % меньше должных возрастных значений.

Таблица 2.
Показатели функционального состояния кардиореспираторной системы внешнего дыхания пожилых женщин до и после курса физической реабилитации ($\bar{X} \pm Sx$, n=25)

Показатели	Условия		Достоверность
	До	После	
f, цикл/мин	23,5±0,5	17,5±0,5	<0,001
VC, л	2,9±0,2	3,2±0,2	
ERV / IRV, ед.	0,38±0,02	0,56±0,03	<0,001
PEV, л/с	3,20±0,15	3,60±0,15	
VT, мл	440,5±2,15	500,5±5,22	<0,001
VE, л/мин	10,4±0,3	8,8±0,2	<0,001
UB, %	31,5±1,2	19,5±1,5	<0,001
Pet CO ₂ , ммрт.ст.	28,6±1,5	36,3±2,1	<0,01
Vd/VE, %	33,5±2,0	22,6±1,6	<0,001
ЧСС, уд/мин	87,5±2,8	79,5±2,0	
АДс, мм рт. ст.	135,5±1,1	135,5±1,2	
АДд, мм рт. ст.	84,4±2,5	75,3±2,0	<0,01
ИН, ед.	325,5±15,6	215,0±11,0	<0,001

В результате инволюционных перестроек, ограничивающих возможности эффективного функционирования дыхательного аппарата, у исследуемой группы было выявлено уменьшение парциального давления углекислого газа до $28,6 \pm 1,5$ мм рт. ст., в конечной порции выдыхаемого воздуха, что соответствует его содержанию в альвеолярном воздухе. При этом доля мертвого пространства в альвеолярной вентиляции составила $33,5 \pm 2,0$ %. Развитие гипокапнического состояния не только способствует резкому падению приспособительных возможностей организма, но и является причиной развития как регуляторных сдвигов, так и кардиореспираторной патологии. Так, капнографическое обследование позволило определить, что до реабилитации показатель неравномерности дыхания у пожилых женщин в среднем составлял более 30 % (при норме от 0 до 30 %), что свидетельствовало о доминировании психоэмоционального фактора в системе нейрогуморальной регуляции функции дыхания [1].

В результате проведенного реабилитационного курса, направленного на коррекцию функционального состояния кардиореспираторной системы обследуемых, произошли определенные изменения. Так в системе внешнего дыхания следует отметить уменьшение частоты дыхательных движений на 28,5 % ($p < 0,001$), при этом объем легочной вентиляции в среднем снизился на 2 литра,

($p < 0,001$). Систематическое выполнение комплекса динамических и статических физических и дыхательных упражнений способствовало укреплению инспираторной и экспираторной мускулатуры, что проявлялось увеличением величины VC и перераспределению доли ее составляющих. По данным капнометрии с увеличением уровня дыхания на 48,5 %, ($p < 0,001$), вклад психоэмоционального фактора в регуляцию дыхательного акта снизился в среднем на 29,2 % ($p < 0,001$).

В свою очередь, изменение характера дыхания сопровождалось накоплением углекислого газа в альвеолярном воздухе до нормокапнического уровня ($p < 0,01$). Также важным положительным эффектом предложенной коррекции можно считать уменьшение доли мертвого пространства в альвеолярной вентиляции на $23,6 \pm 1,6$ % ($p < 0,001$).

При анализе состояния сердечно-сосудистой системы было выявлено, что ЧСС и АД находились в пределах возрастной нормы и незначительно изменились после курса реабилитации. Снижение метаболического запроса сердечной мышцы в покое по показателю ДП у исследуемых женщин в среднем до значений $107,5 \pm 0,9$ усл. ед. ($p < 0,001$) отражало повышение эффективности и экономизации сердечной деятельности (табл. 3). Важно отметить, что в пожилом возрасте рост интенсивности энергетических и пластических процессов в миокарде создает условия для энергетически-динамической недостаточности сердца в условиях напряженной деятельности.

Таблица 3.
Показатели сердечно-сосудистой системы пожилых женщин до и после курса физической реабилитации ($X \pm Sx$, $n=25$)

Условия	СИ, л/мин/м ²	ДП, усл. ед. в покое	ДП, усл. ед. при нагрузке 75 Вт	LF/HF, усл.ед
до	$2,5 \pm 0,1$	$115,5 \pm 1,1$	$195,7 \pm 3,2$	$2,5 \pm 0,2$
после	$2,7 \pm 0,1$	$107,5 \pm 0,9$	$168,5 \pm 2,1$	$1,9 \pm 0,1$
достоверность	–	$< 0,001$	$< 0,001$	–

Изменение дыхательного паттерна в результате курсового применения физической и дыхательной тренировки значительно повлияла на толерантность к физической нагрузке на фоне тенденции снижения симпатикотонической регуляции.

Однако наиболее информативными в оценке эффективности проведенных реабилитационных мероприятий оказались фазографические показатели электрической активности сердца, отражающие скоростные особенности биосигнала. Так, ярко выраженная симпатикотония до курса реабилитации по показателю вагосимпатического баланса LF/HF у женщин пожилого возраста сопровождалась увеличением значения показателя симметрии зубца T до $1,02 \pm 0,05$, что количественно отражало низкие резервы миокарда (табл. 3) [8]. Оптимизация

регуляции газового гомеостаза отразилась на резервах миокарда по снижению β_T в среднем на 13 % ($p < 0,05$) при стабилизации значений $D \beta_T$ на 38,0 % ($p < 0,01$) и снижению напряжения механизмов регуляции более чем на 30 % ($p < 0,001$).

Интегральный показатель по совокупности фазометрических признаков достоверно характеризовал эффективность проведенных реабилитационных мероприятий при уменьшении его численного значения более чем на 25 % ($p < 0,001$).

Таблица 4.

Показатели фазометрических показателей одноканальной ЭКГ пожилых женщин до и после коррекции ($X \pm Sx$, $n=25$)

Показатели	Условия		Достоверность
	До	После	
β_T , ед.	1,02±0,03	0,89±0,03	<0,05
$D \beta_T$, ед.	0,15±0,05	0,08±0,01	<0,01
Σ фазометр., баллы	2,8±0,1	2,2±0,1	<0,001

Таким образом, проведенный курс физических упражнений и дыхательной гимнастики у исследуемых женщин пожилого возраста способствовал формированию более адекватного паттерна дыхания, ликвидации явлений гипервентиляции и гипокании, экономизации деятельности сердечно-сосудистой системы. При этом изменение скорости электрической активности сердца по фазографическим показателям достоверно отражают произошедшие изменения после проведенной коррекции.

Полученные результаты дают основание заключить, что физиологическая объективизация полученных результатов физической реабилитации и оценка её эффективности возможно только на основе тщательного анализа как индивидуальных возрастных изменений кардиореспираторной системы, а также персонифицированного контроля за происходящими изменениями функционального состояния в процессе коррекции. Установлено, что признаки графической иллюстрации одноканальной ЭКГ, полученные путём преобразования электрического сигнала миокарда в условной фазовой плоскости, как отдельно, так и в совокупности, количественно отражали эффективность проведенной программы физической реабилитации у женщин пожилого возраста.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. До коррекционных мероприятий у пожилых женщин было зарегистрировано значительное снижение PEF относительно должных величин в среднем на 20,0 %, сниженные показатели дыхательного объёма в среднем на 21 % меньше должных значений, уменьшение парциального давления углекислого газа до $28,6 \pm 1,5$ мм рт. ст., увеличение доли мертвого пространства в альвеолярной

- вентиляции до $33,5 \pm 2,0$ % и доминировании психоэмоционального фактора в системе нейрогуморальной регуляции функции дыхания.
2. В результате проведенного реабилитационного курса, направленного на коррекцию функционального состояния кардиореспираторной системы обследуемых, произошли определенные изменения: уменьшение частоты дыхательных движений на 27,5 % ($p < 0,001$), снижение объема легочной вентиляции в среднем на 2 литра, ($p < 0,001$), увеличение уровня дыхания на 48,5 %, ($p < 0,001$), снижение вклада в среднем на 29,2 % ($p < 0,001$).
 3. Изменение характера дыхания сопровождалось накоплением углекислого газа в альвеолярном воздухе до нормокапнического уровня ($p < 0,01$) и уменьшение доли мертвого пространства в альвеолярной вентиляции на $23,6 \pm 1,6$ % ($p < 0,001$).
 4. Оптимизация регуляции газового гомеостаза отразилась на резервах миокарда по снижению β_T в среднем на 13 % ($p < 0,05$) при стабилизации значений $D\beta_T$ на 38,0 % ($p < 0,01$), что сопровождалось снижением напряжения механизмов регуляции более чем на 30 %, ($p < 0,001$).
 5. Интегральный показатель по совокупности фазографических показателей электрической активности сердца достоверно отражал эффективность проведенных реабилитационных мероприятий при уменьшении его численного значения более чем на 25 % ($p < 0,001$).
 6. Установлено, что признаки графической иллюстрации одноканальной ЭКГ, полученные путём преобразования электрического сигнала миокарда в условной фазовой плоскости, как отдельно, так и в совокупности, количественно отражали эффективность проведенной программы физической реабилитации у женщин пожилого возраста.

Список литературы

1. Бяловский Ю. Ю. Капнография в общей врачебной практике / Ю. Ю. Бяловский, В. Н. Абросимов. – Рязань: Дело. – 2007. – 142 с.
2. Коркушко О. В. Возрастные изменения дыхательной системы при старении и их роль в развитии бронхо-легочной патологии / О. В. Коркушко, Д. Ф. Чеботарев, Н. Д. Чеботарев // Украинский пульмонологический журнал. – 2005. – №3. – С. 35–41.
3. Ластовецкий А. Г. Риск-факторы составляющие оценки здоровья лиц и прогноз наступления сосудистых катастроф старших возрастных групп с использованием логистической модели как фактор восстановительных мероприятий / А. Г. Ластовецкий, Д. В. Пацукова // Вестник восстановительной медицины. – 2013. – №2(54). – С. 86–90.
4. Минина Е. Н. Анализ волны Т ЭКГ в фазовом пространстве в определении функциональных резервов миокарда / Е. Н. Минина // Ученые записки Таврического национального университета имени В. И. Вернадского. – 2013. – Т. 26 (65), № 2. – С. 148–153.
5. Минина Е. Н. Анализ функционального состояния сердечно-сосудистой системы по совокупности признаков фазового портрета одноканальной ЭКГ / Е. Н. Минина, Л. С. Файнзильберг // Российский кардиологический журнал. – 2015. – № 12 (128). – С. 7–13.
6. Файнзильберг Л. С. ФАЗАГРАФ® – эффективная информационная технология обработки ЭКГ в задаче скрининга ишемической болезни сердца / Л. С. Файнзильберг // Клиническая информатика и телемедицина. – 2010. – № 6–7. – С. 22–30.

**PHYSIOLOGICAL OBJECTIFICATION OF THE EFFECTIVENESS OF
PHYSICAL REHABILITATION IN THE ELDERLY BASED ON AN
ASSESSMENT OF THE RATE OF ELECTRICAL ACTIVITY OF THE HEART**

Minina E. N., Hait N., Kompiletskaya O. P.

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

The most common and accessible way to assess cardiac activity is electrocardiography. However, the sensitivity and specificity of conventional electrocardiographic examination, especially in the area of border conditions, is not high enough, and its resolution is negligible. This encourages researchers to constantly look for new approaches to the problem of recording the electric signal of the myocardial and its predictive analysis.

The method used in this study displays the ECG in the phase space of the coordinates, and based on studies of the temporal characteristics of the electrocardiosignifier, its derivative is evaluated with graphic representation in the coordinates of the relationship between the amplitude and the rate of change in the biopotential over time.

The aim of the study is to determine the possibility of physiological objectification of the effectiveness of physical rehabilitation in elderly people based on the use of phasographic indicators of electrical activity of the heart.

Prior to corrective interventions, older women recorded a significant decrease in PEF relative to due values by an average of 20.0 %, reduced respiratory volume by an average of 21 % less than due values, reducing the partial pressure of carbon dioxide to 28.6 ± 1.5 mm Hg, increase in the number of dead space in alveolar ventilation to 33.5 ± 2.0 % and the immunization of the psycho-emotional factor in the neurohumoral regulation of respiratory function.

As a result of the rehabilitation course aimed at correcting the functional state of the cardiorespirator system of the subjects, there were some changes: a decrease in the frequency of respiratory movements by 27.5 % ($p < 0.001$), a decrease in the volume of pulmonary ventilation by an average of 2 liters, ($p < 0.001$), an increase in breathing levels of 48.5 %, ($p < 0.001$), a decrease in contribution by an average of 29.2 % ($p < 0.001$).

Changes in the nature of breathing were accompanied by the accumulation of carbon dioxide in the alveolar air to the normocapnic level ($p < 0.01$) and a decrease in the proportion of dead space in alveolar ventilation by 23.6 ± 1.6 % ($p < 0.001$).

These results give reason to conclude that, in geriatric practice, obtaining an effective result of physical rehabilitation only possible through careful analysis of both the individual age changes cardiorespiratory system, as well as personalized control over ongoing changes in the functional state in the correction process. It is established that the signs of a graphic illustration of a single-channel ECG, obtained by converting the myocardial biosignal in the phase space, both separately and in aggregate, they quantitatively reflected the effectiveness of the physical rehabilitation program among older women.

Optimization of regulation of gas homeostasis affected myocardial reserves to decrease by an average of 13 % ($p < 0,05$), while D values stabilized by 38,0 % ($p < 0,01$), which was accompanied by a decrease in the voltage of the regulation mechanisms by more than 30 %, ($p < 0,001$). The integral indicator for the combination of phase-cardiometric signs reliably reflected the effectiveness of the rehabilitation measures performed while reducing its numerical value by more than 25 % ($p < 0,001$).

Keywords: Phasocardiometry, functioning of the cardiorespiratory system; middle-aged; hypoxemia; symmetry wave T.

References

1. Byalovskij Yu. Yu., Abrosimov V. N. *Kapnografiya v obshchevrachebnoj praktike*, 142 s. (Ryazan': Delo, 2007).
2. Korkushko O. V., CHEbotarev D. F., CHEbotarev N. D. Vozrastnye izmeneniya dyhatel'noj sistemy pristarenii i ih rol' v razvitii bronho-legochnoj patologii, *Ukrainskij pul'monologicheskij zhurnal*, **3**, 35 (2005).
3. Lastoveckij A. G., Pacukova D. V. Riskovaya sostavlyayushchaya ocenki zdorov'ya lic i prognoz nastupleniya sosudistyh katastrof starshih vozrastnyh grupp s ispol'zovaniem logisticheskoy modeli kak faktor vosstanovitel'nyh meropriyatij, *Vestnik vosstanovitel'noj mediciny*, **2(54)**, 86 (2013).
4. Minina E. N. Analiz volny T EKG v fazovom prostranstve v opredelenii funkcional'nyh rezervov miokarda, *Uchenye zapiski Tavricheskogo nacional'nogo universiteta imeni V. I. Vernadskogo*, **26 (65)**, 2, 148 (2013).
5. Minina E. N., Fajnzil'berg L. S. Analiz funkcional'nogo sostoyaniya serdechno-sosudistoj sistemy po sovokupnosti priznakov fazovogo portreta odnokanal'noj EKG, *Rossijskij kardiologicheskij zhurnal*, **12 (128)**, 7 (2015).
6. Fajnzil'berg L. S. FAZAGRAF® – effektivnaya informacionnaya tekhnologiya obrabotki EKG v zadache skrininga ishemicheskoy bolezni serdca, *Klinicheskaya informatika i telemedicine*, **6–7**, 22 (2010).

УДК 581.8: 582.285.22

**ФЕНОЛОГИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ И АНАТОМИЧЕСКИЕ
ОСОБЕННОСТИ *POTENTILLA RECTA* L. ПОД ВЛИЯНИЕМ РЖАВЧИННОГО
ГРИБА *PHRAGMIDIUM POTENTILLAE* (PERS. : PERS.) P. KARST. В
ГОРНОМ КРЫМУ**

Присянникова И. Б., Романова Д. А.

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

В результате исследований, проведённых в течение вегетационного сезона 2020 года в окрестностях пгт. Научный Бахчисарайского района Республики Крым на одном из отрогов горы Сель-Бухра (658,2 м н.у.м.), получены новые данные о феноспектрах растения *Potentilla recta* L. (Rosaceae) и ржавчинного гриба *Phragmidium potentillae* (Pers. : Pers.) P. Karst.). Впервые обнаружена в период массового цветения *P. recta* на листьях ранняя (третья декада июня) закладка телиев и телиоспор (зимующей стадии ржавчинного гриба *Phr. potentillae*). Исследовано анатомическое строение здоровых и пораженных ржавчинным грибом растений *P. recta*. Исходя из анатомического строения вегетативных органов, *P. recta* можно отнести к экологической группе мезоксерофиты. При анализе органотропной специализации ржавчинного гриба установлено, что мицелий носит локальный характер, спороношение гриба *Phr. potentillae* в корнях отсутствует, поражению грибом подвергались преимущественно листья, черешки, стебель, реже – чашелистики. В месте внедрения паразита в лист *P. recta* отмечается некроз эпидермы, мезофилла, вплоть до полного выпадения некротизированной ткани из листа.

Ключевые слова: фенологический спектр, анатомическое строение, ржавчинный гриб *Phragmidium potentillae*, питающее растение *Potentilla recta*, ценопопуляция.

ВВЕДЕНИЕ

Климат Крымского полуострова в целом благоприятен как для развития сосудистых растений, так и для трофически связанных с ними грибов-паразитов и сапрофитов. Ржавчинные грибы, являясь облигатными паразитами растений с узкой специализацией в пределах рода или вида растений-хозяев, вызывают заболевания как культурных, так и дикорастущих растений. Поскольку жизнедеятельность биотрофов – облигатных грибов-паразитов, тесно связана с растением-хозяином, их сохранение в природе, выживание, переход от одного периода вегетации растений к другому, обеспечивается благодаря наличию покоящихся структур и способностью к быстрому размножению при наступлении благоприятных условий [1].

Изучение взаимодействия фитопатогена (ржавчинного гриба) и ценопопуляции питающего растения, а также закономерностей протекания их жизненных циклов, сроки и способы инфекции, анализ феноспектров ассоциированной пары гриб-

растение и особенностей анатомического строения растений под влиянием инфекции является актуальной научной проблемой. По данным литературы [2, 3] исследования взаимосвязей ржавчинного гриба *Phragmidium potentillae* (Pers. : Pers.) P. Karst и питающего растения *Potentilla recta* (L.) (Rosaceae) в Горном Крыму ранее не проводились, в связи с чем нами впервые был составлен фенологический спектр растения-хозяина и ржавчинного гриба-паразита, а также описана локализация ржавчинного гриба *Phr. potentillae* и его влияние на анатомическое строение питающего растения *P. recta*.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Микологические исследования проводились в течение вегетационного сезона 2020 года в окрестностях пгт. Научный Бахчисарайского района Республики Крым на одном из отрогов горы Сель-Бухра (658,2 м н.у.м.) на одной однородной пробной площади размером 9 х 51 м (общая площадь составляет 450 м², крутизна склона 30°). Для данного участка характерно мозаичное сочетание участка степи и шибляка – сообщества, слагаемого гемиксерофильными листопадными кустарниками и низкорослыми кустообразными деревьями, а также «дубков» – участков дубового и дубового-соснового леса, с преобладанием низкорослого дуба пушистого (*Quercus pubescens* Willd.). Травостой пробной площади преимущественно слагают: *Potentilla recta* L., *Festuca valesiaca* Schleich. ex Gaudin, *Bothriochloa ischaemum* (L.) Keng и др. (рис. 1). Общее проективное покрытие участка составляет 90 %.

Камеральная обработка полученного материала проводилась на кафедре ботаники и физиологии растений и биотехнологий факультета биологии и химии Таврической академии (СП) Крымского федерального университета им. В. И. Вернадского. Объект изучения – растения *P. recta*, пораженные ржавчинным грибом *Phr. potentillae*. Варианты опыта: контроль – здоровое растение, опыт – пораженное грибом *Phr. potentillae*.

Фиксация материала. Здоровые и больные растения или их части гербаризировали с составлением стандартных этикеток [4]. Идентификацию образцов ржавчинного гриба *Phr. potentillae* на листьях растения-хозяина проводили стандартным методом с помощью определителей [5, 6], а название растения-хозяина представлено по источнику [7]. Таксономический статус вида гриба приведен согласно интерактивной базе Fungal Databases, U. S. National Fungus Collections [8]. Фенологические спектры составлены по методике И. Н. Бейдеман [9]. Для анатомических исследований и выявления гиф мицелия и спороношения гриба в растительных тканях использовали фиксатор следующего состава: этиловый спирт, 50% - 90 мл; ледяная уксусная кислота – 5 мл; формалин – 5 мл [10]. Полученные анатомические срезы окрашивали флюороглюцином с соляной кислотой.

Фотофиксацию анатомических срезов вегетативных органов *O. luteus* проводили с помощью фотонасадки, установленной на микроскоп медицинский прямой СХ31RTSF, Olympus (Филиппины). Микроскопическая техника и оргтехника была приобретена в рамках реализации проекта Программы развития «Разработка сетевой образовательной программы по направлению подготовки 06.06.01 Биологические науки, направленности 03.02.08 Экология».

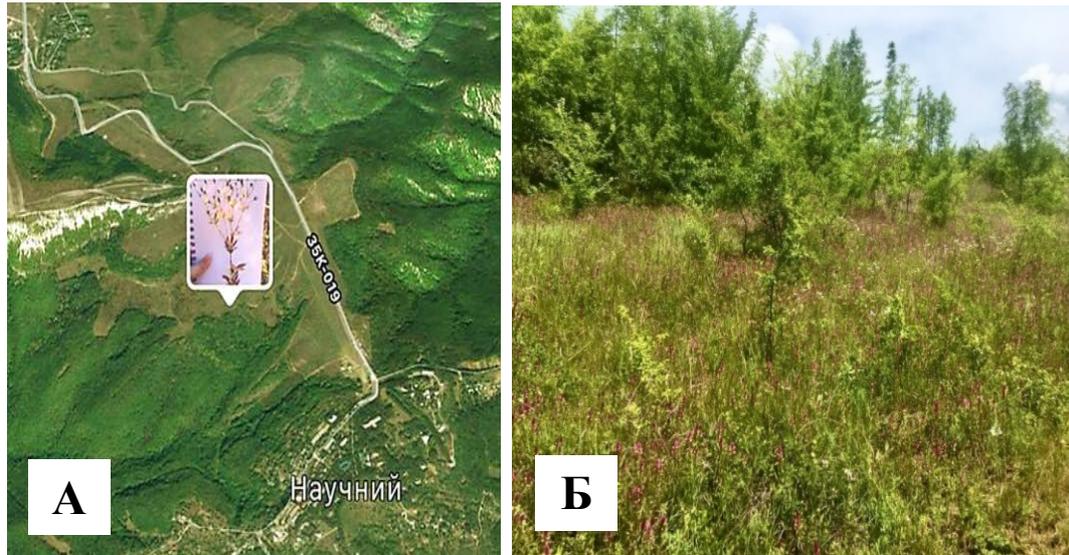


Рис. 1. Местоположение ценопопуляции *Potentilla recta* L.: А – картографическое обозначение; Б – внешний вид пробной площади на склоне горы Сель-Бухра (20.06.2020).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

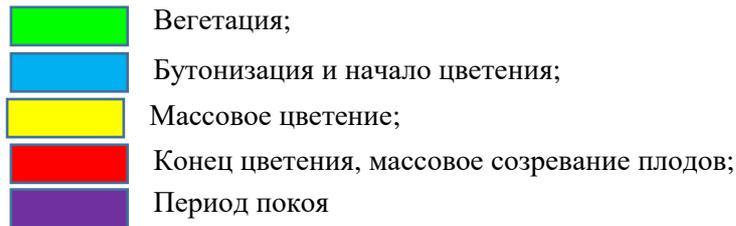
Potentilla recta – многолетняя поликарпическая трава, у которой корневище остается жизнеспособным на протяжении всего онтогенеза особи и ежегодно весной формирует новые побеги [11]. По результатам проведенных исследований (рис. 2), начало длительной, интенсивной фазы вегетации у *P. recta* приходится на II декаду марта, которая длится до I декады мая; следом наступает фаза бутонизации (начало II-й декады мая – середина II-й декады июня).

Фаза интенсивного цветения наступает с середины II-й декады июня и заканчивается I-й декадой июля; фаза массового плодоношения наступает во II-й декаде июля и заканчивается в первой половине I-й декады августа, далее наступает фаза покоя растения (рис. 2).

Летний период 2020 года характеризовался длительной засухой, малочисленными осадками, а также массовым развитием инфекции, вызванной, ржавчинным грибом *Phr. potentillae* на растении-хозяине *P. recta*. Сопоставление фенологического спектра *P. recta* с фазами спороношений гриба *Phr. potentillae* (рис. 2 и 3), позволило обнаружить, что закладка пикноспор под эпидермой пораженных органов питающего растения происходит в фазу вегетации (рис. 4), т.е. в фазу интенсивного образования и накопления вегетативной массы (формирование листьев, начало закладки генеративных органов).



Рис. 2. Фенологический спектр *Potentilla recta* (L.) (Rosaceae) (2020 г.)



Эциоспоры в эциях ржавчинного гриба появляются к концу фазы вегетации – начала фазы бутонизации и процесс эциообразования длится по вторую декаду мая включительно (рис. 3 и 5); активное развитие следующего типа спороношения – урединиоспор в урединиях наблюдается в фазе бутонизации и в первой половине фазы цветения (рис. 3 и 6).

В середине II-й декады июня (20. 06. 2020 г.) на учетной площадке № 13, нами были найдены пораженные растения *P. recta*, с признаками телиоспороношения, что нетипично для данного периода вегетационного сезона, поскольку пик закладки и формирования телиоспор, как зимующего типа спор, приходится лишь на вторую-третью декаду июля – первую декаду августа (рис. 7). Анатомические исследования пораженного листа *Potentilla recta*, обнаруженного с признаками телиоспороношения от 20.06.2020, показали, что на некоторых листьях действительно наблюдалась закладка немногочисленных телиев и развитие телиоспор в пестулах. Отмечено созревание и выход телиоспор с образованием разрыва покровной ткани листа (эпидермы и кутикулы) в данный период вегетации (рис. 8). Таким образом, впервые нами обнаружен факт ранней закладки телиев и телиоспор (зимующей стадии) *Phr. potentillae* в фазу массового цветения питающего растения.

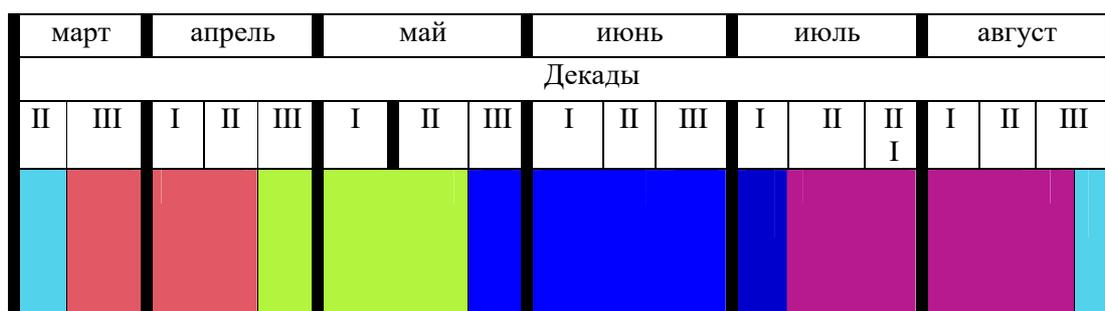


Рис. 3. Фенологический спектр *Phragmidium potentillae* (Pers. : Pers.) P. Karst (2020 г.).

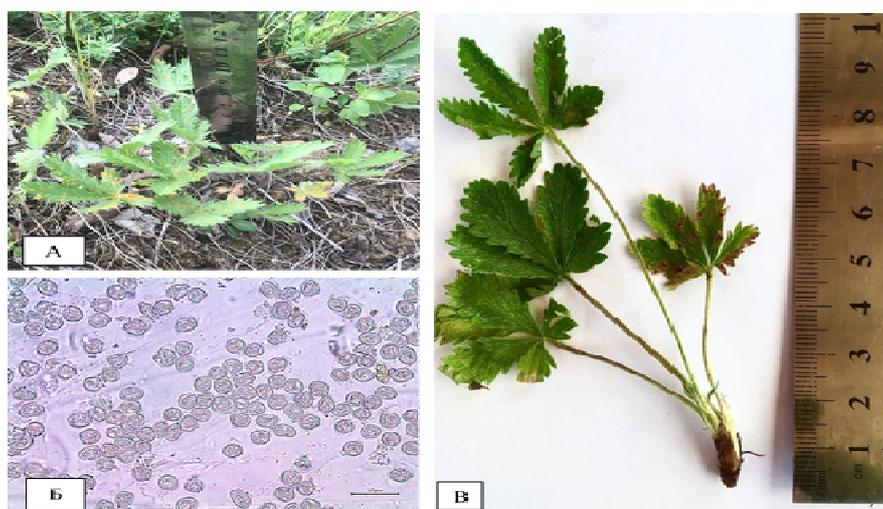


Рис. 4. Ржавчинный гриб *Phragmidium potentillae* (Pers. : Pers.) P. Karst. на листьях *Potentilla recta* L.: А – пораженная особь в естественном месте произрастания (окрестности пгт. Научный, склон горы Сель-Бухра, фаза вегетации (30.04.2020)); Б – пикниоспоры; Б' – общий вид пораженного растения.

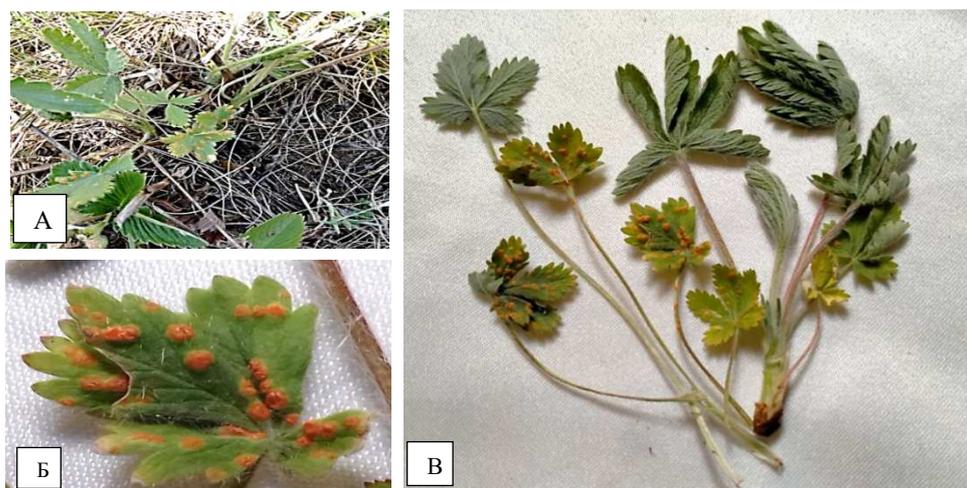


Рис. 5. Ржавчинный гриб *Phragmidium potentillae* (Pers. : Pers.) P. Karst. на листьях *Potentilla recta* L.: А – пораженная особь *P. recta* в естественном месте произрастания (окрестность пгт. Научный, склон горы Сель-Бухра; фото 23. 05. 2020, фаза вегетации); Б – эциоспоры; В – общий вид поражения.



Рис. 6. Ржавчинный гриб *Phragmidium potentillae* (Pers. : Pers.) P. Karst. на листьях и чашечке *Potentilla recta* L.: А – урeдиниоспороношение на абаксиальной стороне листа; Б – урeдинии и телии на соцветии и прицветных листьях; В – урeдиниоспоры (с шиповатой наружной оболочкой); Г – урeдиниоспоры и телиоспоры.

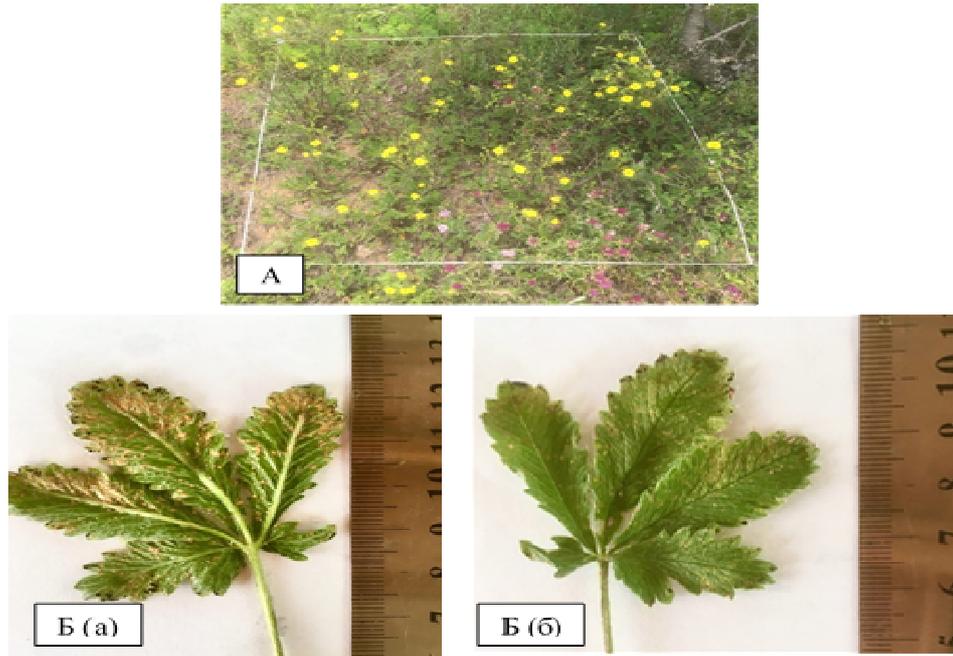


Рис. 7. *Potentilla recta* L., пораженная ржавчинным грибом *Phragmidium potentillae* (Pers. : Pers.) P. Karst.: А – учетная площадь № 13 (окрестность пгт. Научный, склон горы Сель-Бухра; фото от 20.06.2020); Б – ржавчинный гриб *Phr. potentillae* на листьях *P. recta* в период массового цветения: а – абаксиальная часть листа; б – адаксиальная сторона листа.

При переходе к фазе состояния покоя на листьях, стеблях и чашелистиках *P. recta* обнаруживалась массовая закладка осеннего (зимующего) спороношения *Phr. potentillae* в виде телиев с телиоспорами, которые состояли их 3–5 клеток с довольно длинной крепкой бесцветной ножкой, расширенной в нижней части и окрашенной в коричневатый цвет у ее основания. Телиоспоры имели цилиндрическую или слегка булабовидную форму, слабо перетянутые у перегородок, с верхней полушаровидной клеткой, имеющей слабо выраженный сосочек на вершине (рис. 8 Г).

В связи со сложившимися погодными условиями летом 2020 года (высокие температуры, малое количество осадков) уже в начале I-ой декады августа наблюдался переход растений *P. recta* в фазу вынужденного покоя (рис. 9), в этот же период наблюдалась и высокая степень поражения надземных органов питающего растения *P. recta* и массовое формирование осенней генерации спор (телиоспор) ржавчинного гриба *Phr. potentillae*.

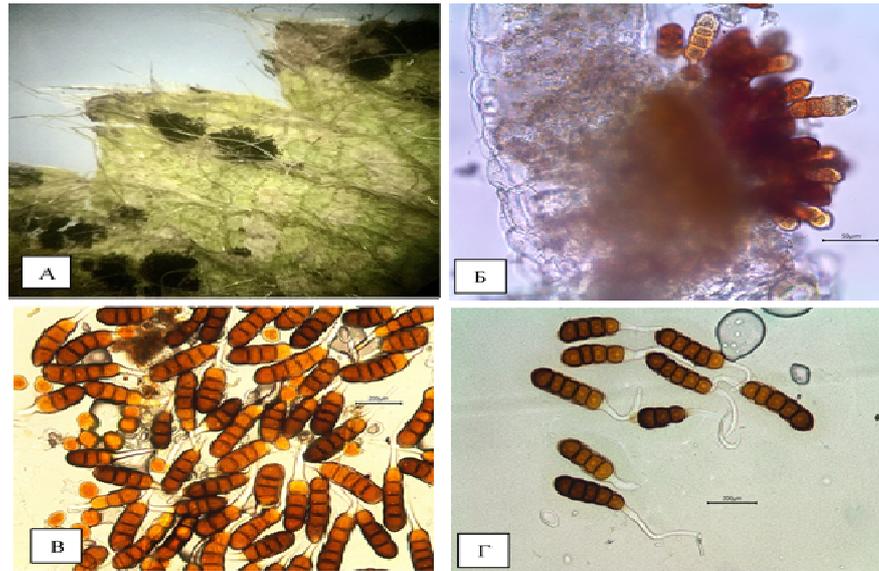


Рис. 8. Ржавчинный гриб *Phragmidium potentillae* (Pers.) P. Karst., на листьях *Potentilla recta* L.: А – телии на абаксиальной стороне листа (макросъемка увел. x 4,5); Б – телий с телиоспорами; В, Г – 3–5 клеточные телиоспоры.



Рис. 9. Ржавчинный гриб *Phragmidium potentillae* (Pers. : Pers.) P. Karst. на *Potentilla recta* L.: А, Б – внешний вид пораженных соцветий; В, Г – многочисленные телии на абаксиальной стороне листа.

Анатомическое строение корня. Анатомические срезы корня *P. recta*, полученные в начале фазы цветения растений (вторая декада июня), показали, что корень покрыт многослойной перидермой с вытянутыми в тангентальном направлении клетками (рис. 10).

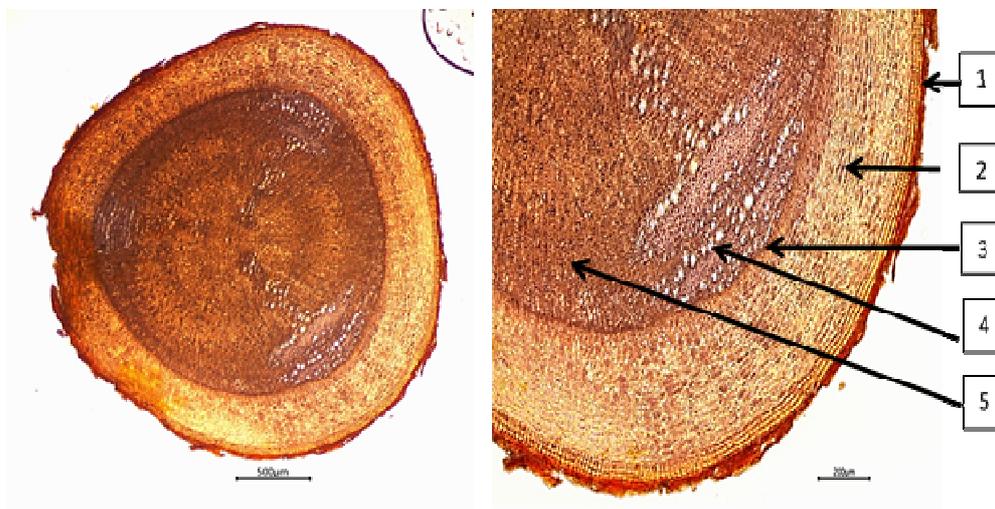


Рис. 10. Анатомическое строение корня *Potentilla recta* L. в начале цветения (июнь): 1 – перидерма; 2 – вторичная флоэма; 3 – камбий; 4 – первичная ксилема; 5 – вторичная ксилема.

В середине цветения (третья декада июля) в корне перидерма незначительно утолщается. В корне под покровной тканью располагается вторичная флоэма, наружные слои которой в виде 4–5 слоев представлены остатками первичной коры (рис. 10). Во флоэме слабо развита механическая ткань (рис. 11 Б).

Затем следует камбий, за которым располагается вторичная ксилема, которая представлена трахеями. Просвет трахей увеличивается ближе к центру, в ксилеме хорошо развиты волокна либриформа. В центре корня *P. recta* располагается триархный осевой цилиндр корня, представленный тремя тяжами первичной ксилемы (рис. 11 А, Г).

Анатомическое строение стебля. Снаружи стебель покрыт эпидермой с хорошо развитой кутикулой, образующей редкие единичные трихомы. Наружные и внутренние тангентальные стенки клеток эпидермы значительно утолщены (рис. 12). За эпидермой следует первичная кора, два-три слоя клеток которой образуют пластинчатую колленхиму и она заканчивается плотно прилегающими друг другу, крупными, четко выраженными, клетками крахмалоносного влагалища (эндодермы) (рис. 12, А, Б). Пучки – открытые коллатеральные (рис. 12, А, В). Затем следует слой вторичной флоэмы, имеющей типичное строение (рис. 12, А), далее – слой камбия и вторичной ксилемы. Ближе к сердцевине располагается перимедуллярная зона (рис. 12, В), клетки которой содержат запасные питательные

вещества. Затем следуют тонкостенные, крупные, рыхло расположенные и имеющие округлую форму паренхимные клетки, заполняющие сердцевину стебля *P. recta*. В фазе массового плодоношения (третья декада июля) план анатомического строения стебля *P. recta* принципиальных отличий не имел.

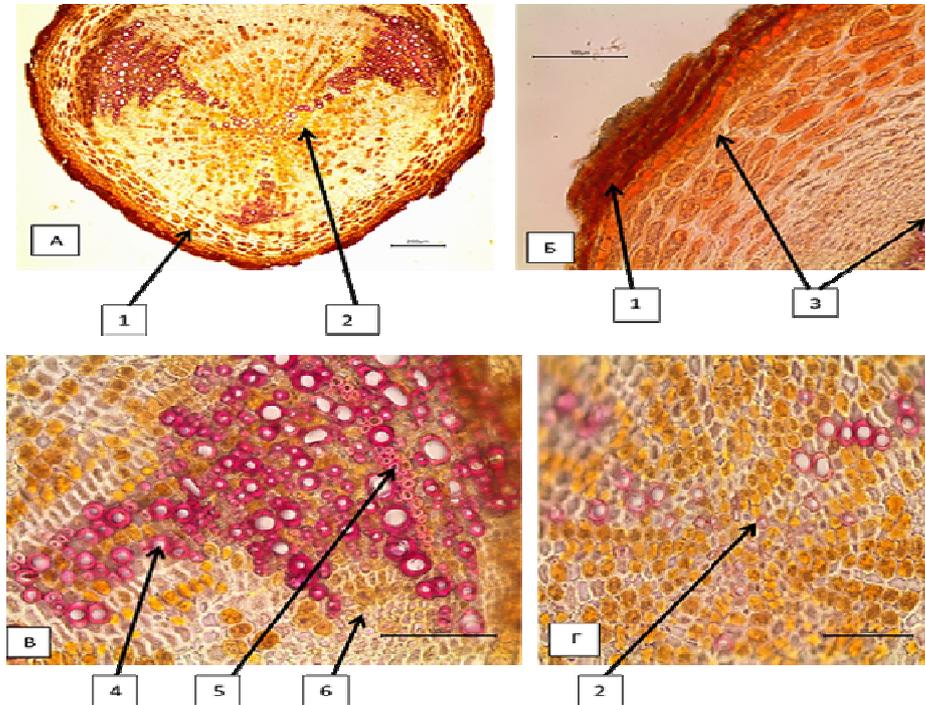


Рис. 11. Анатомическое строение корня *Potentilla recta* L.: 1– перидерма; 2 – триархная первичная система корня; 3 – вторичная флоэма, наружные слои которой представлены остатками первичной коры; 4 – первичная ксилема; 5 – волокна либриформа; 6 – сердцевинные лучи.

Анализ анатомического строения стебля *P. recta*, проведенный нами в фазу конца бутонизации – начала цветения (вторая декада июня) не выявил признаков диффузного поражения корня и стебля ржавчинным грибом *Phr. potentillae*; в этот период вегетационного сезона поражение растений было еще единичным и не носило массового характера.

В период же массового плодоношения (третья декада июля) анатомическое исследование показало наличие поражения стебля ржавчинным грибом *Phr. potentillae* в виде многочисленных пустул. У пораженных растений созревшие эции и урединии ржавчинного гриба *Phr. potentillae* в стебле, вызывая разрыв эпидермы, заполняли собой первичную кору почти до центрального цилиндра, при этом субэпидермальный слой клеток растений в зоне пораженных участков был более четко выражен по сравнению с контрольным вариантом (здоровым растением) *P. recta* (рис. 13).

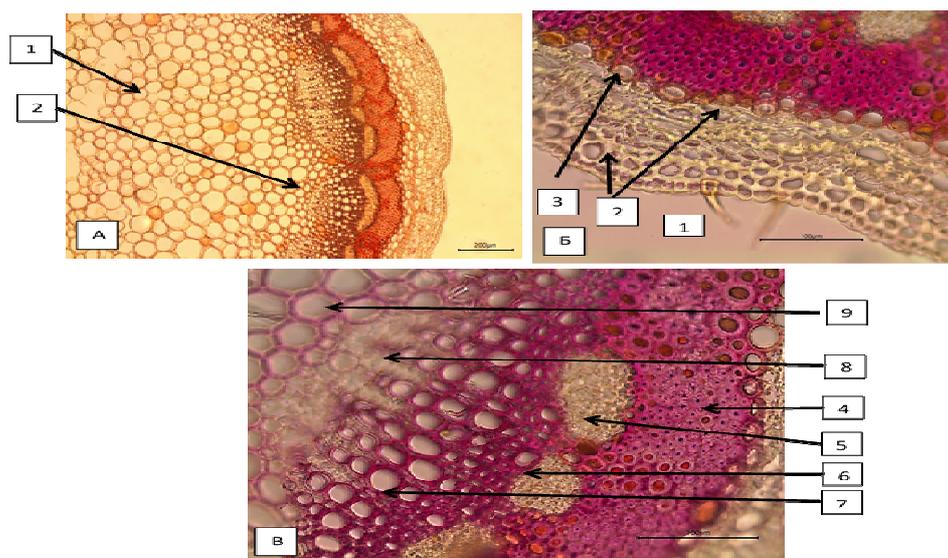


Рис. 12. Анатомическое строение стебля здорового растения *Potentilla recta* L.: 1 – эпидерма с трихомами; 2 – первичная кора с колленхимой; 3 – эндодерма; 4 – склеренхима; 5 – флоэма; 6 – камбий; 7 – вторичная ксилема; 8 – перимедулярная зона; 9 – сердцевина.

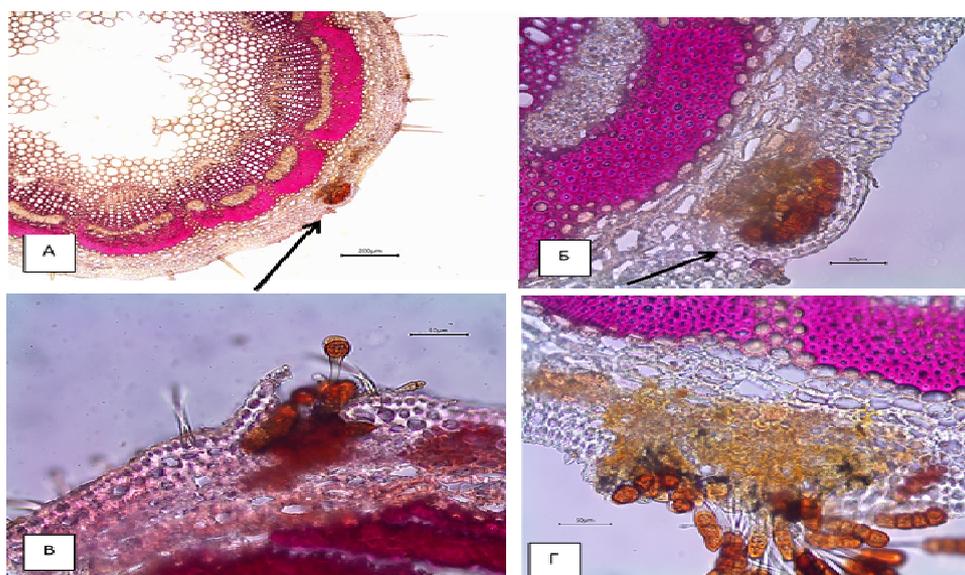


Рис. 13. Поперечный срез стебля *P. recta*, пораженного ржавчинным грибом *Phr. potentillae*: А, Б – незрелый урединий при разном увеличении; В – вскрывшийся урединий с урединиоспорами; Г – телий с телиоспорами.

В период же массового плодоношения (третья декада июля) анатомическое исследование показало наличие поражения стебля ржавчинным грибом *Phr. potentillae* в виде многочисленных пустул. У пораженных растений созревшие эции и урединии ржавчинного гриба *Phr. potentillae* в стебле, вызывая разрыв эпидермы, заполняли собой первичную кору почти до центрального цилиндра, при этом субэпидермальный слой клеток растений в зоне пораженных участков был более четко выражен по сравнению с контрольным вариантом (здоровым растением *P. recta*) (рис. 13). На основании полученных данных можно сделать вывод, что локализация ржавчинного гриба *Phr. potentillae* в тканях *P. recta* является местной. Гриб-паразит не вызывает гипертрофию пораженных клеток *P. recta*.

Анатомическое строение черешка. Черешок листа *P. recta* визуальное в большей степени опушен простыми трихомами, чем стебель. Строение эпидермы здесь то же, что и в стебле. Перициклическое кольцо склеренхимы слабо лигнифицировано и тоньше, чем в стебле. Количество проводящих пучков в черешке – три (один центральный, крупный и два боковых) (рис. 14).

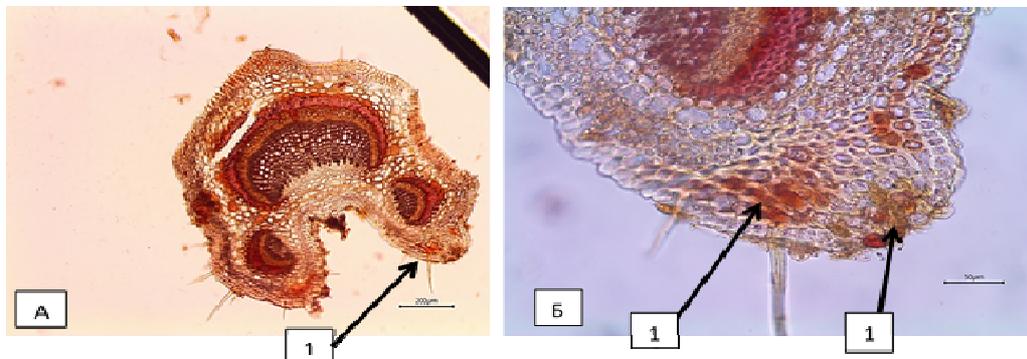


Рис. 14. Анатомическое строение черешка *P. recta*, зараженного ржавчинным грибом *Phr. potentillae* при разном увеличении микроскопа (А, Б): 1 – локализация эндофитного мицелия гриба в клетках коры.

На рисунке 14 представлена локализация мицелия ржавчинного гриба *Phr. potentillae* в черешке листа; заражение носит местный характер и далее первичной коры мицелий ржавчинного гриба вглубь не продвигается.

Анатомическое строение листа. С адаксиальной и абаксиальной сторон лист *P. recta* имеет опушение в виде значительного количества крупных кроющих трихом, между которыми могут встречаться железистые трихомы (рис. 15). Клетки эпидермы листа крупноклетные, с адаксиальной стороны имеют утолщенные наружные стенки с хорошо развитой кутикулой. Мезофилл листа диффузного типа, представлен однородной палисадной тканью, состоящей из нескольких рядов сильно вытянутых в длину, содержащих крупные хлоропласты клеток, длинная ось которых перпендикулярна поверхности листа. Между клетками палисады нет межклетников.

В листе имеется главная жилка и ряд мелких боковых жилок. Центральная жилка представлена крупным закрытым коллатеральным проводящим пучком и

двумя боковыми. В анатомическом отношении такой вид строения листа соответствует изолатеральному типу (рис. 15).

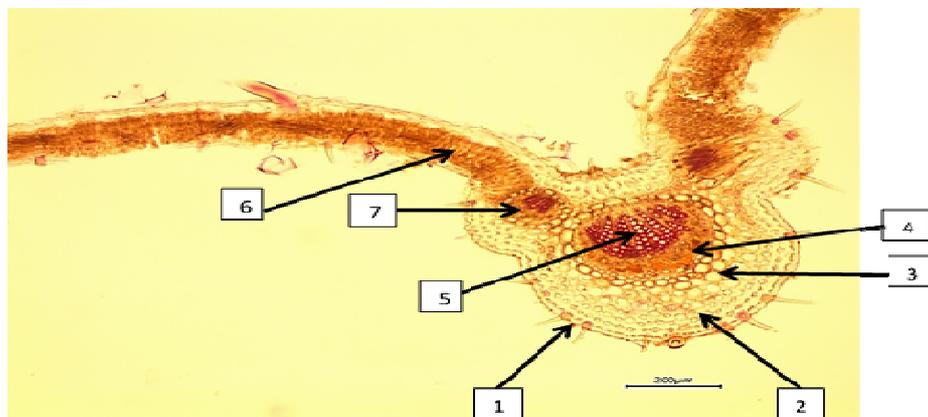


Рис. 15. Здоровый лист *P. recta*: 1 – эпидерма с трихомами; 2 – колленхима; 3 – паренхимная обкладка проводящего пучка; 4 – флоэма; 5 – ксилема; 6 – столбчатый мезофилл; 7 – боковой проводящий пучок.

Внутри мезофилла листа *P. recta* выделяются крупные водозапасающие клетки паренхимной обкладки проводящего пучка. Таким образом, анализируя анатомические признаки листа, можно сделать вывод, что лист *P. recta* имеет признаки ксероморфной структуры.



Рис. 16. Лист *P. recta*, зараженный ржавчинным грибом *Phr. potentillae*: А, Б – телий с телиоспорами.

В период конца фазы бутонизации – начала цветения, на листьях *P. recta* наблюдается массовое развитие урединиев, а затем и телиев (рис. 16), причем закладываться они могут как только с одной из сторон листовой пластинки, так и с двух, что приводит к истощению и преждевременному усыханию листьев пораженных растений по сравнению со здоровыми. В месте внедрения паразита в

лист отмечается некроз эпидермы, мезофилла, вплоть до полного выпадения некротизированной ткани из листа.

Анатомическое строение чашечки цветка. Анатомическое строение чашелистика *P. recta* принципиально не отличается от строения листа (рис. 17). Поражение чашелистиков ржавчинным грибом *Phr. potentillae* также отличается развитием эндофитного мицелия и местным характером поражения с двух сторон чашелистика (рис. 18), как и поражение стебля, черешка и листа.

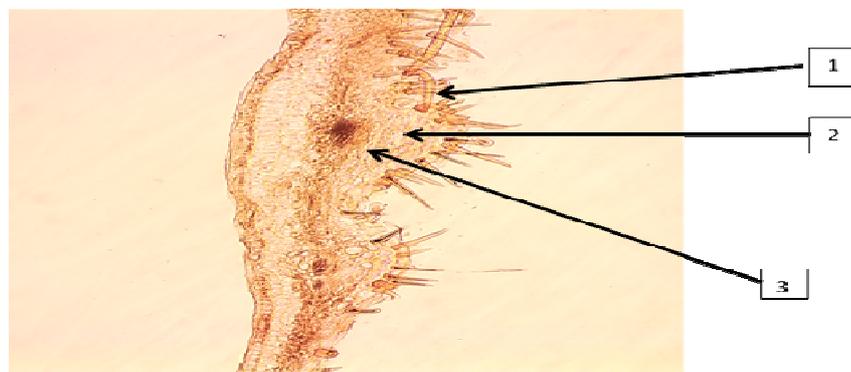


Рис. 17. Анатомическое строение здорового чашелистика цветка *P. recta*: 1 – эпидерма с трихомами; 2 – мезофилл; 3 – проводящий пучок.

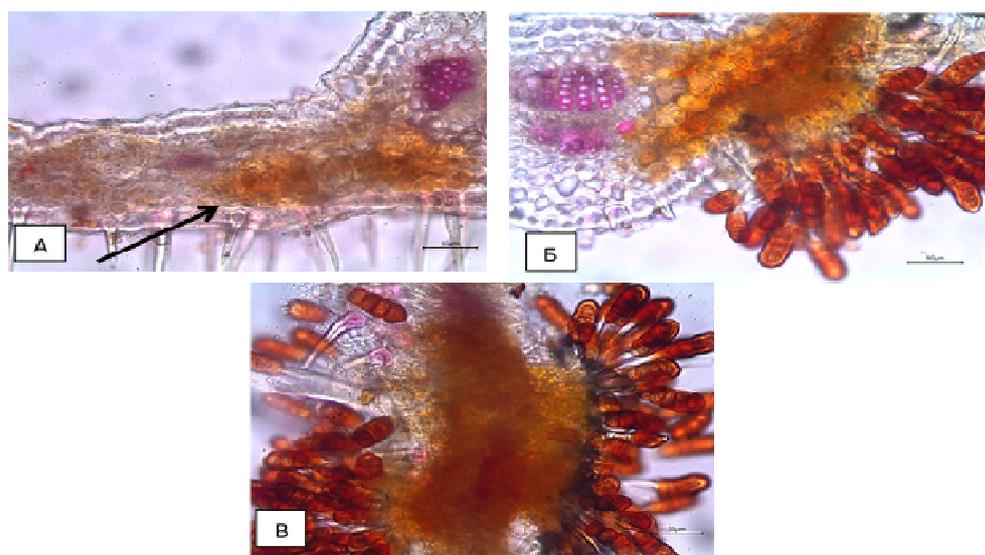


Рис. 18. Анатомическое строение чашелистика *P. recta*, пораженного ржавчинным грибом *Phr. potentillae*: А – эндофитный мицелий; Б – телий с телиоспорами; В – телии с телиоспорами, развивающиеся с адаксиальной и абаксиальной сторон чашечки.

Анатомическое строение чашелистика *P. recta* принципиально не отличается от строения листа. Поражение чашелистиков ржавчинным грибом *Phr. potentillae* также отмечается локальным характером (рис. 18), как и поражение других вегетативных органов *P. recta*.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Сопоставление фенологического спектра *P. recta* с фазами спороношений гриба *Phr. potentillae*, выявило, что закладка пикниев и пикноспор гриба происходит в фазу вегетации питающего растения, эциоспоры в эциях ржавчинного гриба появляются к концу фазы вегетации – начале бутонизации *P. recta*; закладка урединий с урединиоспорами приходится на фазу бутонизации и на первую половину фазы цветения. В период массового плодоношения (вторая-третья декада июля) ржавчинный гриб формирует телии с телиоспорами. Впервые обнаружен факт ранней закладки телиев и телиоспор *Phr. potentillae* на листьях *P. recta* в период массового цветения (третья декада июня).
2. Анатомическое исследование вегетативных органов *P. recta*, проведенное дважды с интервалом в месяц в двух фенофазах: бутонизации и массового цветения, показало, что корень покрыт многослойной перидермой с вытянутыми в тангентальном направлении клетками, присутствует камбий и вторичные элементы проводящих тканей; в центральной части корня располагается триархный осевой цилиндр, представленный тремя тяжами первичной ксилемы.
3. Выявлено, что анатомическое строение стебля *P. recta* имеет типичный для многолетних двудольных травянистых растений пучковый тип строения. При переходе от фазы бутонизации к фазе массового цветения и плодоношения план анатомического строения стебля *P. recta* принципиально не меняется.
4. Лист *P. recta* при нехватке влаги способен складываться и в анатомическом отношении его строение соответствует изолатеральному типу.
5. Локализация гриба *Phr. potentillae* в питающем растении носит местный характер; установлена органотропная специализация гриба: мицелий и спороношение гриба *Phr. potentillae* в корнях отсутствует, заражению у *P. recta* подвергались преимущественно листья, черешки, стебель, реже – чашелистики. Установлено, что созревшие эции, урединии и телии на стебле, вызывая разрыв эпидермы стебля и черешка, заполняют собой первичную кору вплоть до центрального цилиндра.
6. Массовое формирование на листьях *P. recta* урединиев и телиев *Phr. potentillae* приводит к их истощению и преждевременному усыханию. В месте внедрения паразита в лист отмечается некроз эпидермы, мезофилла, вплоть до полного выпадения некротизированной ткани из листа.

Список литературы

1. Дьяков, Ю. Т. Эволюция паразитизма у грибов. Теоретические и прикладные аспекты : сборник научных трудов / Ю. Т. Дьяков. – Л. : Наука, 1984. – С. 37–46.

2. Гуцевич С. А. Список растений Крыма, поражаемых ржавчинными грибами, с указанием вида гриба и стадий его, которые встречаются на данном виде растения / С. А. Гуцевич. – Труды НБС. – 1949. – Т. 24, № 4 – С. 89–110.
3. Дудка И. О. Грибы природных зон Крыма / И. О. Дудка, В. П. Гелюта, Ю. Я. Тихоненко [и др.]. – К. : Фитосоцицентр, 2004. – 452 с.
4. Благовещенская Е. Ю. Фитопатогенные микромицеты: Учебный определитель / Е. Ю. Благовещенская. – М. : ЛЕНАНД, 2015. – 240 с.
5. Азбукина З. М. Порядок Ржавчинные. 1. Семейства Пукциниастровые, Кронарциевые, Мелампсоровые, Факоспоровые, Чакониевые, Микронегериевые / З. М. Азбукина. (Определитель грибов России). – Владивосток : Дальнаука, 2015. – 281 с.
6. Купревич В. Ф. Определитель ржавчинных грибов СССР. / В. Ф. Купревич, В. И. Ульянищев. – Минск : Наука и техника, 1975. – Ч. 1. – 485 с.
7. The Plant list [электронный ресурс]. 2013. Режим доступа: <http://www.theplantlist.org> / (дата обращения: 20.12.2020).
8. Fungal Databases. [электронный ресурс]. Режим доступа: <https://nt.ars-grin.gov/fungaldatabases/> (дата обращения: 20.12.2020).
9. Бейдеман И. Н. Методика изучения фенологии растений и растительных сообществ / И. Н. Бейдеман. – Новосибирск : Наука, 1974. – 155 с.
10. Барыкина Р. П., Справочник по ботанической микротехнике. / Р. П. Барыкина, Т. Д. Веселова, А. Г. Девятов и др. [и др.] Основы и методы. – М. : изд-во МГУ, 2004. – 312 с.
11. Губанов И. А. Иллюстрированный определитель растений Средней России. Т. 2. Покрытосеменные (двудольные: раздельнолепестные) / И. А. Губанов. – М. : Т-во научных изданий КМК, Ин-т технологических исследований, 2003. – С. 389.

**PHENOLOGICAL PARAMETERS AND ANATOMICAL FEATURES OF
POTENTILLA RECTA L. UNDER THE INFLUENCE OF THE RUST FUNGUS
PHRAGMIDIUM POTENTILLAE (PERS. : PERS.) P. KARST. IN THE
MOUNTAINOUS CRIMEA**

Prosiannikova I. B., Romanova D. A.

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

As a result of studies conducted during the growing season in 2020 in the vicinity of the village. In the Bakhchisarai district of the Republic of Crimea, on one of the spurs of the Sel-Bukhra mountain (658.2 m. above sea level), new data on the phenospectra of the plant *Potentilla recta* L. (Rosaceae) and the rust fungus *Phragmidium potentillae* (Pers. : Pers.) P. Karst.), as well as the anatomical structure of healthy and rust-affected plants *P. recta*. The collected herbarium was processed according to the standard methods [4–6]. The nomenclature of micromycetes corresponds to the international database, such as: «Fungal Databases» [8] and the name of the host plant is represented by the source [7]. Comparison of the phenological spectrum of the coenopopulation of *P. recta* with the sporulation phases of *Phr. potentillae*, showed that the laying of the phytopathogen pycnium occurs in the vegetation phase, i.e. in the phase of intensive formation and accumulation of vegetative mass (leaf formation, the beginning of the laying of generative

organs). In ecios the eciospores infect the rust fungus appear at the end of vegetation phase the beginning phase of budding *P. recta*; foundation and development uredinia with urediniospores falls on the phase of budding and early flowering phase. During the period of mass fruiting of the feeding plant (the second-third decade of July), the rust fungus *Phr. potentillae* formed numerous telia with teliospores. For the first time in the period of mass flowering of *P. recta*, the fact of early (third decade of June) laying of telios and teliospores (wintering stage) of *Phr. potentillae* was found on the leaves.

Anatomical study of the vegetative organs of *P. recta*, conducted twice at intervals of a month during two phenophases: budding and mass flowering, showed that the root is covered with a multilayer periderm with cells elongated in the tangent direction, there is a cambium and secondary elements of conducting tissues, in the central part of the root there is a triarchic axial cylinder represented by three strands of primary xylem. It was revealed that the anatomical structure of the stem has a typical for perennial dicotyledonous herbaceous plants bundle type of structure with developed signs of xeromorphy. Outside, the stem is covered with an epidermis with a cuticle forming single trichomes, the tangent walls of the epidermis cells are significantly thickened. It should be noted that the parenchyma of the primary bark of the stem of *P. recta* has a well-defined layer of the starch-bearing vagina (endoderm) and the deposition of spare nutrients in it. During the transition from the budding phase to the phase of mass flowering and fruiting, the plan of the anatomical structure of the stem of *P. recta* does not fundamentally change. The cells of the leaf epidermis have thickened outer walls with a well-developed cuticle and the outside of the leaf is covered with simple trichomes. Above the central vein, represented by a closed collateral conducting bundle, is the collenchyma, which allows the leaf to fold and thus save moisture in the dry period. The mesophyll of the *P. recta* leaf is of the isolateral type, has a uniform structure, and the mesophyll cells are abundantly filled with elongated chloroplasts. Based on the anatomical structure of the vegetative organs, *P. recta* can be attributed to the ecological group mesoxerophytes. It was found that mature eciospores, uredinia and telia on the stem, causing a rupture of the epidermis, fill the primary cortex up to the central cylinder. During the late phase of budding – beginning of flowering, the leaves of *P. recta* there is a massive development uredinial and telias, and they can be laid as one of the sides of the lamina, and the two that leads to exhaustion and premature drying of leaves of infected plants compared to healthy. At the site of introduction of the parasite into the leaf, necrosis of the epidermis, mesophyll, is noted, up to the complete loss of necrotic tissue from the leaf.

Keywords: phenological spectrum, anatomical structure, rust fungus *Phragmidium potentillae*, feeding plant *Potentilla recta*, coenopopulation.

References

1. Dyakov Yu. T. *Evolution of parasitism in fungi. Theoretical and applied aspects: collection of scientific works* (Nauka Publ., Leningrad, 1984).
2. Gutsevich S. A. List of plants of the Crimea, smitten rust fungi, indicating the type of mushroom and its stages, which occur on plant, *Proceedings of the NBS*, **24**, 4 (1949).
3. Dudka I. O., Geluta V. P., Tichonenko Y. A. et al., *Fungi natural areas Crimea* (Institute of botany named after M.G. Cholododny), (Phytosotsiotsentr, Kiev, 2004).

4. Blagoveshchenskaya E. Y. *Phytopathogenic micromycetes: educational guide* (Publishing house Lenand, Moscow, 2015).
5. Azbukina Z. M., *Order of Uredinales. 1. Order Pucciniales. 1. Familia Pucciniastraceae, Cronartiaceae, Coleosporiaceae, Melampsoraceae, Phakopsoraceae, Chaconiaceae, Mikronegeriaceae of family. Identification book for fungi of Russia* (Dal`nauka, Vladivostok, 2015).
6. Kuprevich V. F., Ulyanischev V. I. *Determinant of rust fungi of the USSR* (Science and Technology, Minsk, 1975).
7. The Plant list [electronic resource]. 2013. Access mode: <http://www.theplantlist.org/> (reference date: 20.12.2020).
8. Fungal Databases. [electronic resource]. Access mode: <https://nt.ars-grin.gov/fungaldatabases/> (reference date: 20.12.2020).
9. Beideman I. N. *Methodology for studying the phenology of plants and plant communities* (Nauka Novosibirsk, 1974).
10. Barykina R. P., Veselova T. D., Devyatov A. G., etc. *Handbook of Botanical microtechnics. Fundamentals and methods* (MSU publishing house, Moscow, 2004.).
11. Gubanov I. A. *Illustrated determinant of plants of Central Russia. Angiosperms (dicotyledons: razdelnolepestnyye)* (Moscow Publ., Creativity of scientific publications KMC, Institute of technological research), 2 (2003).

УДК 630.181.28

DOI 10.37279/2413-1725-2020-6-4-119-126

БИОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ЕВРОПЕЙСКИХ ВИДОВ СОСНЫ ПРИ ИНТРОДУКЦИИ В ПРИМОРСКОМ КРАЕ

Ревин Е. Н.

*ФНЦ биоразнообразия наземной биоты Восточной Азии ДВО РАН, Владивосток, Россия
E-mail: revnik59@yandex.ru*

В статье подводятся итоги интродукции трех европейских видов сосны (*Pinus mugo Turra*, *p. hamata D. Sosn.*, *p. pallasiana Lamb.*) в условиях Приморского края. Исследования проводили в дендрарии Горнотаежной станции в период 1992–1994 и 2016–2018 гг. Дендрарий расположен в лесной зоне в 25 км от г. Уссурийск. Дан сравнительный анализ климата естественных ареалов сосен и Приморского края. Изучена динамика развития растений от фазы набухания почек до одревеснения побегов. Проанализированы размеры хвои и шишек сосен в дендрарии в сравнении с естественным ареалом. Вносится предложение рекомендовать *Pinus mugo Turra*, *p. hamata D. Sosn.*, *p. pallasiana Lamb.* в качестве лесокультурного материала для увеличения биоразнообразия рекреационных лесов, лесопарковых зон и озеленения населенных пунктов Приморского края.

Ключевые слова: интродукция, европейские виды, сосны, климат, биометрия, фенология.

ВВЕДЕНИЕ

Хвойные растения играют важную роль в лесном и зелено-парковом хозяйстве всех регионов России. Это связано с их большим хозяйственным значением, круглогодичной высокой декоративностью, бальнеологическими свойствами хвойных фитонцидов и другими свойствами и качествами. В Приморском крае хозяйственное использование интродуцированных видов хвойных развито слабо, несмотря на наличие в регионе двух центров интродукции растений [1]. Предпочтение в лесокультурном и садово-парковом хозяйстве традиционно отдается местным видам.

Дальневосточные леса обладают высоким лесовосстановительным потенциалом. При соблюдении технологического регламента лесосечных работ естественное восстановление хвойных пород на вырубках обычно проходит успешно [2]. Поэтому на вырубках предпочтение следует отдавать естественному возобновлению хозяйственно ценных пород, а при необходимости в качестве лесокультурного материала использовать местные хвойные виды растений. В свою очередь, интродуцированные хвойные виды могут высаживаться в рекреационных лесах, лесопарковых зонах и для озеленения населенных пунктов. Это увеличит биоразнообразие существующих естественных и искусственных насаждений и усилит их эстетическое восприятие. Чтобы минимизировать отрицательный результат культивирования интродуцентов, привлекать исходный материал для посадки желательно из числа видов, успешно прошедших этап первичной

интродукции в регионе. Используя метод климатических аналогов и основываясь на эко-биологических и морфологических свойствах растений, предлагается к лесокультурному испытанию три европейских вида сосны : *Pinus mugo Turra*, *p. hamata D. Sosn.*, *p. pallasiana Lamb.*

Интерес к данной проблеме со стороны ученых из других регионов России подтверждает актуальность данных исследований [3, 4].

Цель исследования – обобщить материал по результатам интродукции европейских видов сосны в дендрарии Горнотаежной станции. Для этого в сравнительном аспекте анализируется ритм сезонного роста и развития трех интродуцированных и одного местного вида сосен на фоне оценки основных параметров климата естественных ареалов.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В Дендрарии Горнотаежной станции проводятся постоянные стационарные исследования растений, проходящих здесь этап первичной интродукции, в том числе три европейских вида сосны : сосна горная *Pinus mugo Turra*, крючковатая *p. hamata D. Sosn.*, Палласа *p. pallasiana Lamb.* В качестве контроля взят местный вид – кедр корейский *p. koraiensis Siebold et Zucc.*, растущий здесь же в дендрарии.

Для анализа сезонного ритма развития растений проводились фенологические наблюдения по унифицированной методике [5]. Латинские названия таксонов и морфология изучаемых видов приводятся по [6]. Анализ климата естественных ареалов сосен проводился на основе сведений из Агроклиматического атласа мира [7]. При этом под вегетационным периодом понимали промежуток временем между переходом среднесуточной температуры весной и осенью через +5 °С. Безморозный период – период года от средней даты последнего весеннего заморозка до средней даты первого осеннего заморозка. Сумма активных температур – показатель, характеризующий количество тепла и выражающийся суммой средних суточных температур воздуха или почвы, превышающий +10 °С.

Статистическую обработку данных проводили с помощью MS Excel.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Основным фактором, лимитирующим процесс интродукции в Приморском крае, являются низкие зимние температуры. Поэтому важно иметь представление о климате естественных ареалов интродуцируемых видов (табл. 1). В качестве контроля взяты параметры климата из средней части ареала местного вида – кедра корейского.

Естественные ареалы сосен крючковатой и Палласа характеризуются более теплым климатом по сравнению с Приморским краем. Для них характерны плюсовые значения самого холодного месяца и абсолютный минимум температуры в два раза выше чем в месте интродукции. Климат сосны горной несколько холоднее чем у двух предыдущих видов, однако температура наиболее холодного месяца здесь гораздо выше чем в Приморском крае, это же относится и к абсолютному минимуму температур. Безморозный период в естественных ареалах всех трех интродуцированных видов сосны раньше начинается и позже заканчивается по сравнению с контролем – ареалом кедра корейского. Теоретически может возникнуть

опасность обмерзания почек и побегов у этих видов в годы с большим значением отрицательных температур во время ранних осенних и поздних весенних заморозков. Однако за период наблюдений подобных негативных явлений нами не отмечалось.

Таблица 1

Характеристика климата естественных ареалов сосен

Виды	Средняя температура воздуха, °С		Абсолютный минимум, °С	Период с температурой выше +5 °С		Безморозный период	$\sum t^{>+10^{\circ}\text{C}}$	Длина дня весной и летом, час
	наиболее теплого месяца	наиболее холодного месяца		календарные сроки	число дней			
<i>Pinus mugo Turra</i>	17,6	-5,0	-23,5	04.05-06.10	196	19.04-22.10	3500	12-14
<i>p. hamata D. Sosn.</i>	24,0	+0,6	-18,4	04.03-30.11	272	22.03-14.11	3000	13-14
<i>p. pallasiana Lamb.</i>	24,0	+0,6	-18,0	04.03-30.11	272	22.03-14.11	3000	13-14
<i>p. koraiensis Siebold et Zucc.</i>	21,0	-19,5	-43,0	11.04-20.10	186	06.05-01.10	2300	14-16

Вегетационный период сосен Палласа и крючковой продолжительнее чем в ареале кедр корейского, а у сосны горной он близок по своему значению к условиям Приморского края.

Сумма температур выше +10 °С иллюстрирует обеспеченность регионов количеством тепла, необходимого для развития растений. Ареалы сосны Палласа, крючковой и горной характеризуются большим количеством суммы активных температур по сравнению с климатом Приморского края. Поэтому все три вида при интродукции в Приморский край могут испытывать напряженность сезонного развития в связи с недостаточностью количества тепла, что выражается в удлинении периода вегетации по сравнению с местными хвойными видами.

В таблице 2 приводятся средние размеры видов сосны в возрасте на момент измерений. Все виды достигли репродукционного возраста и характеризуются хорошим жизненным состоянием.

Диаметр ствола сосен крючковой и Палласа превышает этот показатель у местного вида – кедр корейского, несмотря на более старший возраст последнего. По высоте ствола, наоборот, кедр существенно превышает оба интродуцированных вида, что вполне закономерно по причине более старшего возраста. Растения сосны горной в дендрарии имеют кустообразную форму с отклоненными от вертикали двойными стволами и длинными скелетными ветвями.

Таблица 2

Происхождение и размеры видов сосны в дендрарии

Вид	Происхождение	Возраст, лет	Высота, м	Диаметр, см
<i>Pinus mugo Turra</i>	Львов	37	4,2	8,0
<i>p. hamata D. Sosn.</i>	Ялта	30	9,2	27,3
<i>p. pallasiana Lamb.</i>	Сочи	40	8,9	29,0
<i>p. koraiensis Siebold et Zucc.</i>	Горнотаежная станция	54	14.5	23.6

Фенологические наблюдения проводили в периоды 1992–1994 гг (I) и 2016–2018 гг (II). По каждому трехлетнему периоду для удобства изложения выведены средние даты фенологических явлений (табл. 3).

Таблица 3

Даты прохождения основных фенологических явлений сосен в дендрарии

Виды	Фенофазы													
	Набухание почек		Начало роста побегов		Появление хвои		Начало пыления		Окончание роста побегов		Формирование верхушечной почки		Полное одревеснение побегов	
	I	II	I	II	I	II	I	II	I	II	I	II	I	II
<i>Pinus mugo Turra</i>	26.04	23.04	8.05	18.04	6.06	1.06	12.06	2.06	20.06	26.06	25.07	22.07	17.10	10.10
<i>p. hamata D. Sosn.</i>	20.04	16.04	1.05	20.04	3.06	29.05	30.05	25.05	1.07	26.06	25.07	1.08	10.10	15.10
<i>p. pallasiana Lamb.</i>	10.04	14.04	1.05	20.04	1.06	29.05	30.05	23.05	20.06	24.06	20.07	23.07	13.10	12.10
<i>p. koraiensis Siebold et Zucc.</i>	8.04	10.04	30.04	22.04	30.05	28.05	17.06	13.06	23.06	26.06	20.07	26.07	18.10	15.10

Начало вегетации интродуцированных видов сосны в оба периода наблюдений отмечалось с запозданием от этого показателя у местного вида – кедра корейского. Но это касается лишь фазы набухания почек, далее в фазе начала роста побегов эта разница становится незначительной. Начало роста побегов у всех видов во второй период наблюдений отмечено в значительно более ранние сроки. В фазу пыления и окончания роста побегов эти различия уменьшились и в конце вегетации

календарные сроки ее завершения у всех видов были довольно близки. Это позволило всем растениям завершить вегетацию в благоприятные сроки относительно периода с устойчивыми заморозками.

Начало роста хвои в фазе активного роста побегов является биологической особенностью сосен, что подтверждается нашими наблюдениями. Промежуток времени от начала роста побегов до появления хвои, как правило, довольно продолжителен. В период 1992–1994 гг его продолжительность для всех видов сосны колебалась в небольших пределах, от 30 дней у сосны горной до 34 у крючковатой. В период 2016–2018 гг эти различия были значительнее, от 37 дней у кедра корейского до 45 дней у сосны горной. В целом для всех видов промежуток между началом роста побегов до появления хвои более значителен во второй период наблюдений, причем превышение от первого периода составляет для сосны горной на 15 дней, и на 5 дней у кедра корейского.

Таблица 4 иллюстрирует наличие зависимости продолжительности роста побегов от сроков начала их роста и даты начала вегетации. Связь между продолжительностью роста побегов и величиной их годового прироста не прослеживается. Видимо, в этом случае условия перезимовки оказываются важнее, чем протяженность периода роста. При этом более благоприятным в отношении роста побегов оказался период наблюдений 2016–2018 гг. Исключение – сосна горная, у которой величина годового прироста побегов практически не отличаются в оба периода наблюдений. Наименьшей интенсивностью роста характеризуется сосна горная, наибольшей кедр корейский.

Таблица 4

Развитие сосен в течение вегетационного периода

Вид	Сроки вегетации		Продолжительность вегетации, дни		Продолжительность роста побегов, дни		Годичный прирост, см	
	I	II	I	II	I	II	I	II
1	2	3	4	5	6	7	8	9
<i>Pinus mugo Turra</i>	20.04-17.10	23.04-10.10	180	186	44	70	8,1	7,9
<i>p. hamata D. Sosn.</i>	20.04-10.10	20.04-15.10	178	188	61	68	14,7	15,5
<i>p. pallasiana Lamb.</i>	10.04-13.10	14.04-12.10	186	178	54	66	9,0	10,1
<i>p. koraiensis Siebold et Zucc.</i>	08.04-18.10	10.04-15.10	192	187	51	66	18,7	20,2

Примечание: I – период наблюдений 1992–1994 гг., II – 2016–2018 гг.

Данные, приведенные в таблице 5, позволяют сравнить параметры хвои и женских шишек в естественном ареале и месте интродукции.

Таблица 5

Размеры хвои шишек интродуцированных сосен

Вид	Длина хвои, см			Ширина хвои, мм			Длина шишки, см			Ширина шишки, см		
	I	II		I	II		I	II		I	II	
		X _{ср} ± mх	V, %		X _{ср} ± mх	V, %		X _{ср} ± mх	V, %		X _{ср} ± mх	V, %
<i>Pinus mugo Turra</i>	3–8	6,8 ± 0,82	22,9	1,5–2	1,0 ± 0,041	11,2	2–7	4,7 ± 2,13	14,9	1,5–2	2,0 ± 0,22	7,0
<i>p. hamata D. Sosn.</i>	2–7	6,5 ± 0,67	21,3	до 2	1,5 ± 0,038	8,2	3,5–6	5,8 ± 0,92	6,8	2–3	2,5 ± 0,34	8,2
<i>p. pallasiana Lamb.</i>	8–12	8,4 ± 0,97	23,3	1,6–2,1	1,7 ± 0,045	12,3	5–10	5,2 ± 1,43	11,3	4,5–6	3,2 ± 0,52	11,8

Примечание: I – показатели в естественном ареале; II – в месте интродукции;

X_{ср} ± mх – среднее выборочное значение признака с оценкой ошибки среднего; V – коэффициент вариации.

Размеры хвои видов сосны в условиях интродукции в целом находятся в пределах значений длины и ширины в естественных ареалах, за исключением более узкой хвои в месте интродукции у сосны горной. Длина и ширина зрелых нераскрытых шишек всех трех видов сосны в условиях дендрария укладываются в указанные размеры в местах естественного произрастания. Причем средняя длина шишек сосны Палласа в условиях интродукции находится у нижней границы колебаний этого параметра на родине, ширина шишки сосны горной – у верхней.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Выбор трех обсуждаемых видов сосны для интродукции в Приморский край проводился в свое время с использованием метода климатических аналогов. Имеющиеся различия между климатическими показателями естественных ареалов и местом интродукции могут иметь негативные значения для развития растений в аномально холодные годы. Однако в данном случае эти различия не имеют существенной величины и при возникновении самых неблагоприятных условий могут привести лишь к задержке развития, но не к повреждениям надземных частей растений.

Биометрические параметры видов сосны в условиях интродукции в целом соответствуют аналогичным размерам в естественном ареале. Ритм сезонного развития интродуцированных сосен соответствует годовой динамике климатической ситуации в условиях Приморского края, а его календарные сроки близки к датам фенологических явлений местного вида - кедра корейского.

Сосны Горную, крючковатую и Палласа можно рекомендовать в качестве лесокультурного материала для увеличения биоразнообразия рекреационных лесов, лесопарковых зон и участков озеленения населенных пунктов.

Список литературы

1. Коропачинский И. Ю. Очередные задачи интродукции древесных растений в азиатской России / И. Ю. Коропачинский, Т. Н. Встовская, М. А. Томошевич // Сибирский экологический журнал. – 2011. – №2. – С. 147–170.
2. Ковалёв А. П. Об эффективности восстановления лесов на Дальнем Востоке / А. П. Ковалёв, С. В. Шелопугина, А. Г. Матвеева // Вестник ТОГУ. – 2015. – № 2(37). – С. 23–28.
3. Левин С. В. Биоэкологические особенности интродукции вида сосны палласа в Центрально-Черноземном регионе России / С. В. Левин, В. И. Пашенко // Лесохозяйственная информация. – 2018. – Вып.4. – С. 74–88.
4. Неженцева Т. В. Опыт интродукции некоторых видов родового комплекса *Pinus L.* в Ставропольском ботаническом / Т. В. Неженцева // Успехи современного естествознания. – 2020. – № 7. – С. 25–30.
5. Александрова М. С. Методика фенологических наблюдений за хвойными / М. С. Александрова, Н. В. Шкутко, А. А. Фролова. – М., 1975. – 27 с.
6. Деревья и кустарники СССР. Дикорастущие, культивируемые и перспективные для интродукции. М.; Л. : Изд-во АН СССР. – 1949. – Т. 1 : Голосеменные.
7. Агроклиматический атлас мира. – М.:Л.: Гидрометеиздат, 1972. – 128 с.

BIOLOGICAL FEATURES OF EUROPEAN SPECIES OF PINE IN THE INTRODUCTION IN PRIMORSKY REGION

Repin E. N.

*Federal Scientific Center of the East Asia Terrestrial Biodiversity, Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences, Russia
E-mail: revnik59@yandex.ru*

In the Primorsky Territory, the economic use of introduced species of conifers is poorly developed. Local species are traditionally preferred in forestry and gardening. The objects for the cultivation of introduced coniferous species can be recreational forests, forest park zones and areas of landscaping of settlements. This will increase the biodiversity of existing natural and artificial plantations and enhance their aesthetic appeal.

The aim of the research is to summarize the material on the results of the introduction of European pine species in the arboretum of the Mountain Taiga Station. The rhythm of seasonal development of *Pinus mugo Turra*, *p. hamata D. Sosn.*, *p. pallasiana Lamb.* The local species *-p* was taken as a control. *koraiensis Siebold et Zucc.*

The main climatic indicators of natural areas of pine trees are analyzed. The similarities and differences of these indicators with the climate of Primorsky Krai were revealed. Natural ranges of *Pinus mugo*, *p. hamata.*, *p. pallasiana.* characterized by a warmer climate compared to the Primorsky Territory. Theoretically, there may be a danger of freezing of buds and shoots in these species in years with a high value of

negative temperatures. However, during the observation period, we did not notice signs of freezing of buds or shoots. All three pine species, when introduced to the Primorsky Territory, may experience tension in seasonal development due to insufficient heat. This is reflected in the lengthening of the growing season in comparison with local coniferous species.

All species in the arboretum have reached reproductive age and are in good health.

Biometric parameters of pine species under conditions of introduction generally correspond to similar sizes in their natural range. The exception is narrower needles at the place of introduction near the river. mugo. The length and width of the cones of the three pine species in the arboretum are within the indicated sizes in their natural habitat. Moreover, the average length of the cones p. pallasiana under conditions of introduction is at the lower limit of fluctuations in this parameter at home. The width of the cones r. mugo – at the upper border.

The rhythm of seasonal development of introduced pines corresponds to the annual dynamics of the climate in the conditions of Primorsky Krai. Calendar dates of phenological phenomena are close to the local species p. koraiensis Siebold et Zucc. All plants complete the growing season at favorable times relative to the period with stable frosts.

The relationship between the duration of shoot growth and the size of their annual growth is not traced. The lowest growth rate is characterized by p. mugo, greatest p. koraiensis.

Pinus mugo, p. hamata., p. pallasiana can be recommended for increasing the biodiversity of recreational forests, forest parks and green areas in settlements.

Keywords: introduction, European species, pines, climate, biometrics, phenology.

References

1. Koropachinsky I. Yu., Vstovskaya T. N., Tomoshevich M. A. The next tasks for the introduction of woody plants in Asian Russia, *Siberian Journal of Ecology*, **2**, 147 (2011).
2. Kovalev A. P., Shelopugina S. V., Matveeva A. G. On the effectiveness of forest restoration in the Far East., *Vestnik PNU*, **2 (37)**, 23 (2015).
3. Levin S. V., Pashchenko V. I. Bioecological features of the introduction of the pallas pine species in the Central Black Earth region of Russia, *Forestry information*, **4**, 74 (2018).
4. Nezhentseva T. V. Experience of introduction of some species of the genus complex Pinus L. B in the Stavropol Botanical, *Success of modern natural science*, **7**, 25 (2020).
5. Alexandrova M. S., Shkutko N. V., Frolova A. A. *Methodology for phenological observations of conifers*, 27 p. (M., 1975).
6. Trees and shrubs of the USSR. Wild, cultivated and promising for introduction. T. 1: Gymnosperms. (M.; L.: Publishing house of the Academy of Sciences of the USSR, 1949).
7. Agroclimatic Atlas of the World, 128 s. (M.: L. : Hydrometeoizdat. 1972).

УДК 577;574

DOI 10.37279/2413-1725-2020-6-4-127-142

**ВЫЯВЛЕНИЕ ПРИНАДЛЕЖНОСТИ ВИДОВ ГИДРОБИОНТОВ ОЗЕРА
ВЕРХНИЙ КАБАН Г.КАЗАНИ К ЗОНАМ САПРОБНОСТИ ПО МАРКЕРНОМУ
ГЕНУ 18S рРНК**

Свердруп А. Э., Фролова Л. Л.

*Казанский федеральный университет, Казань, Россия
E-mail: Anthony.Sverdrup8@gmail.com*

В работе представлены результаты исследования гипотетического хода эволюции гидробионтов озера Верхний Кабан г.Казани по маркерному гену 18S рРНК с целью выявления принадлежности видов к зонам сапробности на основе молекулярного филогенетического анализа. Молекулярные филогенетические деревья построены методами присоединения соседей (NJ) и максимальной экономии (MP) для гидробионтов озера Верхний Кабан, идентификация которых была проведена по методу секвенирования нового поколения (Illumina) с использованием маркерного гена 18S рРНК (SRR7510986, SRR7465374, SRR7516513). С помощью филогенетического анализа гидробионтов озера Верхний Кабан по маркерному гену 18S рРНК выявлено 12 кластеров с высоким бутстреп-значением, содержащих 12 существующих индикаторных видов гидробионтов и 13 видов-индикаторов разных зон сапробности, не имевших ранее статус индикаторных видов.

Ключевые слова: молекулярная филогения, маркерный ген 18S рРНК, гидробионты, пресноводные водоёмы, сапробность, озеро Верхний Кабан.

ВВЕДЕНИЕ

Озера Кабан расположены в черте крупного промышленного города Казани и постоянно испытывают антропогенную нагрузку. Они представляют собой водную систему, состоящую из трёх крупных городских водоёмов – Верхний Кабан, Средний Кабан и Нижний Кабан. Озеро Верхний Кабан – обособленный водоём, который расположен в 1,3 км от озера Средний Кабан, не соединяется с остальными водоёмами и обладает наименьшими размерами. Береговая линия сравнительно ровная, за исключением северного конца, образующего узкий залив, частично заболоченный и зарастающий. На западном берегу озера располагается городской посёлок, на восточном берегу – автодорога и далее, на склоне, садовые участки. Длина озера составляет около 1 км, средняя ширина 245 м, максимальная ширина – 370 м. Наибольшая глубина озера – 15 м; средняя глубина – 8 м; площадь озера – 25 га [1].

По санитарно-экологическим показателям озера Кабан относятся к загрязнённым. Одним из методов, используемых для оценки экологического состояния водоёмов, является метод биоиндикации, основанный на способности индикаторных видов организмов выживать в воде с той или иной определённой

степенью загрязнения. В настоящее время в качестве индикаторов используются виды пресноводных гидробионтов из списка В. Сладечека (1973) [2]. Списки видов-индикаторов пополняются крайне медленно из-за длительности процесса проведения экспериментальных наблюдений. В то же время снижение стоимости технологий секвенирования нового поколения с высокой пропускной способностью позволяет идентифицировать большое количество организмов [3–5] и проводить молекулярный филогенетический анализ с целью выявления принадлежности видов к зонам сапробности на основе исследования гипотетического хода эволюции видов гидробионтов по маркерным генам [6], в том числе по гену 18S рРНК. Преимуществом исследования по рибосомным генам 18S рРНК/16S рРНК является их присутствие во всех организмах. Гены рРНК – одни из наиболее консервативных генов. Поэтому систематическое положение организма и время расхождения с близкими видами могут быть определены на основании анализа сходств и различий в последовательностях рРНК [7].

Выявление большего количества видов-индикаторов значительно повысит достоверность оценки качества воды водоёмов.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В работе использованы современные методы молекулярной биологии, биоинформатики и молекулярной филогении.

Поиск и множественное выравнивание нуклеотидных последовательностей маркерного гена 18S рРНК гидробионтов проведены с использованием онлайн-программ на сайте NCBI (<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/>), реконструкция и визуализация молекулярных филогенетических деревьев проведены с помощью программы MEGA-X (Molecular Evolutionary Genetics Analysis, <http://www.megasoftware.net/>).

Молекулярные филогенетические деревья построены методами присоединения соседей (NJ) [8, 9] и максимальной экономии (MP) [10, 11] для гидробионтов озера Верхний Кабан, идентификация которых была проведена по методу секвенирования нового поколения (Illumina) с использованием маркерного гена 18S рРНК (SRR7510986, SRR7465374, SRR7516513). Бутстреп-значения приведены рядом с узлами обобщённого дерева [12]. В таблице 1 рядом с названием вида указана его сапробность из списка В. Сладечека (1973), приведён идентификационный номер его нуклеотидной последовательности 18S рРНК в международной базе данных GenBank.

Таблица 1

**Идентификационные номера нуклеотидных последовательностей 18S рРНК
видов гидробионтов в базе данных GenBank**

S*	Вид	NCBI ID	S	Вид	NCBI ID
	<i>Achlya bisexualis</i>	166300		<i>Lagerheimia longiseta</i>	442571948

ВЫЯВЛЕНИЕ ПРИНАДЛЕЖНОСТИ ВИДОВ ГИДРОБИОНТОВ ОЗЕРА ...

S*	Вид	NCBI ID	S	Вид	NCBI ID
	<i>Achnanthidium minutissimum</i>	789408363		<i>Lagynion scherffelii</i>	5257240
p	<i>Acineria incurvata</i>	645759758		<i>Licmophora abbreviata</i>	924436425
	<i>Actinotaenium phymatosporum</i>	23304137		<i>Licmophora grandis</i>	126116676
	<i>Amphora laevissima</i>	612408392		<i>Lindernia crustacea</i>	284975304
o-b	<i>Amphora ovalis</i>	612408395		<i>Makinoella tosaensis</i>	824632969
	<i>Apokeronopsis crassa</i>	404425838		<i>Meyerella planktonica</i>	28883446
o-b	<i>Asterionella formosa</i>	370991436		<i>Monocoronella carnea</i>	224579099
	<i>Astragalus variabilis</i>	751813766		<i>Mucidosphaerium pulchellum</i>	37362085
	<i>Astylozoon enriquesi</i>	17223768		<i>Muriella terrestris</i>	3721581
	<i>Bacillaria paxillifer</i>	959096469		<i>Myoschiston cf.duplicatum</i>	381149199
	<i>Bicosoeca kenaiensis</i>	749396754		<i>Nassula labiata</i>	558697254
	<i>Blepharocorys curvigula</i>	269246308		<i>Navicula cf.normaloides</i>	1005406241
o-b	<i>Botryococcus braunii</i>	225903793		<i>Navicula cryptotenelloides</i>	952988073
	<i>Bryometopus triquetrus</i>	675304917		<i>Neobodo borokensis</i>	930722314
	<i>Cassitha filiformis</i>	523916672		<i>Nitzschia amphibia</i>	56398975
	<i>Chamabainia cuspidata</i>	557162315	o-b	<i>Nitzschia fonticola</i>	58416170
	<i>Chilodonella acuta</i>	588494198		<i>Paranophrys magna</i>	430737142
	<i>Chilodonella parauncinata</i>	693735214		<i>Pavlova granifera</i>	330423569
p-a	<i>Chlorella vulgaris</i>	1237896213		<i>Physaria ludoviciana</i>	984915404
	<i>Chromophyton vischeri</i>	281371119		<i>Phytophthora porri</i>	403181314
	<i>Coccolithus braarudii</i>	32879327		<i>Phytophthora sojae</i>	53693098

S*	Вид	NCBI ID	S	Вид	NCBI ID
b	<i>Cocconeis placentula</i>	329343421		<i>Placus salinus</i>	558697259
	<i>Coleochaete scutata</i>	18289		<i>Plagiopogon loricatus</i>	514076798
b-a	<i>Coleps hirtus</i>	4090657		<i>Plagioselmis nannoplanctica</i>	215262414
	<i>Croton texensis</i>	984915385		<i>Porpostoma notata</i>	306032968
b	<i>Cryptomonas curvata</i>	1003585960		<i>Protocyclidium sinica</i>	514076830
	<i>Cryptomonas ozolini</i>	529274331		<i>Rhabdonema adriaticum</i>	555823261
	<i>Cucumis melo</i>	13876599		<i>Sartidia perrieri</i>	1001184035
	<i>Cyathea poeppigii</i>	109138938		<i>Siluania monomastiga</i>	3335210
	<i>Cyclonexis annularis</i>	5257246		<i>Sorodiplophrys stercorea</i>	1000926255
	<i>Cyclotella choctawhatcheeana</i>	168145946		<i>Storeatula major</i>	1777916
b-a	<i>Cymatopleura solea</i>	906411159		<i>Synura mammillosa</i>	2058487
b	<i>Cymbella cistula</i>	725655009	b	<i>Synura petersenii</i>	2058488
	<i>Dextrichides pangi</i>	28974302	b-o	<i>Synura spinosa</i>	859809142
b	<i>Dinobryon divergens</i>	1210424080		<i>Telotrochidium matiense</i>	157367079
	<i>Dinobryon pediforme</i>	728802316		<i>Tessellaria volvocina</i>	2058491
	<i>Diplosphaera mucosa</i>	664686831	o-b	<i>Tintinnidium fluviatile</i>	388540836
	<i>Emiliana huxleyi</i>	514253898		<i>Trithigmostoma cucullulus</i>	290581700
	<i>Enchelys gasterosteus</i>	324499387		<i>Uroglenopsis americana</i>	5257242
	<i>Epistylis chlorelligerum</i>	699360684		<i>Urosolenia eriensis</i>	329343406
	<i>Eunotia minor</i>	789408372		<i>Urosomoida agilis</i>	674781142
	<i>Exanthemachrysis gayraliae</i>	99907146	a-b	<i>Urostyla grandis</i>	822576503
	<i>Glaucocystis nostochinearum</i>	683567		<i>Vampyrella lateritia</i>	378734995

ВЫЯВЛЕНИЕ ПРИНАДЛЕЖНОСТИ ВИДОВ ГИДРОБИОНТОВ ОЗЕРА ...

S*	Вид	NCBI ID	S	Вид	NCBI ID
	<i>Gomphonéis minuta</i>	725655038	p	<i>Vorticella aequilata</i>	363412175
	<i>Goniomonas avonlea</i>	411170591	b	<i>Vorticella mayeri</i>	1002824137
	<i>Hibberdia magna</i>	174830		<i>Zoothamnium pluma</i>	110294735
	<i>Humidophila australis</i>	694880111		<i>Zygnema circumcarinatum</i>	669688778
	<i>Hyalosynedra cf. laevigata</i>	126116673		<i>Lewinskya sordidum</i>	109138912
	<i>Kleinstyla dorsicirrata</i>	471272487	*S – сапробность по В.Сладечеку: о-олиго-, b-бетамезо-, а-альфамезо-, р-поли-сапробы		

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Молекулярные филогенетические деревья построены двумя методами – присоединения соседей (NJ) и максимальной экономии (MP) – для гидробионтов озера Верхний Кабан, идентификация которых была проведена по методу секвенирования нового поколения (Illumina) с использованием маркерного гена 18S рРНК. Обобщённое филогенетическое дерево по маркерному гену 18S рРНК гидробионтов озера Верхний Кабан приведено на рис. 1. Бутстреп-значения приведены рядом с узлами дерева.

Как видно из рис. 1, на обобщённом молекулярном филогенетическом дереве выявлено 12 кластеров с высоким бутстреп-значением, содержащих индикаторные виды гидробионтов и виды-индикаторы разных зон сапробности, не имевших ранее статус индикаторных видов:

Кластер 1: Вид *Vorticella mayeri* – b-индикатор сгруппирован с неиндикаторным видом *Astylozoon enriquesi* с высоким бутстреп-значением 100 %. В табл. 2 приведено таксономическое положение сгруппированных организмов.

Таблица 2

**Таксономическое положение сгруппированных гидробионтов
Vorticella mayeri и *Astylozoon enriquesi***

Domain	<i>Eukaryota</i>	<i>Eukaryota</i>
Kingdom	<i>Chromista</i>	<i>Chromista</i>
Phylum	<i>Ciliophora</i>	<i>Ciliophora</i>
Class	<i>Oligohymenophorea</i>	<i>Oligohymenophorea</i>
Order	<i>Sessilida</i>	<i>Sessilida</i>
Family	<i>Vorticellidae</i>	<i>Astylozoidae</i>
Genus, Species	<i>Vorticella mayeri</i>	<i>Astylozoon enriquesi</i>

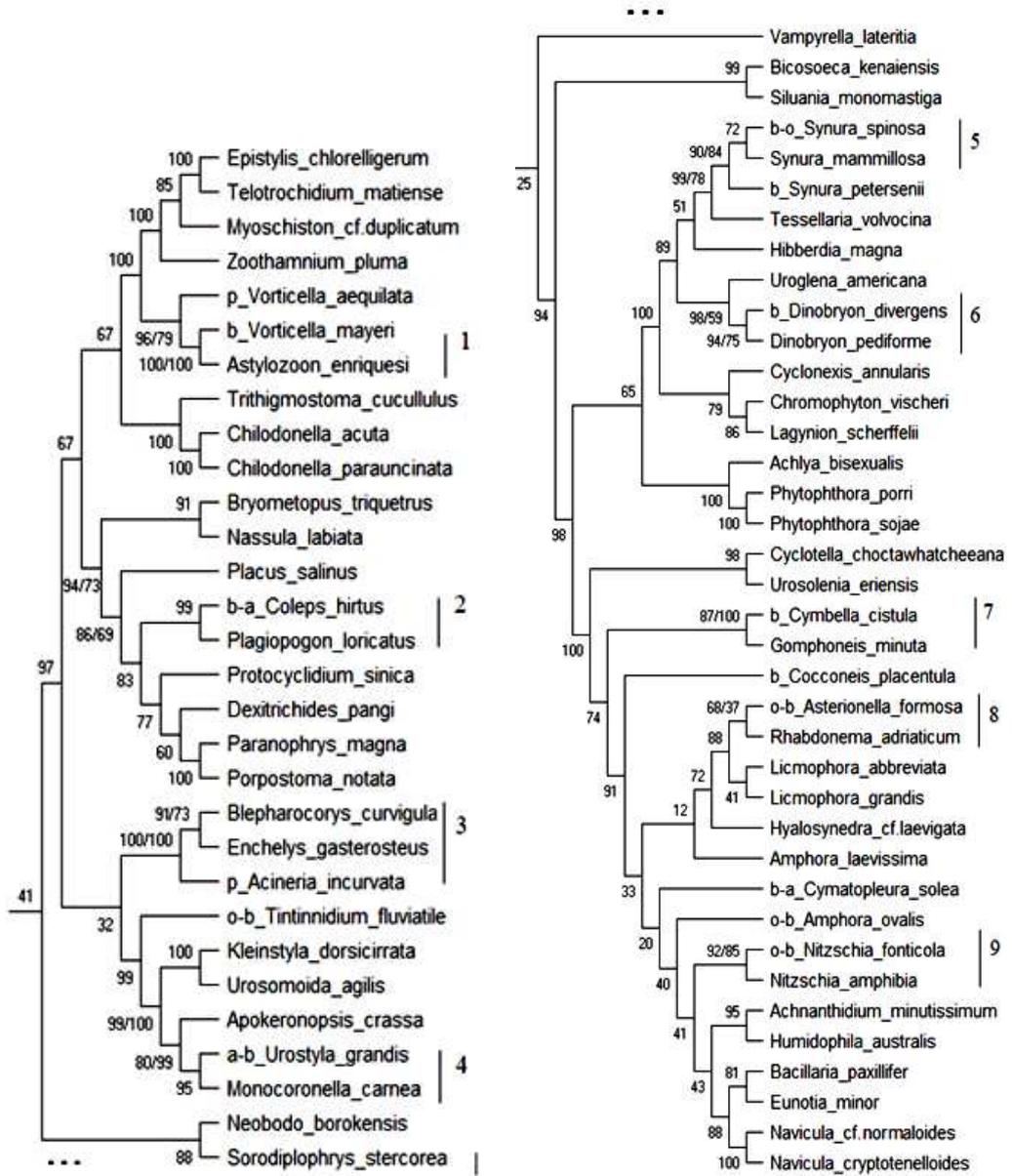
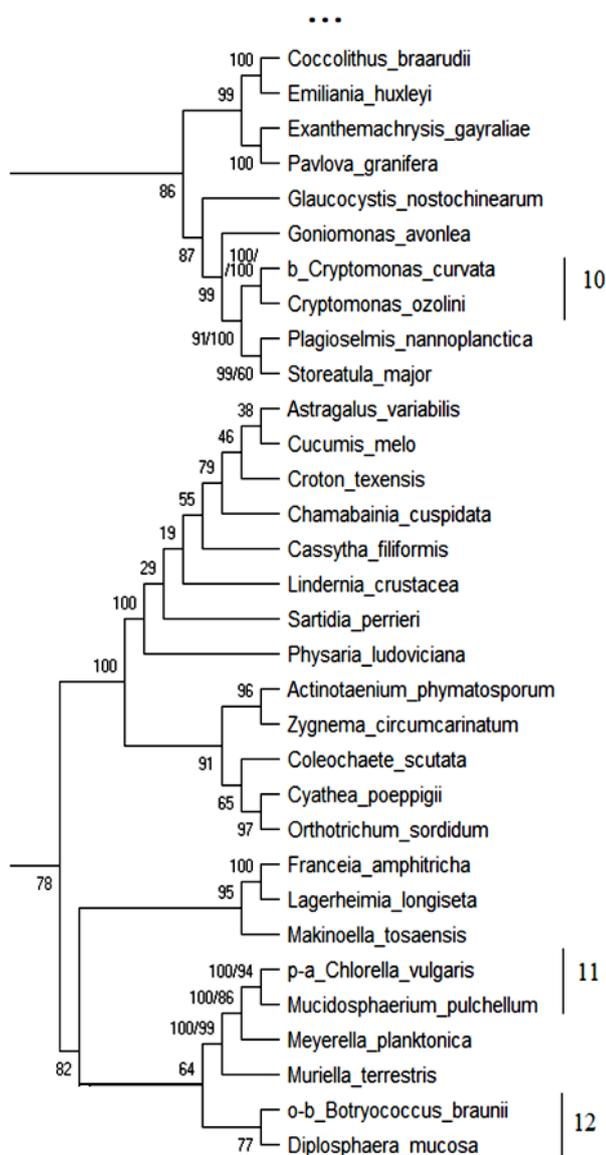


Рис. 1. Обобщённое филогенетическое дерево по маркерному гену 18S рРНК гидробионтов озера Верхний Кабан (NJ/MP).



Продолжение рис. 1.

Как видно из табл. 2 кластер 1 содержит организмы, близкие по таксономическому положению, и вид *Astylozoon enriquesi* может рассматриваться как индикатор *b*-мезосапробности с вероятностью 100 %.

Кластер 2: Вид *Coleps hirtus* – *b-a*-индикатор сгруппирован с неиндикаторным видом *Plagiopogon loricatus* с высоким бутстреп-значением 99 %. В табл. 3 приведено таксономическое положение сгруппированных организмов.

Таблица 3

**Таксономическое положение сгруппированных гидробионтов
Coleps hirtus и *Plagiopogon loricatus***

Domain	<i>Eukaryota</i>	<i>Eukaryota</i>
Kingdom	<i>Chromista</i>	<i>Chromista</i>
Phylum	<i>Ciliophora</i>	<i>Ciliophora</i>
Class	<i>Prostomatea</i>	<i>Prostomatea</i>
Order	<i>Prorodontida</i>	<i>Prorodontida</i>
Family	<i>Colepidae</i>	<i>Colepidae</i>
Genus, Species	<i>Coleps hirtus</i>	<i>Plagiopogon loricatus</i>

Как видно из табл. 3 кластер 2 содержит организмы, близкие по таксономическому положению, и вид *Plagiopogon loricatus* может рассматриваться как индикатор *b-a*-мезосапробности с вероятностью 99 %.

Кластер 3: Вид *Acineria incurvata* – *p*-индикатор сгруппирован с неиндикаторными видами *Blepharocorys curvigula* и *Enchelys gasterosteus* с высоким бутстреп-значением 100 %. В табл. 4 приведено таксономическое положение сгруппированных организмов.

Таблица 4

**Таксономическое положение сгруппированных гидробионтов
Acineria incurvata, *Blepharocorys curvigula* и *Enchelys gasterosteus***

Domain	<i>Eukaryota</i>	<i>Eukaryota</i>	<i>Eukaryota</i>
Kingdom	<i>Chromista</i>	<i>Chromista</i>	<i>Chromista</i>
Phylum	<i>Ciliophora</i>	<i>Ciliophora</i>	<i>Ciliophora</i>
Class	<i>Litostomatea</i>	<i>Litostomatea</i>	<i>Litostomatea</i>
Order	<i>Pleurostomatida</i>	<i>Entodiniomorphida</i>	<i>Haptorida</i>
Family	<i>Litonotidae</i>	<i>Blepharocorythidae</i>	<i>Enchelyidae</i>
Genus, Species	<i>Acineria incurvata</i>	<i>Blepharocorys curvigula</i>	<i>Enchelys gasterosteus</i>

Как видно из табл. 4 кластер 3 содержит организмы близкие по таксономическому положению до уровня Class, и виды *Blepharocorys curvigula* и *Enchelys gasterosteus* могут рассматриваться как индикаторы *p*-сапробности с вероятностью 100 %.

Кластер 4: Вид *Urostyla grandis* – *a-b*-индикатор сгруппирован с неиндикаторным видом *Monocoronella carnea* с высоким бутстреп-значением 95 %. В табл. 5 приведено таксономическое положение сгруппированных организмов.

Таблица 5

Таксономическое положение сгруппированных гидробионтов
Urostyla grandis и *Monocoronella carnea*

Domain	<i>Eukaryota</i>	<i>Eukaryota</i>
Kingdom	<i>Chromista</i>	<i>Chromista</i>
Phylum	<i>Ciliophora</i>	<i>Ciliophora</i>
Class	<i>Spirotrichea</i>	<i>Spirotrichea</i>
Order	<i>Urostylida</i>	<i>Urostylida</i>
Family	<i>Urostylidae</i>	<i>Urostylida incertae sedis</i>
Genus, Species	<i>Urostyla grandis</i>	<i>Monocoronella carnea</i>

Как видно из табл. 5 кластер 4 содержит организмы близкие по таксономическому положению, и вид *Monocoronella carnea* может рассматриваться как индикатор *a-b*-мезосапробности с вероятностью 95 %.

Кластер 5: Вид *Synura spinosa* – *b-o*-индикатор сгруппирован с неиндикаторным видом *Synura mammillosa* с высоким бутстреп-значением 72 %. В табл. 6 приведено таксономическое положение сгруппированных организмов.

Таблица 6

Таксономическое положение сгруппированных гидробионтов
Synura spinosa и *Synura mammillosa*

Domain	<i>Eukaryota</i>	<i>Eukaryota</i>
Kingdom	<i>Chromista</i>	<i>Chromista</i>
Phylum	<i>Heterokonta</i>	<i>Heterokonta</i>
Class	<i>Synurophyceae</i>	<i>Synurophyceae</i>
Order	<i>Synurales</i>	<i>Synurales</i>
Family	<i>Mallomonadaceae</i>	<i>Mallomonadaceae</i>
Genus, Species	<i>Synura spinosa</i>	<i>Synura mammillosa</i>

Как видно из табл. 6 кластер 5 содержит организмы, близкие по таксономическому положению, и вид *Synura mammillosa* может рассматриваться как индикатор *b-o*-сапробности с вероятностью 72 %.

Кластер 6: Вид *Dinobryon divergens* – *b*-индикатор сгруппирован с неиндикаторным видом *Dinobryon pediforme* с высоким бутстреп-значением 94 %. В табл. 7 приведено таксономическое положение сгруппированных организмов.

Таблица 7

**Таксономическое положение сгруппированных гидробионтов
Dinobryon divergens и *Dinobryon pediforme***

Domain	<i>Eukaryota</i>	<i>Eukaryota</i>
Kingdom	<i>Chromista</i>	<i>Chromista</i>
Phylum	<i>Ochrophyta</i>	<i>Ochrophyta</i>
Class	<i>Chrysophyceae</i>	<i>Chrysophyceae</i>
Order	<i>Chromulinales</i>	<i>Chromulinales</i>
Family	<i>Dinobryaceae</i>	<i>Dinobryaceae</i>
Genus, Species	<i>Dinobryon divergens</i>	<i>Dinobryon pediforme</i>

Как видно из табл. 7 кластер 6 содержит организмы, близкие по таксономическому положению, и вид *Dinobryon pediforme* может рассматриваться как индикатор *b*-мезосапробности с вероятностью 94 %.

Кластер 7: Вид *Cymbella cistulla* – *b*-индикатор сгруппирован с неиндикаторным видом *Gomphoneis minuta* с высоким бутстреп-значением 100 %. В табл. 8 приведено таксономическое положение сгруппированных организмов.

Таблица 8

**Таксономическое положение сгруппированных гидробионтов
Cymbella cistulla и *Gomphoneis minuta***

Domain	<i>Eukaryota</i>	<i>Eukaryota</i>
Kingdom	<i>Chromista</i>	<i>Chromista</i>
Phylum	<i>Ochrophyta</i>	<i>Ochrophyta</i>
Class	<i>Bacillariophyceae</i>	<i>Bacillariophyceae</i>
Order	<i>Cymbellales</i>	<i>Cymbellales</i>
Family	<i>Cymbellaceae</i>	<i>Gomphonemataceae</i>
Genus, Species	<i>Cymbella cistulla</i>	<i>Gomphoneis minuta</i>

Как видно из табл. 8 кластер 7 содержит организмы, близкие по таксономическому положению, и вид *Gomphoneis minuta* может рассматриваться как индикатор *b*-мезосапробности с вероятностью 100 %.

Кластер 8: Вид *Asterionella formosa* – *o-b*-индикатор сгруппирован с неиндикаторным видом *Rhabdonema adriaticum* с бутстреп-значением 68 %. В табл. 9 приведено таксономическое положение сгруппированных организмов.

Таблица 9

Таксономическое положение сгруппированных гидробионтов
Asterionella formosa и *Rhabdonema adriaticum*

Domain	<i>Eukaryota</i>	<i>Eukaryota</i>
Kingdom	<i>Chromista</i>	<i>Chromista</i>
Phylum	<i>Ochrophyta</i>	<i>Ochrophyta</i>
Class	<i>Fragilariophyceae</i>	<i>Bacillariophyceae</i>
Order	<i>Fragilariales</i>	<i>Rhabdonematales</i>
Family	<i>Fragilariaceae</i>	<i>Rhabdonemataceae</i>
Genus, Species	<i>Asterionella formosa</i>	<i>Rhabdonema adriaticum</i>

Как видно из табл. 9 кластер 8 содержит организмы, близкие по таксономическому положению до уровня *Phylum*, и вид *Rhabdonema adriaticum* может рассматриваться как индикатор *o-b*-сапробности с вероятностью 68 %.

Кластер 9: Вид *Nitzschia fonticola* – *o-b*-индикатор сгруппирован с неиндикаторным видом *Nitzschia amphibia* с высоким бутстреп-значением 92 %. В табл. 10 приведено таксономическое положение сгруппированных организмов.

Таблица 10

Таксономическое положение сгруппированных гидробионтов
Nitzschia fonticola и *Nitzschia amphibia*

Domain	<i>Eukaryota</i>	<i>Eukaryota</i>
Kingdom	<i>Chromista</i>	<i>Chromista</i>
Phylum	<i>Ochrophyta</i>	<i>Ochrophyta</i>
Class	<i>Bacillariophyceae</i>	<i>Bacillariophyceae</i>
Order	<i>Bacillariales</i>	<i>Bacillariales</i>
Family	<i>Bacillariaceae</i>	<i>Bacillariaceae</i>
Genus, Species	<i>Nitzschia fonticola</i>	<i>Nitzschia amphibia</i>

Как видно из табл. 10 кластер 9 содержит организмы, близкие по таксономическому положению, и вид *Nitzschia amphibia* может рассматриваться как индикатор *o-b*-сапробности с вероятностью 92 %.

Кластер 10: Вид *Cryptomonas curvata* – *b*-индикатор сгруппирован с неиндикаторным видом *Cryptomonas ozolini* с высоким бутстреп-значением 100 %. В табл. 11 приведено таксономическое положение сгруппированных организмов.

Таблица 11

**Таксономическое положение сгруппированных гидробионтов
Cryptomonas curvata и *Cryptomonas ozolini***

Domain	<i>Eukaryota</i>	<i>Eukaryota</i>
Kingdom	<i>Chromista</i>	<i>Chromista</i>
Phylum	<i>Cryptophyta</i>	<i>Cryptophyta</i>
Class	<i>Cryptophyceae</i>	<i>Cryptophyceae</i>
Order	<i>Cryptomonadales</i>	<i>Cryptomonadales</i>
Family	<i>Cryptomonadaceae</i>	<i>Cryptomonadaceae</i>
Genus, Species	<i>Cryptomonas curvata</i>	<i>Cryptomonas ozolini</i>

Как видно из табл. 11 кластер 10 содержит организмы, близкие по таксономическому положению, и вид *Cryptomonas ozolini* может рассматриваться как индикатор *b*-мезосапробности с вероятностью 100 %.

Кластер 11: Вид *Chlorella vulgaris* – *p*-*a*-индикатор сгруппирован с неиндикаторным видом *Mucidosphaerium pulchellum* с высоким бутстреп-значением 100 %. В табл. 12 приведено таксономическое положение сгруппированных организмов.

Таблица 12

**Таксономическое положение сгруппированных гидробионтов
Chlorella vulgaris и *Mucidosphaerium pulchellum***

Domain	<i>Eukaryota</i>	<i>Eukaryota</i>
Kingdom	<i>Plantae</i>	<i>Plantae</i>
Phylum	<i>Chlorophyta</i>	<i>Chlorophyta</i>
Class	<i>Trebouxiophyceae</i>	<i>Trebouxiophyceae</i>
Order	<i>Chlorellales</i>	<i>Chlorellales</i>
Family	<i>Chlorellaceae</i>	<i>Chlorellaceae</i>
Genus, Species	<i>Chlorella vulgaris</i>	<i>Mucidosphaerium pulchellum</i>

Как видно из табл. 12 кластер 11 содержит организмы близкие по таксономическому положению, и вид *Mucidosphaerium pulchellum* может рассматриваться как *p*-*a*-индикатором с вероятностью 100 %.

Кластер 12: Вид *Botryococcus brauni* – *o*-*b*-индикатор сгруппирован с неиндикаторным видом *Diplosphaera mucosa* с высоким бутстреп-значением 77 %. В табл. 13 приведено таксономическое положение сгруппированных организмов.

Таблица 13

Таксономическое положение сгруппированных гидробионтов
Botryococcus brauni и *Diplosphaera mucosa*

Domain	<i>Eukaryota</i>	<i>Eukaryota</i>
Kingdom	<i>Plantae</i>	<i>Plantae</i>
Phylum	<i>Chlorophyta</i>	<i>Chlorophyta</i>
Class	<i>Trebouxiophyceae</i>	<i>Chlorophyceae</i>
Order	<i>Trebouxiales</i>	<i>Chaetophorales</i>
Family	<i>Botryococcaceae</i>	<i>Chaetophoraceae</i>
Genus, Species	<i>Botryococcus brauni</i>	<i>Diplosphaera mucosa</i>

Как видно из табл. 13 кластер 12 содержит организмы, близкие по таксономическому положению на уровне *Phylum*, и вид *Diplosphaera mucosa* может рассматриваться как индикатор *o-b*-сапробности с вероятностью 77 %.

Таким образом, по результатам исследования гипотетического хода эволюции гидробионтов озера Верхний Кабан по маркерному гену 18S рРНК проанализировано обобщённое молекулярное филогенетическое дерево, выделено 12 устойчивых кластеров с высоким бутстреп-значением (68 %–100 %), приведены 13 видов, которые могут рассматриваться как индикаторы разных зон сапробности на основе их кластеризации с существующими видами-индикаторами, близкими по молекулярно-генетическому эволюционному развитию и таксономическому положению.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате проведённого исследования по маркерному гену 18S рРНК гидробионтов озера Верхний Кабан список видов-индикаторов расширился на 13 видов:

водоросли: *Diplosphaera mucosa* (*o-b*-сапробность), *Mucidosphaerium pulchellum* (*p-a*-сапробность), *Dinobryon pediforme* (*b*-мезосапробность), *Gomphoneis minuta* (*b*-мезосапробность), *Nitzschia amphibia* (*o-b*-сапробность), *Rhabdonema adriaticum* (*o-b*-сапробность), *Synura mammillosa* (*b-o*-сапробность), *Cryptomonas ozolini* (*b*-мезосапробность);

инфузории: *Astylozoon enriquesi* (*b*-мезосапробность), *Blepharocorys curvigula* (*p*-сапробность), *Enchelys gasterosteus* (*p*-сапробность), *Monocoronella carnea* (*a-b*-мезосапробность), *Plagiopogon loricatus* (*b-a*-мезосапробность).

Большинство выявленных видов-индикаторов группируются возле *b*-мезосапробности, что указывает на экологическое состояние озера Верхний Кабан как на загрязненное по оценкам экологов.

БЛАГОДАРНОСТИ

Работа выполнена за счёт средств субсидии, выделенной в рамках государственной поддержки Казанского (Приволжского) федерального

университета в целях повышения его конкурентоспособности среди ведущих мировых научно-образовательных центров.

Список литературы

1. Метагеном гидробионтов озёр Кабан города Казани: Анализ видового разнообразия гидробионтов по маркерным генам / под общ. ред. Л. Л. Фроловой. – Казань: Издательство Казанского университета, 2019. – 216 с.
2. Sladeček V. System of water quality from biological point of view / V. Sladeček // Arch. Hydrobiol. Beih., Ergebn.Limnol. – 1973. – Vol. 7. – P. 1–218.
3. Frolova L. L. Diversity of Verhniy Kaban lake by 18S rRNA of hydrobionts on next-generation sequencing method / L. L. Frolova, A. E. Sverdrup // Biosc.Biotech.Res.Comm. – 2019. – Vol. 12, No 5. – P. 329–335.
4. Kharchenko A. Studying Bacterial diversity of Verhniy Kaban Lake by 16S rRNA analysis / A. Kharchenko, A. Sverdrup, L. Frolova // Helix Journal. – 2019. – Vol. 9, No 5. – P.5545–5555.
5. Kharchenko A. The monitoring of Verkhniy Kaban lake by rbcL gene of freshwater organisms using next-generation sequencing / A. Kharchenko, A. Sverdrup, L. Frolova // International Journal of Green Pharmacy. – 2018. – Vol. 12, No 3. – P.756–762.
6. Фролова Л. Л. Способ определения сапробности гидробионтов для оценки экологического состояния водоёмов / Л. Л. Фролова, А. Э. Свердруп // Пат RU 2698651 С1 РФ. – 2019. – Бюл. № 25.
7. Lafontaine D. L. J. Ribosomal RNA / D. L. J. Lafontaine, D. Tollervey // <https://www.lafontainelab.com/wp-content/uploads/Lafontaine2001els.pdf>.
8. Saitou N. The neighbor-joining method: A new method for reconstructing phylogenetic trees / N. Saitou, M. Nei //Molecular Biology and Evolution. –1987. – Vol. 4. – P. 406–425.
9. Tamura K. Prospects for inferring very large phylogenies by using the neighbor-joining method / K. Tamura, M. Nei, S. Kumar // Proceedings of the National Academy of Sciences (USA). – 2004. – Vol. 101. – P. 11030–11035.
10. Nei M. Molecular Evolution and Phylogenetics / M. Nei, S. Kumar // Oxford University Press, New York. – 2000.
11. Kumar S. MEGA X: Molecular Evolutionary Genetics Analysis across computing platforms / S. Kumar [et al.] // Molecular Biology and Evolution. – 2018. –Vol. 35, No 6. – P. 1547–1549.
12. Felsenstein J. Confidence limits on phylogenies: An approach using the bootstrap / J. Felsenstein // Evolution. – 1985. – Vol. 39, No 4. – P. 783–791.

SAPROBITY IDENTIFICATION OF HYDROBIONT SPECIES OF VERHNIY KABAN LAKE OF KAZAN BY 18S rRNA MARKER GENE

Sverdrup A. E., Frolova L. L.

*Kazan Federal University, Kazan, Russia
E-mail: Anthony.Sverdrup8@gmail.com*

The paper presents the results of a study of the hypothetical evolution of unicellular hydrobionts from Verhniy Kaban Lake of Kazan by 18S rRNA marker gene with aim of identifying species saprobity based on molecular phylogenetic analysis.

Verhniy Kaban Lake is an isolated freshwater reservoir. Its coastline is relatively smooth except for the northern end, which forms swampy and overgrown bay. To the West of lake an urban settlement is situated and to the East are highway and garden plots.

Lake length is about 1 km, average and maximum widths are 245 m and 370 m respectively. Deepest point is 15 m; average depth is 8 m; lake area – 25 hectares.

Quality of lake water is classified as polluted. One of methods used for ecological assessment of water reservoirs is the bioindication method based on ability of indicator species to survive in water of certain pollution degree. At present, freshwater hydrobiont species from V.Sladeček's list (1973) are used as indicators. Indicator species lists expand very slowly due to the long process of experimental observations. At the same time, price drop of the next-generation sequencing technologies allows to identify more organisms and run molecular phylogenetic analysis with aim of identifying species saprobity based on study of hypothetical evolution of hydrobionts by marker genes including 18S rRNA. The advantage of using 18S rRNA/16S rRNA ribosomal genes is that they are present in all organisms. Ribosomal genes are ones of the most conservative genes. Therefore, the systematic position of the organism and the time of divergence with closely related species can be determined via analysis of similarities and differences in rRNA sequences.

Molecular phylogenetic trees were constructed by the neighbour joining (NJ) and maximal parsimony (MP) methods for Verhniy Kaban Lake hydrobionts identified with next-generation sequencing method (Illumina) by 18S rRNA marker gene (SRR7510986, SRR7465374, SRR7516513). Phylogenetic analysis of hydrobionts of Verhniy Kaban Lake by 18S rRNA marker gene revealed 12 clusters with a high bootstrap value (68–100 %), containing 12 existing indicator species of hydrobionts and 13 unicellular algae and ciliates – indicator species of different saprobity that did not previously have the status of bioindicators – algae: *Diplosphaera mucosa* (*o-b*-saprobity), *Mucidosphaerium pulchellum* (*p-a*-saprobity), *Dinobryon pediforme* (*b*-mesosaprobity), *Gomphoneis minuta* (*b*-mesosaprobity), *Nitzschia amphibia* (*o-b*-saprobity), *Rhabdonema adriaticum* (*o-b*-saprobity), *Synura mammillosa* (*b-o*-saprobity), *Cryptomonas ozolini* (*b*-mesosaprobity); ciliates: *Astylozoon enriquesi* (*b*-mesosaprobity), *Blepharocorys curvigula* (*p*-saprobity), *Enchelys gasterosteus* (*p*-saprobity), *Monocoronella carnea* (*a-b*-mesosaprobity), *Plagiopogon loricatus* (*b-a*-mesosaprobity).

Most identified indicator species group near *b*-mesosaprobity. This indicates ecological state of Verhniy Kaban Lake as polluted by ecological assessments.

Keywords: molecular phylogeny, 18S rRNA marker gene, hydrobionts, freshwater reservoirs, saprobity, Lake Verhniy Kaban.

References

1. Frolova L. L., Sverdrup A. E., Malanin S. Yu., Drevenskaya O. Yu., Husainov A. V. and Kharchenko A. M. *Metagenome of hydrobionts of Kaban lakes of Kazan city: a species diversity analysis by marker genes*, 216 p. (Kazan University Press, 2019).
2. Sladeček V. System of water quality from biological point of view, *Arch. Hydrobiol. Beih., Ergebn. Limnol.*, **7**, 1 (1973).
3. Frolova L. L. and Sverdrup A. E. Diversity of Verhniy Kaban Lake by 18S rRNA of hydrobionts on next-generation sequencing method, *Biosc. Biotech. Res. Comm.*, **12** (5), 329 (2019).
4. Kharchenko A., Sverdrup A. and Frolova L. Studying Bacterial diversity of Verhniy Kaban Lake by 16S rRNA analysis, *Helix Journal.*, **9** (5), 5545 (2019).

5. Kharchenko A., Sverdrup A. and Frolova L. The monitoring of Verkhniy Kaban lake by rbcL gene of freshwater organisms using next-generation sequencing, *International Journal of Green Pharmacy*, **12 (03)**, 756 (2018).
6. Frolova L. L. and Sverdrup A. E. A method of saprobity identification of hydrobionts for ecological assessment of water reservoirs, *Patent of Russia №2698651*, **25** (2019).
7. Lafontaine D. L. J. and Tollervey D. Ribosomal RNA, <https://www.lafontainelab.com/wp-content/uploads/Lafontaine2001els.pdf>.
8. Saitou N. and Nei M. The neighbor-joining method: A new method for reconstructing phylogenetic trees, *Molecular Biology and Evolution*, **4**, 406 (1987).
9. Tamura K., Nei M. and Kumar S. Prospects for inferring very large phylogenies by using the neighbor-joining method, *Proceedings of the National Academy of Sciences (USA)*, 2004, p. 11030.
10. Nei M. and Kumar S. *Molecular Evolution and Phylogenetic* (Oxford University Press, 2000).
11. Kumar S., Stecher G., Li M., Knyaz Ch. and Tamura K. MEGA X: Molecular Evolutionary Genetics Analysis across computing platforms, *Molecular Biology and Evolution*, **35 (6)**, 1547 (2018).
12. Felsenstein J. Confidence limits on phylogenies: An approach using the bootstrap, *Evolution*, **39 (4)**, 783 (1985).

УДК 615.851.85

«ОЗДОРОВИТЕЛЬНАЯ ЙОГА: ВЛИЯНИЕ НА ПСИХОФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ ЖЕНЩИН ЗРЕЛОГО ВОЗРАСТА»

Суботялов М. А.¹, Головин М. С.^{1,2}

¹*Новосибирский государственный педагогический университет, Новосибирск, Россия.*

²*Новосибирский государственный технический университет, Новосибирск, Россия*

E-mail: golovin593@mail.ru

В статье представлены результаты исследования влияния занятий оздоровительной йогой на психоэмоциональные показатели, функциональное состояние мышечного аппарата, показатели сердечно-сосудистой и дыхательной систем женщин зрелого возраста. Оценка эффективности влияния занятий оздоровительной йогой осуществлялась методами «Самочувствие-активность-настроение» (САН); «Личностная шкала проявления тревоги», оценка силовой выносливости мышц спины, живота, пробы Штанге и Генчи, оценка адаптационного потенциала системы кровообращения. После курса занятий оздоровительной йогой выявлено улучшение показателей психоэмоционального состояния, повышение силовой выносливости, улучшение состояния дыхательной и сердечно-сосудистой системы. Занятия оздоровительной йогой могут быть эффективным средством поддержания психического равновесия, концентрации, профилактики дистрессов и отклонений в состоянии здоровья, а также развития адаптационного потенциала организма человека.

Ключевые слова: оздоровительная йога, физическое здоровье, дыхательная система, система кровообращения, женщины зрелого возраста.

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время особо актуальными остаются вопросы профилактики, сохранения и укрепления здоровья взрослого трудоспособного населения, особенно женщин [1–3]. В практике сохранения и укрепления здоровья по-прежнему популярными остаются средства и методы медицины, педагогики, физической культуры и спорта, а также ряд других подходов [4, 5]. Приобретают особую популярность и демонстрируют свою эффективность многие традиционные средства и системы оздоровления [6, 7]. Продемонстрировано, что большим здоровьесберегающим потенциалом обладает оздоровительная йога [8, 9]. На практике применяются компоненты хатха-йоги, позы и упражнения (асаны), глубокое и ритмичное дыхание «пранаяма», что может быть выполнено человеком практически любого возраста и уровня физической подготовки [10, 11].

Цель исследования: изучить влияние занятий оздоровительной йогой на психофункциональное состояние организма женщин зрелого возраста г. Новосибирска.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В исследовании приняли участие здоровые женщины, не занимающиеся и ранее не занимавшиеся спортом, а также без опыта занятий йогой. Были сформированы экспериментальная группа (ЭГ, $n=15$, средний возраст 47 ± 5 лет) и контрольная группа (КГ, $n=15$, средний возраст 45 ± 4 года). На проведение исследования получено разрешение этического комитета Новосибирского государственного педагогического университета (№ 35 от 15.05.2019 г.), а также информированное добровольное согласие.

Женщины ЭГ в течение трех месяцев занимались оздоровительной йогой 2 раза в неделю под руководством инструктора (продолжительность 1–1,5 часа) и 1 день самостоятельно. Основными упражнениями являлись суставная гимнастика, упражнения с контролем дыхания, статические силовые упражнения с собственным весом, техники на баланс и координацию, укрепляющие позы (сняющие мышечное напряжение), дыхательные упражнения и методики расслабления [12, 13]. Ежедневно ЭГ самостоятельно проводила утреннюю гигиеническую гимнастику и вечерний самомассаж.

В группу контроля входили лица, не занимающиеся оздоровительной гимнастикой. Женщины во всех группах придерживались во время исследования рекомендаций по правильному режиму дня, здоровому питанию. До и после периода занятий оздоровительной йогой было изучено психологическое состояние женщин, функциональное состояние мышечного аппарата и дыхательной системы, а также адаптационный потенциал сердечно-сосудистой системы. Все обследования выполнялись в первой половине дня с 9 до 12 часов.

Психологические методики: «самочувствие-активность-настроение» (САН); «личностная шкала проявления тревоги (Дж. Тейлор, адаптация Т. А. Немчинова) [14].

Тестирование функционального состояния мышечного аппарата: оценка силовой выносливости мышц спины с помощью удержания положение тела до усталости (поза рыбки); оценка силовой выносливости мышц шеи при удержании заданной позы; тест для оценки силовой выносливости мышц живота (уголок).

Методы оценки функционального состояния дыхательной системы: пробы Штанге и Генчи.

Методы оценки адаптационного потенциала системы кровообращения: определяли частоту сердечных сокращений (ЧСС) с помощью монитора сердечной активности (Polar RS 100), артериальное давление (методом Короткова), коэффициент выносливости системы кровообращения (формула Квааса), индекс адаптационного потенциала по Р. М. Баевскому.

Результаты исследования обработаны с помощью методов математической статистики с использованием программ Microsoft Excel 10.0. Результаты представлены в виде средней арифметической и ее стандартной ошибки ($M\pm m$). Статистически значимыми считались различия при уровне значимости этих критериев $p \leq 0,05$ [15].

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Установлено статистически значимое повышение показателей «Самочувствие», «Активность», «Настроение» у испытуемых ЭГ после курса занятий, что свидетельствует о значительном влиянии оздоровительной йоги на оперативное психологическое состояние человека, а также на физиологическую и психологическую комфортность [16, 17]. Уровни САН интегрально отражают следующие характеристики: активность (подвижность, скорость и темп функционирования), самочувствие (силу, здоровье, утомление), настроение (эмоциональное состояние) [18]. Вместе с тем, в контрольной группе показатели остались на исходном уровне.

Таблица 1
Морфофункциональные и психологические показатели женщин при занятиях оздоровительной йогой (M±m)

Показатели	ЭГ до	ЭГ после	КГ до	КГ после
Самочувствие, балл	4,49±0,21	5,27±0,24*#	4,48±0,17	4,47±0,09
Активность, балл	4,72±0,25	5,54±0,16*#	4,50±0,13	4,51±0,01
Настроение, балл	4,63±0,22	5,53±0,13*#	4,52±0,09	4,51±0,07
Шкала тревоги, балл	19,73±1,18	14,33±0,3*#	22,87±1,2	22,60±0,77
Шкала лжи, балл	4,73±0,8	4,53±0,3	4,87±0,3	4,73±0,3
Поза рыбки, с.	66,4±2,5	73,9±2,4*#	65,5±0,6	65,8±7,7
Силовая выносливость шеи, с.	57,3±2,5	69,4±2,6*#	56,8±1,7	57,0±1,6
Уголок, с.	39,6±1,4	52,0±1,2*#	36,4±1,2	36,3±1,3
Проба Штанге, с	56,8±1,5	64,0±1,4*#	53,0±1,6	52,9±1,4
Проба Генчи, с.	37,4±1,5	40,0±1,4#	33,3±1,4	33,6±1,6
ЧСС, уд/мин	72,2±2,2	67,0±1,9*#	76,7±2,3	78,3±2,1
САД, мм рт.мт.	125±4	119±3#	130±3	132±2
ДАД, мм рт.мт.	82±4	75±3	86±3	85±2
КВ, у.е.	16,8±0,2	15,2±0,1*#	17,1±0,2	17,0±0,2
АП, у.е.	1,92±0,08	1,73±0,7*#	2,08±0,7	2,07±0,6

Примечание. Достоверность внутригрупповых различий в динамике исследования: * p<0,05; между группами за соответствующий исследуемый период: # p<0,05.

В ЭГ первоначальный уровень тревожности соответствовал уровню «выше среднего», а после курса занятий йогой достоверно снизился до уровня «ниже среднего». Описанные изменения логично дополняют вышеописанные изменения САН и свидетельствуют о стабилизации эмоциональной сферы и повышении устойчивости к стрессам. В КГ не выявлено статистически значимых изменений

тревожности. Изученные показатели тревожности логично дополняют результаты опросника САН, свидетельствуя об улучшении психологического комфорта после занятий оздоровительной йогой.

После трех месяцев занятий йогой в экспериментальной группе выявлено увеличение показателей силовой выносливости во всех контрольных тестах (поза рыбки, силовая выносливость мышц шеи, уголок). Это свидетельствует о развивающем эффекте систематических упражнений йоги на мышечный корсет (мышцы кора), что является важнейшим фактором стабилизации тела и удержания позы. Мышцы кора обеспечивают безопасность при выполнении физических упражнений, внезапной смене положения тела, предотвращают получение травм [16, 18]. Показатели, характеризующие состояние мышечного корсета в контрольной группе, достоверно не изменились.

Функциональные пробы Штанге и Генчи являются одними из основных скрининговых методик оценки состояния системы дыхания [19, 20]. К концу исследования в ЭГ значения проб Штанге и Генчи статистически значимо увеличились. Это может косвенно свидетельствовать об улучшении обменных процессов, повышении степени адаптации дыхательного центра к гипоксии и гипоксемии, возможном улучшении функционирования состояния левого желудочка сердца и эффективной адаптации к физическим нагрузкам [4]. В контрольной группе за период исследования достоверных изменений не выявлено. Таким образом, наблюдается значимость оздоровительной йоги для улучшения функционального состояния дыхательной системы.

Оценка функционального состояния сердечно-сосудистой системы также выявила положительный эффект занятий оздоровительной йогой. В ЭГ наблюдалось снижение ЧСС к концу курса занятий, что является благоприятным признаком и свидетельствует о повышении экономичности работы сердечно-сосудистой системы. В контрольной группе изменения ЧСС не являются статистически значимыми.

В ЭГ наблюдается тенденция к снижению систолического артериального давления (САД) к концу цикла занятий. Вместе с тем, сравнивая межгрупповые показатели САД, в конце исследования достоверно более высокие значения выявлены в КГ. Эти данные дополнительно демонстрируют усиление эффекта экономичности работы сердечно-сосудистой системы за счет оптимизации хроно- и инотропной функции сердечной деятельности в ЭГ [19]. Показатели диастолического артериального давления (ДАД) в ЭГ также имеют тенденцию к снижению, в КГ изменений не наблюдается.

Интегральная оценка функционального состояния организма необходима для выявления состояния здоровья, эффективности применяемых тренировочных нагрузок, степени развития физических качеств, обеспечения физического совершенствования.

Значения коэффициента выносливости (КВ) и адаптационного потенциала системы кровообращения в ЭГ дополнительно демонстрируют повышение функциональных возможностей сердечно-сосудистой системы после занятий йогой. КВ характеризует степень тренированности сердечно-сосудистой системы, его

снижение указывает на увеличении функциональных возможностей ССС. Средние показатели АП до и после исследования в обеих группах не превышают 2,1 у.е., что свидетельствует о хороших функциональных возможностях организма женщин во всех группах [19]. Следует отметить, что в ЭГ 100 % занимающихся имеют показатели нормальной адаптации, тогда как в контрольной группе только у 34 % выявлена нормальная адаптация, а у 66 % незначительное напряжение механизмов адаптации.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, анализ изученных психоэмоциональных показателей, мышечного аппарата, дыхательной и сердечно-сосудистой системы свидетельствует о том, что систематические занятия оздоровительной йогой благоприятно влияют на показатели психического и физического здоровья женщин, не занимающихся спортом. Занятия оздоровительной йогой могут быть эффективным средством поддержания психического равновесия, концентрации, профилактики дистрессов и отклонений в состоянии здоровья, а также развития адаптационного потенциала организма человека [16].

Список литературы

1. Gell N. M. How do they do it: working women meeting physical activity recommendations / N. M. Gell, D. D. Wadsworth // *Am. J. Health Behav.* – 2014. – Vol. 38(2). – P. 208–17.
2. Kishida M. The Daily Influences of Yoga on Relational Outcomes Off of the Mat / M. Kishida, J. Mogle, S. Elavsky // *Int. J. Yoga.* – 2019. – Vol. 12(2). – P.103–113.
3. Westerståhl M. Longitudinal changes in physical capacity from adolescence to middle age in men and women / M. Westerståhl, E. Jansson, M. Barnekow-Bergkvist, U. Aasa // *Sci. Rep.* – 2018. – Vol. 8(1). – P. 14767.
4. Головин М. С. Морфофункциональные особенности студенток, занимающихся по разным программам физической культуры / М. С. Головин, Е. А. Шигаева, Т. И. Колосова, Р. И. Айзман // *Теория и практика физической культуры.* – 2020. – № 4. – С. 42–44.
5. Разина А. О. Ожирение: современный взгляд на проблему / А. О. Разина, Е. Е. Ачкасов, С. Д. Руненко // *Ожирение и метаболизм.* – 2016. – Т. 13, № 1. – С. 3–8.
6. Суботялов М. А. Традиционная аюрведическая медицина: источники, история и место в современном здравоохранении: автореф. дис. ... д-ра. мед. наук. / Суботялов М. А. – М., 2014. – 50 с.
7. Суботялов М. А. Аюрведа: источники и характеристика / М. А. Суботялов, В. Ю. Дружинин – М.: *Философская Книга.* – 2015. – 272 с.
8. Лисицкая Т. С. Развитие йоги в мегаполисе / Т. С. Лисицкая, С. А. Кувшинникова, В. С. Панкина // *Теория и практика физической культуры.* – 2017. – № 10. – С. 28.
9. Bekhradi A. Although the injury rate of yoga is low, nearly two-thirds of musculoskeletal injuries in yoga affect the lower extremity: a systematic review / A. Bekhradi, D. Wong, B. J. Gerrie // *Journal of ISACOS: joint disorders & Orthopaedic Sports Medicine.* – 2018. – Vol. 3(4). – P. 229–234.
10. Patalakh A. M. Hatha yoga course in academic physical education curricula / A. M. Patalakh, R. S. Minvaleev, D. A. Shmagun, O. A. Merkulova // *Theory and Practice of Physical Culture.* – 2017. – № (10). – P. 44–45.
11. Williams K. A. Effect of Iyengar yoga therapy for chronic low back pain / K. A. Williams, J. Petronis, D. Smith // *Pain.* – 2005. – № 115. – P. 107–117.
12. Вышлова И. А. Применение йоги в терапии хронического вертеброгенного болевого синдрома в нижней части спины / И. А. Вышлова, С. М. Карпов, О. Э. Головкова // *Медицинский вестник северного Кавказа.* – 2015. – Т. 10, № 3. – С. 232–235.

13. Cugliari G. Core Muscle Activation in Suspension Training Exercises / G. Cugliari, G. Voccia // *J. Hum. Kinet.* – 2017. – № (56). – P. 61–71.
14. Шапарь В. Б. Практическая психология: тесты, методики, диагностика / В. Б. Шапарь. – Изд-во Феникс, 2010. – 661 с.
15. Перевозкина Ю. М. Основы математической статистики в психолого-педагогических исследованиях / Ю. М. Перевозкина, С. Б. Перевозкин – учебное пособие. Мин-во образования и науки РФ, Новосиб. гос. пед. ун-т. - Новосибирск: Изд-во НГПУ, 2014. – Ч. 2. – 242 с.
16. Сухарева И. А. Занятия йогой – путь к психологическому равновесию / И. А. Сухарева, С. А. Василенко, В. В. Турчина // *Крымский журнал экспериментальной и клинической медицины.* – 2015. – Т. 5, № 3 (19). – С. 62–64.
17. Franklin R. A. The physical postures of yoga practices may protect against depressive symptoms, even as life stressors increase: a moderation analysis / R. A. Franklin, M. P. Butler, J. A. Bentley // *Journal Psychology, Health & Medicine.* – 2018. – Vol. 23 (7). – P. 870–879.
18. Урываев Ю. В. Осознание смысла фраз: аудиографический анализ нейтральных ответов опросника САН / Ю. В. Урываев, Д. А. Руцкий // *Системная психология и социология.* – 2013. – № 8. – С. 54–58.
19. Рубанович В. Б. Врачебно-педагогический контроль при занятиях физической культурой: учебное пособие. – 2-е изд. / В. Б. Рубанович. – Новосибирск, 2003. – 262 с.
20. Cassin S. Respiratory and cardiovascular alterations during the process of anoxic death in the newborn / S. Cassin, H. G. Swann, B. Cassin // *J Appl. Physiol.* – 1960. – № 15. – P. 249–52.

«HEALTHFUL YOGA: THE IMPACT ON THE PSYCHO-FUNCTIONAL STATE OF MATURE WOMEN»

Subotyalov M. A.¹, Golovin M. S.^{1,2}

¹*Novosibirsk State Pedagogical University, Novosibirsk, Russia*

²*Novosibirsk State Technical University, Novosibirsk, Russia*

E-mail: golovin593@mail.ru

Currently, the issues of prevention, preservation and strengthening of the health of the adult working population, especially women, remain especially relevant. The purpose of the study was to identify the influence of healthful yoga on the psycho-functional state of the body of mature women in Novosibirsk.

In practice, the components of hatha yoga, postures and exercises (asanas), deep and rhythmic breathing "pranayama" are used, which can be performed by a person of almost any age and level of physical fitness.

The study was conducted from September to December 2019 at the Novosibirsk State Pedagogical University. Study sample – 30 women. The effectiveness of healthful yoga was performed by using “Well-being-activity-mood” (WAM); “Personal scale of anxiety manifestations”, assessment of back and abdominal muscles strength endurance, Stange-Hench tests, assessment of the circulatory system reserve.

The article presents the results of the impact of healthful yoga on psycho-emotional indicators, functional state of the muscular system, indicators of the cardiovascular and respiratory systems of mature women. For three months, women were engaged in healthful yoga under the guidance of an instructor and independently. After a course of healthful yoga, an improvement of the psycho-emotional state indicators, an increase in

strength endurance, an improvement of the respiratory and cardiovascular system were revealed.

Thus, the analysis of the studied psycho-emotional performance, muscular system, respiratory and cardiovascular system shows that systematic yoga class have a recreational beneficial effect on indicators of mental and physical health of women are not involved in sports. Healthful yoga can be an effective method of maintaining mental balance, concentration, prevention of distress and deviations in the state of health, as well as the development of the adaptive potential of the human body.

Integral assessment of the functional state of the body is needed to identify the health, effectiveness of existing training loads, the degree of development of physical qualities, providing physical perfection.

Keywords: healthful yoga, physical health, respiratory system, circulatory system, women of mature age.

References

1. Gell N. M., Wadsworth D. D. How do they do it: working women meeting physical activity recommendations, *Am. J. Health Behav*, **38(2)**, 208 (2014).
2. Kishida M., Mogle J., Elavsky S. The Daily Influences of Yoga on Relational Outcomes Off of the Mat, *Int. J. Yoga*, **12(2)**, 103 (2019).
3. Westerståhl M., Jansson E., Barnekow-Bergkvist M., Aasa U. Longitudinal changes in physical capacity from adolescence to middle age in men and women, *Sci. Rep*, **8(1)**, 14767 (2018).
4. Golovin M. S., Shigaeva E. A., Kolosova T. I., Aizman R. I. Morphofunctional features of female students trained according to different physical education programs, *Theory and Practice of Physical Culture*, **(4)**, 42 (2020).
5. Razina A. O., Achkasov E. E., Runenko S. D. Obesity: the modern approach to the problem, *Obesity and Metabolism*, **13(1)**, 3 (2016).
6. Subotyalov M. A. Ayurvedic traditional medicine: sources, history and place in modern healthcare: abstract. dis. ... dr. medical. sciences, 50 (M., 2014).
7. Subotyalov M. A., Druzhinin V. Y. Ayurveda: sources and characteristics, 272 (M.: Philosophical Book, 2015).
8. Lisitskaya T. S., Kuvshinnikova S. A., Pankina V. S. Development of yoga in megalopolis, *Theory and Practice of Physical Culture*, **(10)**, 28 (2017).
9. Bekhradi A., Wong D., Gerrie B. J. Although the injury rate of yoga is low, nearly two-thirds of musculoskeletal injuries in yoga affect the lower extremity: a systematic review, *Journal of ISACOS: joint disorders & Orthopaedic Sports Medicine*, **3(4)**, 229 (2018).
10. Patalakh A. M., Minvaleev R. S., Shmagun D. A., Merkulova O. A. Hatha yoga course in academic physical education curricula, *Theory and Practice of Physical Culture*, **(10)**, 44 (2017).
11. Williams K. A., Petronis J., Smith D. Effect of Iyengar yoga therapy for chronic low back pain, *Pain*, **115**, 107 (2005).
12. Vyshlova I. A., Karpov S. M., Golovkova O. E. Yoga therapy in complex treatment of chronic vertebrogenic pain in the lower back, *Medical News of North Caucasus*, **10(3)**, 232 (2015).
13. Cugliari G., Boccia G. Core Muscle Activation in Suspension Training Exercises, *J. Hum. Kinet*, **(56)**, 61 (2017).
14. Shapar V. B. Practical psychology: tests, techniques, diagnostics. *Publishing house Phoenix*, 661 (2010).
15. Perevozkina Y. M., Perevozkin S. B. *Fundamentals of mathematical statistics in psychological and pedagogical research: a training manual*. Ministry of Education and Science of the Russian Federation. Novosibirsk state pedagogical university. **Part 2**, 242 (Novosibirsk: Publishing House of NSPU, 2014).
16. Sukhareva I. A., Vasilenko S. A., Turchina V. V. Lessons in yoga – the way to psychological equilibrium, *Crimea Journal of Experimental and Clinical Medicine*, **5(3)**, 62 (2015).

17. Franklin R. A., Butler M. P., Bentley J. A. The physical postures of yoga practices may protect against depressive symptoms, even as life stressors increase: a moderation analysis, *Journal Psychology, Health & Medicine*, **23** (7), 870 (2018).
18. Uryvaev Y. V., Rutskiy D. A. Comprehending of the phrase sense: an audiographic analysis of neutral responses to questionnaire «Feeling, Activity, Mood», *System psychology and sociology*, (8), 54 (2013).
19. Rubanovich V. B. Medical and pedagogical control during physical education: a textbook. 2nd ed. Novosibirsk, 262 (2003).
20. Cassin S., Swann H. G., Cassin B. Respiratory and cardiovascular alterations during the process of anoxic death in the newborn, *J Appl. Physiol*, **15**, 249 (1960).

УДК 591.182: 612.015.6/.018: 612.454: 612.741: 57.084.1

ЭФФЕКТИВНОСТЬ АЛЬФАКАЛЬЦИДОЛА В КОМПЕНСАЦИИ НАРУШЕНИЙ СОКРАТИТЕЛЬНОЙ ФУНКЦИИ СКЕЛЕТНОЙ МЫШЦЫ ПРИ ДЕКСАМЕТАЗОНОВОМ ГИПЕРКОРТИЦИЗМЕ В ЭКСПЕРИМЕНТАХ НА КРЫСАХ

Труш В. В.¹, Соболев 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 установлено, что альфакальцидол (АЛФ, 0,06 мкг/кг/сутки), вводимый в комплексе с дексаметазоном (ДМ, 0,25 мг/кг/2-е суток, на протяжении 30 дней), предотвратил характерное для ДМ-группы снижение амплитуды и ослабил степень удлинения латентного периода и уменьшения скорости укорочения и расслабления одиночных сокращений, а также предотвратил ухудшение амплитуды и скорости тетанического сокращения мышцы и укорочение периода максимальной ее работоспособности, отмеченные в ДМ-группе. Введение АЛФ в комплексе с ДМ обусловило большую скорость восстановления мышцы после утомляющей работы и существенно уменьшило снижение относительно контроля массы мышцы и степени ее посттетанической потенциации в сравнении с ДМ-группой. Полученные факты позволяют рассматривать АЛФ как одно из относительно эффективных средств для ослабления выраженности функциональных расстройств в скелетной мышце при длительной глюкокортикоидной терапии.

Ключевые слова: скелетная мышца; дексаметазон; ятрогенный гиперкортицизм; стероидная миопатия; альфакальцидол.

ВВЕДЕНИЕ

Известно, что длительная терапия глюкокортикоидами (ГК), наряду с развитием остеопороза, зачастую сопровождается ухудшением сократительных параметров скелетных мышц (СМ), что приводит к развитию мышечной слабости, повышенной их утомляемости и увеличивает вероятность падений и низкотравматичных переломов костей [1–3]. Развивающийся дефицит витамина D существенно ухудшает состояние опорно-двигательной системы в условиях избытка ГК. В частности, известно, что длительная ГК-терапия предопределяет снижение активности 25 α -гидроксилазы печени и соответственно нарушение образования кальцидиола и кальцитриола в организме даже при достаточном экзогенном поступлении витамина D, а также уменьшение чувствительности тканей к кальцитриолу из-за ослабления экспрессии VDR [4].

Дефицит витамина D и собственно фармакологические дозы ГК негативно влияют на кальциевый гомеостаз, что еще более усугубляет состояние опорно-двигательной системы. В частности, ГК ослабляют абсорбцию кальция из

кишечного содержимого и стимулируют экскрецию кальция в канальцах почек, тем самым обуславливая резко отрицательный баланс кальция, что предопределяет мышечные спазмы в сочетании с гиперкальциурией, гипокальциемией и вторичным гиперпаратиреозом [5]. Гипокальциемия и собственно ГК вызывают повышение секреции паратиринина и снижение уровня ИФР-I, что обуславливает развитие остеопении и остеопороза, а также нарушение анаболического действия ИФР-I на костную, хрящевую, мышечную и другие ткани [6].

Кроме того, не только непосредственное катаболическое действие фармакологических доз ГК на мышечные волокна (МВ) [7, 8], но и собственно дефицит в организме активного метаболита витамина D – кальцитриола – может послужить причиной уменьшения мышечной массы, силы и дистрофических изменений МВ II типа [9]. Кальцитриол же способен модулировать активность генов, регулирующих рост и дифференцировку МВ, особенно II типа [10].

В связи с этим становится очевидным, что введение частично активированной формы витамина D – альфакальцидола (АЛФ) – в комплексе с ГК должно хотя бы отчасти предотвращать дистрофические изменения СМ и в связи с этим может оказаться полезным для компенсации не только ГК-индуцированного остеопороза, но и стероидной миопатии.

Вместе с тем, если эффективность витамина D и его активированных метаболитов в ослаблении негативных эффектов ГК-терапии на костную ткань изучена достаточно хорошо [11–13], то работы, посвященные оценке эффективности этих веществ в компенсации стероидной миопатии, крайне малочисленны [14, 15]. Более того, позитивные эффекты частично активированной формы витамина D – альфакальцидола – на мышечный аппарат признаются далеко не всеми специалистами [16].

Целью настоящей работы явилось изучение в экспериментах на крысах эффективности альфакальцидола (0,06 мкг/кг/сутки) в компенсации нарушений сократительной функции скелетной мышцы, вызванных длительным введением дексаметазона (0,25 мг/кг/2-е суток, на протяжении 30 дней).

В качестве объекта исследования была выбрана передняя большеберцовая мышца, характеризующаяся существенным преобладанием гликолитических волокон, проявляющих гораздо более высокую, в сравнении с оксидативными волокнами, чувствительность к катаболическому действию ГК [17]. Использование для компенсации стероидной миопатии именно АЛФ, а не витамина D или его гормонально активного метаболита кальцитриола, было обусловлено следующими обстоятельствами. АЛФ, в отличие от витаминов D₂ и D₃, превращается в гормонально активную форму – кальцитриол – в результате однократного гидроксилирования в различных структурах организма [18], что важно при длительной ГК-терапии, сопровождающейся снижением активности 25 α -гидроксилазы печени и соответственно нарушением образования кальцидиола и кальцитриола в организме даже при достаточном экзогенном поступлении витамина D [19]. В то же время, АЛФ, в отличие от кальцитриола, более безопасен в плане возможного развития гиперкальциемии [20].

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

При выполнении экспериментов строго придерживались положений Руководства по проведению доклинических исследований лекарственных средств [21]. 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). Работа одобрена этическим комитетом университета.

Исследования проведены на 40 крысах-самках возрастом 4–5 месяцев (масса тела 195–205 г), разделенных на 4 группы по 10 особей в каждой: К-группа (контрольная, интактная), ДМ-группа (получали дексаметазон, ДМ), ДМ+АЛФ-группа (получали дексаметазон в комплексе с альфакальцидолом, АЛФ) и АЛФ-группа (получали только альфакальцидол). Препараты вводили в течение 30 дней в дозах, адекватных терапевтическим для человека: дексаметазон (KRKA, Словения) – в дозе 0,25 мг/кг, 1 раз в 2-е суток, внутривентриально, альфакальцидол («Альфа D3-Тева», Catalent Germany Eberbach GmbH, Германия) – в дозе 0,06 мкг/кг, ежедневно, перорально.

По окончании срока введения препаратов с помощью метода миографии в условиях *in situ* исследовали функциональные параметры передней большеберцовой мышцы (*m. tibialis anterior*) при разных режимах стимуляции малоберцового нерва.

После наркотизации (тиопентал натрия, 100 мг/кг, внутривентриально) у животного препаровали малоберцовый нерв и подводили под него раздражающие электроды стимулятора. Стопу задней лапки с помощью лигатуры крепили к потенциометрическому датчику перемещения.

Алгоритм опыта состоял из 4 этапов. На 1-ом этапе в течение 5 секунд регистрировали одиночные сокращения мышцы с внешней нагрузкой 20 г при стимуляции нерва сверхпороговыми электрическими импульсами (сила тока – 500 мкА, длительность – 150 мкс каждый, частота – 4 имп/с). На основании полученных записей измеряли ряд параметров одиночного сокращения мышцы: амплитуду, латентный период, скорость укорочения и расслабления.

На 2-ом этапе дважды регистрировали сокращение мышцы с внешними нагрузками 20 г и 70 г. При каждой регистрации 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, а также амплитуды одиночного сокращения до и после развития тетануса, по процентному изменению которых оценивали *степень посттетанической потенциации*.

На 3-ем 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 работоспособности мышцы).

На заключительном 4-ом этапе после выполнения мышцей УР вновь регистрировали серию одиночных сокращений при частоте стимуляции 4 имп/с.

Эвтаназию животных проводили путем введения летальной дозы тиопентала натрия (300 мг/кг).

Для регистрации сокращений мышцы использовалась установка, включающая электростимулятор, построенный на основе функционального генератора ICL8038CCDP, эргометрический канал, представленный потенциометрическим датчиком ПТП-1 с усилителем тока, а также запоминающий цифровой осциллограф Tektronix (TDS2004C).

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 длительное введение ДМ привело к ухудшению в сравнении с контролем ($p < 0,05$) амплитудных и временных параметров одиночного сокращения мышцы (рис. 1), уменьшению ее массы и степени посттетанической потенциации (рис. 2). Эти факты косвенно свидетельствуют в пользу дистрофических изменений МВ, особенно гликолитического типа.

Введение АЛФ в комплексе с ДМ модулировало характер изменения параметров одиночного сокращения мышцы в сравнении с ДМ-группой.

Во-первых, введение АЛФ в комплексе с ДМ предотвратило типичное для ДМ-группы значимое относительно контроля ($p < 0,05$) снижение исходной амплитуды одиночных сокращений (рис. 1Б).

Во-вторых, АЛФ, вводимый в комплексе с ДМ, ослабил в сравнении с ДМ-группой ($p < 0,05$) степень удлинения латентного периода и уменьшения скорости укорочения исходных одиночных сокращений мышцы, но не предотвратил полностью изменения данных показателей относительно контроля ($p < 0,05$, рис. 1А, 1В).

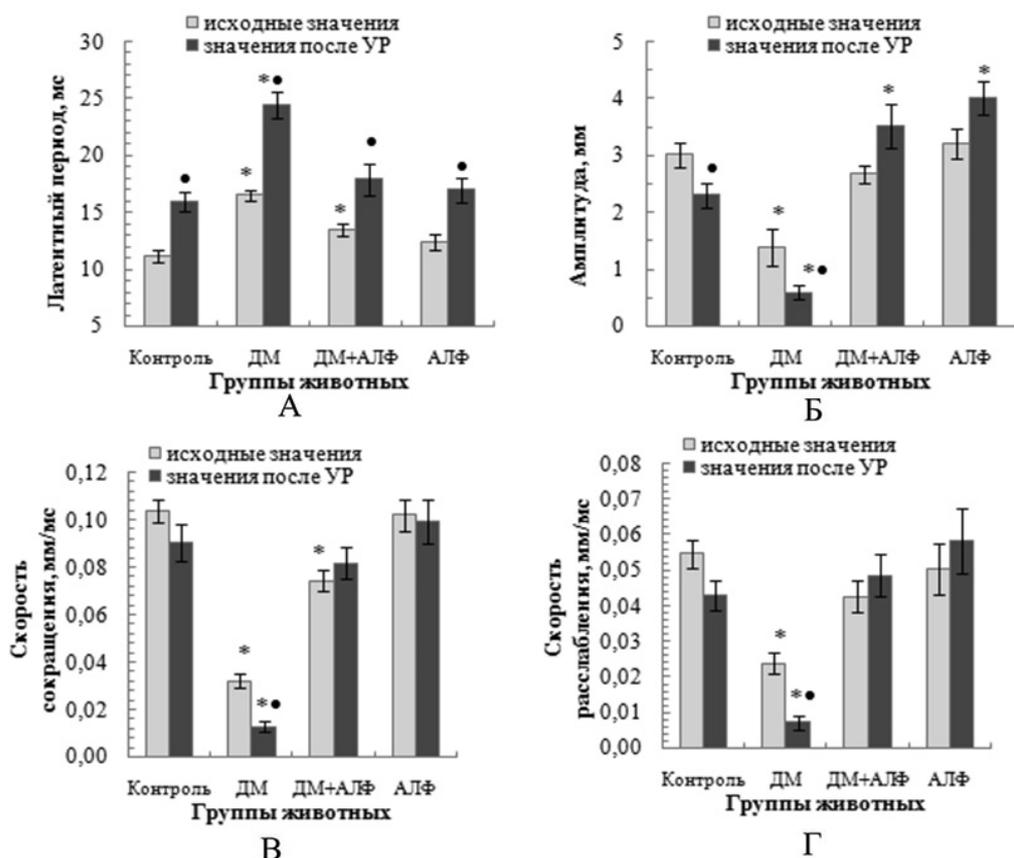


Рис. 1. Средние значения параметров одиночного сокращения мышцы (А-Г) животных разных групп до и после выполнения утомляющей работы

Примечание: * – различия показателя статистически значимы ($p < 0,05$) относительно контрольной группы; • – значение показателя после УР достоверно отличается ($p < 0,05$) относительно исходного значения соответствующей группы.

В-третьих, у животных ДМ+АЛФ-группы наблюдалась лишь тенденция к уменьшению скорости расслабления мышцы при одиночном сокращении, которая не достигала статистически значимого характера, тогда как в ДМ-группе этот параметр уменьшался в сравнении с контролем ($p < 0,05$, рис. 1Г).

Наконец, АЛФ, вводимый в комплексе с ДМ, существенно ослабил в сравнении с ДМ-группой выраженность уменьшения массы мышцы (рис. 2А) и степени посттетанической потенциации (рис. 2Б). Вместе с тем, тенденция к уменьшению массы мышцы относительно контроля в ДМ+АЛФ-группе сохранялась (рис. 2А), а степень посттетанической потенциации была значимо ниже контроля ($p < 0,05$, рис. 2Б).

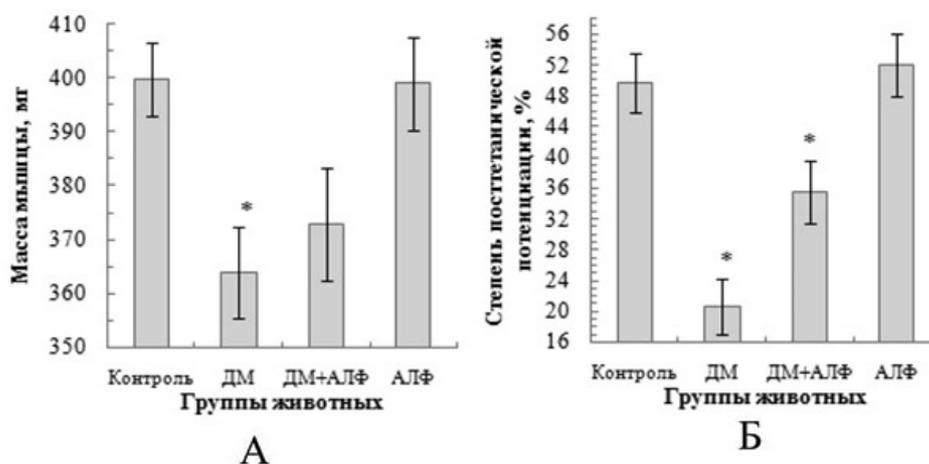


Рис. 2. Средние значения массы мышцы (А) и степени ее посттетанической потенции (Б) у животных разных групп

Примечание: * – различия показателя статистически значимы ($p < 0,05$) относительно контрольной группы.

Наблюдаемые нами у животных ДМ+АЛФ-группы менее выраженное в сравнении с ДМ-группой удлинение латентного периода одиночного сокращения мышцы указывает в пользу меньшей степени нарушения электромеханического сопряжения в МВ, тогда как менее выраженное снижение скорости сокращения и лишь тенденция к уменьшению скорости расслабления одиночного сокращения свидетельствуют о меньшей степени снижения удельной доли быстрых МВ, задействованных в сокращении.

Вместе с тем, некоторое уменьшение скорости укорочения у животных ДМ+АЛФ-группы относительно контроля свидетельствует в пользу частичного уменьшения доли быстрых МВ, задействованных в сокращении, в том числе в результате возможного дистрофического их повреждения. Косвенным доказательством уменьшения доли быстрых МВ, задействованных в сокращении у животных, получавших ДМ в комплексе с АЛФ, служит и уменьшение степени посттетанической потенции в сравнении с контролем ($p < 0,05$, рис. 2Б). Отсутствие же значимых изменений амплитуды одиночного сокращения мышцы у животных ДМ+АЛФ-группы (рис. 1Б) на фоне меньшей, чем у контроля, степени посттетанической потенции и тенденции к уменьшению массы мышцы (рис. 2А, Б), скорее всего, обусловлено эффективным компенсаторным спрутингом дистрофически измененных МВ, а не полным отсутствием их дистрофических изменений.

Следовательно, АЛФ, вводимый в комплексе с ДМ, не предотвратил полностью дистрофических изменений части МВ, особенно гликолитического типа, в передней большеберцовой мышце. Об этом свидетельствуют тенденция к уменьшению массы мышцы, уменьшение скорости укорочения и степени посттетанической потенции, а также тенденция к уменьшению скорости расслабления,

сохранявшаяся в ДМ+АЛФ-группе. Вместе с тем, степень нарушения параметров одиночного сокращения у животных, получавших пару препаратов (ДМ+АЛФ), была гораздо меньшей в сравнении с изолированным введением ДМ, что отчасти может быть связано как с анаболическим влиянием метаболита АЛФ – кальцитриола – на МВ, так и с более эффективным компенсаторным спрутингом дистрофически измененных МВ.

Наряду с ухудшением исходных параметров одиночного сокращения мышцы, длительное изолированное введение ДМ обуславливало большую, в сравнении с контролем, степень их изменения после выполнения УР. Так, выполнение УР мышцей животных ДМ-группы сопровождалось значимо более существенным, в сравнении с контролем ($p < 0,05$), удлинением латентного периода одиночного сокращения, уменьшением его амплитуды и не характерным для контроля уменьшением скорости укорочения и расслабления при одиночном сокращении (рис. 1 А-Г). Данные факты указывают в пользу более высокой утомляемости и меньшей скорости восстановления после утомления мышцы животных ДМ-группы.

АЛФ, вводимый в комплексе с ДМ, ослабил выраженность нарушения параметров одиночного сокращения мышцы после УР в сравнении с ДМ-группой. Так, АЛФ, вводимый в комплексе с ДМ, предотвратил типичное для ДМ-группы и не характерное для контроля уменьшение скорости укорочения и расслабления после УР (рис. 1В-Г). Кроме того, в ДМ+АЛФ-группе, в отличие от ДМ-группы и контроля, не наблюдалось значимого относительно исходного уровня уменьшения амплитуды одиночных сокращений после УР, что было характерно и для АЛФ-группы (рис. 1Б). Данный факт свидетельствует в пользу более быстрой нормализации электромеханического сопряжения после УР в МВ мышцы животных ДМ+АЛФ-группы и соответственно в пользу большей скорости восстановления мышцы после утомления.

Таким образом, АЛФ, вводимый в комплексе с ДМ, ослабил уменьшение мышечной массы, степени посттетанической потенциации и ухудшение параметров одиночного сокращения мышцы, типичные при длительном введении ДМ, и обусловил даже некоторое ускорение восстановления мышцы после утомления в сравнении не только с ДМ-группой, но и контролем.

Для более детальной оценки сократительной функции мышцы животных всех групп на следующем этапе наших исследований мы сочли необходимым оценить параметры тетанического ее сокращения, которое она зачастую развивает в реальных условиях.

С этой целью проводили регистрацию кривых сокращения мышцы в условиях 6-ти секундных тетанусов с внешними нагрузками 20 г и 70 г. Анализ амплитудных и временных параметров тетанического сокращения мышцы позволил выявить ухудшение в сравнении с контролем ($p < 0,05$) амплитуды (на 26 %) и скорости развития тетануса (на 33 %) в ДМ-группе, проявлявшееся только при условии работы мышцы с большей нагрузкой (70 г, табл. 1).

Изолированное применение АЛФ обусловило увеличение в сравнении с контролем ($p < 0,05$) скорости развития тетануса как при малой (20 г), так и при большей (70 г) внешней нагрузке (табл. 1).

Таблица 1

Средние значения ($\bar{X} \pm m$) некоторых параметров тетанического сокращения мышцы контрольных животных и крыс, получавших дексаметазон (ДМ) и альфакальцидол (АЛФ) изолированно и комплексно (ДМ+АЛФ)

Параметры тетанического сокращения 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	
К	15,6±1,14	5,9±0,39	13,8±1,13	4,8±0,32	-20,0±4,19
ДМ	16,4±1,34	5,7±0,32	10,3±0,90 [-26 %*]	3,2±0,24 [-33 %*]	-43,4±6,72*
АЛФ	17,9±1,12	9,4±1,08 [+58 %*]	16,3±0,96	6,7±0,59 [+42 %*]	-28,4±4,29
ДМ+АЛФ	17,7±1,69	8,7±0,98 [+47 %*], +54 ^x	14,3±1,48 +40 ^x	5,0±0,53 +58 ^x	-42,2±5,43*

Примечание: * – различия статистически значимы относительно соответствующего значения контрольной группы ($p < 0,05$); ^x – указана статистически значимая разница показателя относительно соответствующего значения ДМ-группы (в %, $p < 0,05$).

АЛФ, вводимый в комплексе с ДМ, предотвратил типичное для ДМ-группы уменьшение амплитуды и скорости развития тетануса при работе мышцы с большей нагрузкой (70 г) и обусловил типичное для АЛФ-группы ускорение развития тетануса, но только в режиме работы мышцы с малой нагрузкой (20 г, табл. 1). Вместе с тем, при работе мышцы животных ДМ+АЛФ-группы с большей нагрузкой (70 г) увеличения скорости развития тетануса, характерного для АЛФ-группы, не наблюдалось, и подобно ДМ-группе имело место более выраженное, в сравнении с контролем ($p < 0,05$), процентное уменьшение скорости развития тетануса при нагрузке в 70 г относительно таковой при нагрузке в 20 г (табл. 1). Оба эти факта указывают в пользу того, что нагрузка в 70 г для мышцы животных ДМ+АЛФ-группы представляла бóльшую сложность, чем для контроля и АЛФ-группы, что косвенно указывает на ухудшение силовых характеристик мышцы, как при изолированном применении ДМ, так и при комплексном его введении с АЛФ.

На заключительном этапе наших исследований при работе мышцы с внешней нагрузкой 70 г вплоть до полного ее расслабления на фоне продолжающейся электрической стимуляции малоберцового нерва оценивались амплитудные, временные параметры, а также работоспособность мышцы животных разных групп.

Анализ полученных данных показал, что длительное изолированное введение ДМ приводило к уменьшению, в сравнении с контролем ($p < 0,05$), амплитуды и

мощности тетануса, а также укорочению периода максимальной работоспособности мышцы (рис. 3). В основе ухудшения амплитудных параметров тетанического сокращения у животных ДМ-группы могут лежать уменьшение силы сокращения, развиваемой патологически измененными МВ, полное их выключение из возбуждения и сокращения, а также уменьшение степени синхронизации возбуждения и сокращения в мышце. Учитывая способность фармакологических доз ГК вызывать очаговые деструктивные изменения в МВ особенно гликолитического типа [17], а также наблюдаемое нами уменьшение массы мышцы и амплитуды ее одиночных сокращений у крыс ДМ-группы, свидетельствующие в пользу десинхронизации возбуждения в мышце и возможного выключения части патологически измененных МВ из возбуждения и сокращения, все эти патологические изменения могли послужить причиной ухудшения амплитудных параметров тетанического сокращения.

Кроме того, одной из причин уменьшения скорости тетануса может быть существенное ухудшение силы, развиваемой МВ у животных ДМ-группы, в результате чего эта нагрузка вызывает более длительное изометрическое сокращение, ее компенсирующее, после чего мышца приобретает способность поднимать такой груз. Наконец, не исключено, что замедление развития тетануса у особей ДМ-группы может быть следствием уменьшения доли быстрых МВ, задействованных в сокращении, по причине дистрофических их изменений.

Укорочение продолжительности максимальной работоспособности мышцы у крыс ДМ-группы отражает более выраженное нарушение энергообмена в МВ в динамике выполнения УР в сравнении с контролем, обуславливающее более быстрое наступление ацидоза, снижение возбудимости МВ и частичное их выключение из сокращения в процессе развития утомления.

АЛФ, вводимый в комплексе с ДМ, предотвратил ухудшение амплитудных и временных параметров тетанического сокращения мышцы относительно контроля (рис. 3).

Данные факты свидетельствуют в пользу способности АЛФ предотвращать развитие как тяжелых структурных, так и функциональных, в том числе энергетических нарушений в МВ, обуславливающих ухудшение параметров тетанического сокращения мышцы и ее работоспособности.

Подводя итог изложенному, необходимо заключить, что АЛФ, вводимый в комплексе с ДМ, предотвратил снижение амплитуды одиночного и тетанического сокращений, но в ДМ+АЛФ-группе все же выявлялись некоторые нарушения параметров одиночного сокращения: значимые относительно контроля удлинение латентного периода и уменьшение скорости сокращения, а также тенденция к уменьшению скорости расслабления. Кроме того, для животных, получавших пару препаратов, было характерно уменьшение степени посттетанического потенцирования и тенденция к уменьшению массы мышцы.

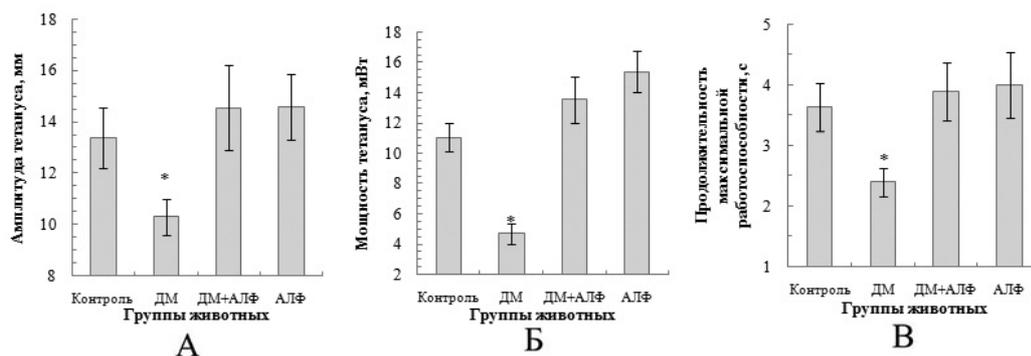


Рис. 3. Средние значения параметров тетанического сокращения мышцы (А-В) при выполнении высокочастотной утомляющей работы (частота стимуляции – 70 имп/с, внешняя нагрузка – 70 г) у животных разных групп

Примечание: * – различия показателя статистически значимы ($p < 0,05$) относительно контрольной группы.

Вместе с тем, все эти нарушения параметров одиночного сокращения в ДМ+АЛФ-группе были выражены в гораздо меньшей степени, чем при изолированном применении ДМ, а параметры тетанического сокращения у животных, получавших пару препаратов, фактически не страдали. Более того, для животных ДМ+АЛФ-группы была к тому же характерна даже более высокая, в сравнении с контролем, скорость восстановления СМ после УР.

Полученные нами факты позволяют рассматривать АЛФ как одно из относительно эффективных средств для ослабления выраженности функциональных нарушений в СМ при длительной ГК-терапии. Учитывая к тому же возможный дефицит витамина D в организме при длительном приеме ГК [4], а также способность АЛФ компенсировать гипокальциемию [4] и улучшать метаболизм костной и хрящевой ткани [11, 13] при ГК-терапии, становится обоснованным прием АЛФ для компенсации многих негативных эффектов длительно вводимых ГК, в том числе на нервно-мышечный аппарат.

Наблюдаемые нами в условиях *in situ* изменения эргометрических параметров скелетной мышцы животных ДМ- и ДМ+АЛФ-групп указывают в пользу выраженных сократительных нарушений у особей ДМ-группы, а также сниженной способности мышцы к восстановлению после УР. АЛФ, вводимый в комплексе с ДМ, существенно ослабил выраженность сократительных нарушений и предотвратил ухудшение устойчивости мышцы к утомлению, типичное для ДМ-группы. Вместе с тем, АЛФ не смог полностью предотвратить уменьшение мышечной массы, а также ухудшение некоторых скоростных параметров одиночного сокращения мышцы и ее силовых характеристик.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. АЛФ, вводимый в комплексе с ДМ, предотвратил типичное для ДМ-группы уменьшение массы мышцы, но тенденция к ее уменьшению в ДМ+АЛФ-группе все же сохранялась.
2. Введение АЛФ в комплексе с ДМ предотвратило типичное ДМ-группы снижение амплитуды и ослабило степень удлинения латентного периода и уменьшения скорости укорочения и расслабления одиночных сокращений, а также существенно уменьшило снижение относительно контроля степени посттетанической потенциации в сравнении с ДМ-группой. Данные факты косвенно указывают в пользу меньшей выраженности дистрофических изменений быстрых МВ мышцы животных ДМ+АЛФ-группы в сравнении с ДМ-группой.
3. АЛФ, вводимый в комплексе с ДМ, предотвратил ухудшение амплитуды и скорости тетанического сокращения при работе мышцы с большей нагрузкой (70 г), типичное для ДМ-группы. Более того, при малой внешней нагрузке (20 г) у животных ДМ+АЛФ-группы наблюдалось характерное и для АЛФ-группы увеличение скорости развития тетануса (на 47 %) в сравнении с контролем ($p < 0,05$). Вместе с тем, у животных ДМ+АЛФ-группы сохранялось типичное для ДМ-группы более выраженное в сравнении с контролем снижение процентного отношения скорости тетануса при нагрузке в 70 г относительно таковой при нагрузке в 20 г, что косвенно указывает в пользу некоторого ухудшения силовых характеристик мышцы.
4. АЛФ, вводимый в комплексе с ДМ, предотвратил укорочение периода максимальной работоспособности мышцы, типичное для ДМ-группы. Кроме того, мышца животных ДМ+АЛФ-группы характеризовалась большей скоростью восстановления после УР в сравнении с ДМ-группой. В пользу этого свидетельствуют отсутствие снижения амплитуды одиночных сокращений мышцы животных ДМ+АЛФ-группы после УР, типичное для ДМ-группы и контроля, а также отсутствие уменьшения скорости укорочения и расслабления при одиночном сокращении после УР, характерное для ДМ-группы.

Список литературы

1. Oray M. Long-term side effects of glucocorticoids / M. Oray, K. A. Samra, N. Ebrahimiadib, H. Meese, C. S. Foster // *Expert Opin. Drug Saf.* – 2016. – V. 15, №4. – P. 457–465.
2. Труш В. В. Оценка эффективности аргинина в компенсации стероидной миопатии у белых крыс, индуцированной длительным введением дексаметазона / В. В. Труш, В. И. Соболев, М. Н. Попов // *Патологическая физиология и экспериментальная терапия.* – 2018. – V. 62, №4. – P. 120–129.
3. Труш В. В. Влияние длительного применения дексаметазона на электрофизиологические параметры скелетной мышцы крыс в покое и при развитии утомления / В. В. Труш, В. И. Соболев // *Экспериментальная и клиническая фармакология.* – 2018. – V. 81, №5. – P. 21–26.
4. Shymanskyi I. O. Molecular and cellular mechanisms of vitamin D3 protection in experimental prednisolone-induced osteoporosis / I. O. Shymanskyi, O. Lisakovska, M. M. Veliky // *Pain, joints, spine.* – 2017. – V. 7, №3. – P. 93–101.
5. Compston J. Glucocorticoid-induced osteoporosis: an update / J. Compston // *Endocrine.* – 2018. – V. 61, №1. – P. 7–16.

6. Gardner D.G. Shoback D. (ed.) *Greenspan's Basic & Clinical Endocrinology*. 10th Edition. / Gardner D. G. – N.-Y.: McGraw-Hill Education, 2018. – 938 p.
7. Canepari M. Structural and molecular adaptations to dexamethasone and unacylated ghrelin administration in skeletal muscle of the mice / M. Canepari, V. Agoni, L. Brocca, E. Ghigo, M. Gnesi, M. A. Minetto, R. Bottinelli // *J. Physiol. Pharmacol.* – 2018. – V. 69, №2. Available at: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/30045005/>. Accessed September 3, 2020.
8. Sakai H. Dexamethasone exacerbates cisplatin-induced muscle atrophy / H. Sakai, M. Kimura, Y. Tsukimura, S. Yabe, Y. Isa, Y. Kai, F. Sato, R. Kon, N. Ikarashi, M. Narita, Y. Chiba, J. Kamei // *Clin. Exp. Pharmacol. Physiol.* – 2019. – V. 46, №1. – P. 19–28.
9. Салухов В. В. Костные и внескелетные эффекты витамина D, а также возможности медикаментозной коррекции его дефицита / В. В. Салухов, Е. А. Ковалевская, В. В. Курбанова // *Медицинский совет.* – 2018. – №4. – P. 90–99.
10. Gröber U. Vitamin D – Die Heilkraft des Sonnenvitamins / U. Gröber, M. F. Holick // *Zeitschrift für Orthomolekulare Medizin.* – 2020. – V. 18(02). – P. 30–31.
11. Matsumoto T. Eldecalcitol is superior to alfacalcidol in maintaining bone mineral density in glucocorticoid-induced osteoporosis patients (e-GLORIA) / T. Matsumoto, K. Yamamoto, T. Takeuchi, Y. Tanaka, S. Tanaka, T. Nakano, M. Ito, T. Tomomitsu, A. Hirakawa, S. Soen // *J. Bone Miner. Metab.* 2020. – V.38, №4. – P. 522–532.
12. Lv F. Effects of alendronate and alfacalcidol on bone in patients with myasthenia gravis initiating glucocorticoids treatment / F. Lv, Y. Guan, D. Ma, X. Xu, Y. Song, L. Li, Y. Jiang, O. Wang, W. Xia, X. Xing, M. Li // *Clin. Endocrinol. (Oxf).* – 2018. – V. 88, №3. – P. 380–387.
13. Jayasena A. Treatment of glucocorticoid-induced low bone mineral density in children: a systematic review / A. Jayasena, N. Atapattu, S. Lekamwasam // *Int. J. Rheum. Dis.* – 2015. – V.18, №3. – P. 287–293.
14. Miyakoshi N. Effects of a vitamin D analog, alfacalcidol, on bone and skeletal muscle in glucocorticoid-treated rats / N. Miyakoshi, H. Sasaki, Y. Kasukawa, K. Kamo, Y. Shimada // *Biomed. Res.* – 2010. – V. 31, №6. – P. 329–336.
15. Kinoshita H. Effects of eldecalcitol on bone and skeletal muscles in glucocorticoid-treated rats / H. Kinoshita, N. Miyakoshi, Yu. Kasukawa, S. Sakai, A. Shiraiishi, T. Segawa, K. Ohuchi, M. Fujii, C. Sato, Y. Shimada // *J. of Bone and Mineral Metabolism.* – 2016. – V. 34, №2. – P. 171–178.
16. Vervloet M. Clinical uses of 1-alpha-hydroxycholecalciferol / M. Vervloet // *Curr. Vasc. Pharmacol.* – 2014. – V. 12, №2. – P. 300–305.
17. Schakman O. Mechanisms of glucocorticoid-induced myopathy / O. Schakman, H. Gilson, J. P. Thissen // *J. Endocrinology.* – 2008. – V. 197, №1. – P. 1–10.
18. Bikle D. D. Extraskeletal actions of vitamin D. / D. D. Bikle // *Ann. N. Y. Acad. Sci.* – 2016. – V. 1376, №1. – P. 29–52.
19. Башкова И. Б. Принципы ведения пациентов с глюкокортикоидным остеопорозом / И. Б. Башкова, И. В. Мадянов // *Российский медицинский журнал (РМЖ).* – 2018. – №12(II). – С. 99–102.
20. Крюкова И. В. Возможности альфакальцидола в профилактике и лечении различных форм остеопороза / И. В. Крюкова // *Российский медицинский журнал (РМЖ).* – 2016. – №20. – С. 1359–1363.
21. Руководство по проведению доклинических исследований лекарственных средств. Миронова А. Н., Бунарян Н. Д., ред. Москва: Минздрав РФ, ЗАО «Гриф и К», 2012. – 944 с.

EFFICIENCY OF ALPHACALCIDOL IN COMPENSATION OF DISORDERS OF CONTRACTILE FUNCTIONS OF THE SKELETAL MUSCLE WITH DEXAMETHAZONE HYPERCORTICISM IN EXPERIMENTS ON RATS

Trush V. V.¹, Sobolev V. I.²

¹*Donetsk national university, Donetsk, Ukraine,*

²*V.I. Vernadsky Crimean Federal University, Simferopol, Crimea, Russian Federation*

E-mail: ver.trush@yandex.ru

The aim of the research was to study in experiments on rats the effectiveness of alfalcidol (ALF, 0,06 µg/kg/day) in compensating of disorders of the contractile function of skeletal muscle induced by prolonged administration of dexamethasone (DM, 0,25 mg/kg/2 days, treated for 30 days).

Methods. The experiments were performed on sexually mature female rats (195–205 g), divided into 4 groups: control (n=10, C-group), first experimental (n=10, treated dexamethasone, DM-group), second experimental (n=10, treated dexamethasone in combination with alfalcidol, DM+ALF-group) and third experimental (n=10, treated alfalcidol, ALF-group). The medicines were administered in doses adequate to the therapeutic for humans for 30 days: dexamethasone (KRKA, Slovenia) – once every 2 days, i.p., at a dose of 0,25 mg/kg, alfalcidol (trademark “Alpha D3-Teva”, Catalent Germany Eberbach GmbH, Germany) – daily, orally, at a dose of 0,06 µg/kg. On anesthetized animals (sodium thiopental, 100 mg/kg) some functional parameters of the tibialis anterior muscle were studied using the myography method.

Results. ALF, administered in combination with DM, prevented a decrease in muscle mass, which was typical for the DM-group, but a decreasing tendency of muscle mass in the DM+ALF-group still persisted. The administration of ALF in combination with DM prevented a typical for DM-group decrease in amplitude and weakened the degree of lengthening of the latent period and a decrease in the rate of shortening and relaxation of single contractions, and also significantly reduced the decrease of the degree of post-tetanic potentiation in comparison with the DM-group. These facts indirectly indicate in a favor of a less pronounced of dystrophic changes in fast muscle fibers in the muscle of animals of the DM+ALF-group in comparison with the DM-group.

ALF, administered in combination with DM, prevented deterioration in the amplitude and in the rate of tetanic contraction during muscle work with a greater load (70 g), which was typical for the DM-group. Moreover, at a low external load (20 g) an increase in the rate of development of tetanus (by 47 %) was observed in animals of the DM+ALF-group in comparison with the control (p<0,05), what was typical for the ALF-group. At the same time, in the DM+ALF-group a more pronounced decrease in the percentage of tetanus rate under a load of 70 g relative to that under a load of 20 g were retained, which was typical for the DM-group and indirectly indicated in a favor of some deterioration in the strength characteristics of the muscle.

ALF, administered in combination with DM, prevented the shortening of the period of maximum muscle working capacity, which was typical for the DM-group. In addition, the muscle of animals of the DM+ALF-group was characterized by a higher rate of

recovery after fatigable work (FW) in comparison with the DM-group. This is evidenced by the absence of a decrease in the amplitude of single muscle contractions in animals of the DM+ALF-group after FW, which is typical for the DM-group and control, as well as the absence of a decrease in the rate of shortening and relaxation during a single contraction after FW, which is characteristic for the DM-group.

Conclusion. The changes in the functional parameters of the muscle of animals of the DM- and DM+ALF-groups indicate in a favor of pronounced contractile disorders in individuals of the DM-group, as well as a reduced ability of its muscles to recover after FW. ALF, administered in combination with DM, significantly weakened the severity of contractile disorders and prevented the deterioration of muscle resistance to fatigue, which was typical for the DM-group. At the same time, ALF could not completely prevent a decrease in muscle mass, as well as a deterioration of some rate parameters of a single muscle contraction and its strength characteristics.

Keywords: iatrogenic hypercorticoidism, steroid myopathy, dexamethasone, alfacalcidol, skeletal muscle.

References

1. Oray M., Samra K. A., Ebrahimiadib N., Meese H., Foster C. S. Long-term side effects of glucocorticoids, *Expert Opin. Drug Saf.*, **15** (4), 457 (2016). DOI: <https://doi.org/10.1517/14740338.2016.1140743>
2. Trush V. V., Sobolev V. I., Popov M. N. Evaluation of arginine efficacy in control of steroid myopathy induced by long-term dexamethasone treatment in white rats. *Patologicheskaya Fiziologiya i Eksperimental'naya terapiya*. **62** (4), 120 (2018) (In Russian) DOI: <https://doi.org/10.25557/0031-2991.2018.04.120-129>
3. Trush V. V., Sobolev V. I. Influence of long dexamethasone administration on electrophysiological parameters of the rat skeletal muscle at rest and exhaustion development. *Eksperimental'naya i klinicheskaya farmakologiya*. **81** (5), 21 (2018). (In Russian) DOI: <https://doi.org/10.30906/0869-2092-2018-81-5-21-26>
4. Shymanskyi I. O., Lisakovska O., Veliky M. M. Molecular and cellular mechanisms of vitamin D3 protection in experimental prednisolone-induced osteoporosis. *Pain, joints, spine*. **7** (3), 93 (2017) DOI: <https://doi.org/10.22141/2224-1507.7.3.2017.116863>
5. Compston J. Glucocorticoid-induced osteoporosis: an update. *Endocrine*. **61** (1), 7 (2018) DOI: <https://doi.org/10.1007/s12020-018-1588-2>
6. Gardner D. G., Shoback D. (ed.) Greenspan's Basic & Clinical Endocrinology. 10th Edition. — N.-Y.: McGraw-Hill Education, 2018.
7. Canepari M., Agoni V., Brocca L., Ghigo E., Gnesi M., Minetto M. A., Bottinelli R. Structural and molecular adaptations to dexamethasone and unacylated ghrelin administration in skeletal muscle of the mice. *J. Physiol. Pharmacol.* **69** (2) Available at: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/30045005/> (2018) DOI: <https://doi.org/10.26402/jpp.2018.2.14>
8. Sakai H., Kimura M., Tsukimura Y., Yabe S., Isa Y., Kai Y., Sato F., Kon R., Ikarashi N., Narita M., Chiba Y., Kamei J. Dexamethasone exacerbates cisplatin-induced muscle atrophy. *Clin. Exp. Pharmacol. Physiol.* **46** (1), 19 (2019). DOI: <https://doi.org/10.1111/1440-1681.13024>
9. 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. *Meditinskiy sovet*. **4**, 90 (2018) (In Russian) DOI: <https://doi.org/10.21518/2079-701X-2018-4-90-99>
10. 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>
11. Matsumoto T., Yamamoto K., Takeuchi T., Tanaka Y., Tanaka S., Nakano T., Ito M., Tomomitsu T., Hirakawa A., Soen S. Eldecalcitol is superior to alfacalcidol in maintaining bone mineral density in glucocorticoid-induced osteoporosis patients (e-GLORIA). *J. Bone Miner. Metab.* **38** (4), 522 (2020) DOI: <https://doi.org/10.1007/s00774-020-01091-4>

12. Lv F., Guan Y., Ma D., Xu X., Song Y., Li L., Jiang Y., Wang O., Xia W., Xing X., Li M. Effects of alendronate and alfacalcidol on bone in patients with myasthenia gravis initiating glucocorticoids treatment. *Clin. Endocrinol. (Oxf)*. **88** (3), 380 (2018) DOI: <https://doi.org/10.1111/cen.13537>
13. Jayasena A., Atapattu N., Lekamwasam S. Treatment of glucocorticoid-induced low bone mineral density in children: a systematic review. *Int. J. Rheum. Dis.* **18** (3), 287 (2015) DOI: <https://doi.org/10.1111/1756-185X.12560>
14. Miyakoshi N., Sasaki H., Kasukawa Y., Kamo K., Shimada Y. Effects of a vitamin D analog, alfacalcidol, on bone and skeletal muscle in glucocorticoid-treated rats. *Biomed. Res.* **31** (6), 329 (2010) DOI: <https://doi.org/10.2220/biomedres.31.329>
15. Kinoshita H., Miyakoshi N., Kasukawa Yu., Sakai S., Shiraishi A., Segawa T., Ohuchi K., Fujii M., Sato C., Shimada Y. Effects of eldecalcitol on bone and skeletal muscles in glucocorticoid-treated rats. *J. of Bone and Mineral Metabolism.* **34** (2), 171 (2016) DOI: <https://doi.org/10.1007/s00774-015-0664-4>
16. Vervloet M. Clinical uses of 1-alpha-hydroxycholecalciferol. *Curr. Vasc. Pharmacol.* **12** (2), 300 (2014) DOI: <https://doi.org/10.2174/15701611113119990132>
17. Schakman O., Gilson H., Thissen J.P. Mechanisms of glucocorticoid-induced myopathy. *J. Endocrinology.* **197** (1), 1 (2008) DOI: <https://doi.org/10.1677/joe-07-0606>.
18. Bikle D.D. Extraskeletal actions of vitamin D. *Ann. N.Y. Acad. Sci.* **1376** (1), 29 (2016) DOI: <https://doi.org/10.1111/nyas.13219>
19. Bashkova I. B., Madyanov I. V. Principles of management of patients with glucocorticoid osteoporosis. *Rossijskij medicinskij zhurnal.* **12** (II), 99 (2018) (In Russian)
20. Kryukova I. V. Alfacalcidol for the prevention and treatment of osteoporosis. *Rossijskij medicinskij zhurnal.* **20**, 1359 (2016) (In Russian)
21. Rukovodstvo po provedeniyu doklinicheskikh issledovaniy lekarstvennykh sredstv (Guidelines for conducting preclinical studies of medicines). Mironova A. N., Bunatyan N. D., eds. Moscow: Minzdrav RF, ZAO «Grif i K», 2012 (In Russian)

УДК 597.583.1.152.6 (268.81)

МОНИТОРИНГ КОНЦЕНТРАЦИИ НЕКОТОРЫХ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ В ОРГАНИЗМЕ РЫБ СЕМЕЙСТВА *Gobiidae*

Чаплыгин В. А.¹, Хурсанов А. С.¹, Ершова Т. С.², Зайцев В. Ф.²

¹*Волжско-Каспийский филиал ФГБНУ ВНИРО («КаспНИРХ»), Астрахань, Россия*

²*ФГБОУ ВО «Астраханский государственный технический университет», Астрахань, Россия*

E-mail: ershova_ts@mail.ru

В работе представлены исследования содержания тяжелых металлов в пуголовке *Benthophilus macrocephalus*, бычке песочнике *Neogobius fluviatilis* и бычке хвалынском *Neogobius caspius*, обитающих в Каспийском море. Показано, что концентрации тяжелых металлов, обнаруженные в некоторых видах семейства *Gobiidae* за последние 9 лет увеличились в несколько раз. В изученных видах рыб выявлено превышение допустимых остаточных концентраций тяжелых металлов (исключение составляет медь). Отмечено, что *Benthophilus macrocephalus* по сравнению с другими представителями семейства бычковые *Gobiidae* является аккумулятором всех исследованных тяжелых металлов.

Ключевые слова: тяжелые металлы, аккумуляция, пуголовка, бычок песочник, бычок хвалынский, Каспийское море.

ВВЕДЕНИЕ

Каспийское море – уникальный водоем, который обладает богатым видовым разнообразием рыб [1]. Загрязнение морской среды способно разрушить среду обитания гидробионтов, приводя к снижению видового богатства [2].

Тяжелые металлы являются одними из основных загрязнителей воды Каспийского моря [3–6]. Возрастание их концентраций в морской воде связано, прежде всего, с работами по разведке и добыче углеводородного сырья [5, 7–9]. Кроме того, источниками тяжелых металлов является речной сток, содержащий сточные воды промышленных предприятий [5, 10, 11].

Существует определенная связь между микроэлементным составом рыб и условиями среды их обитания [12–14]. Химические элементы, необходимые в строго определенных количествах, входя в состав биологически активных веществ, играют большую роль в метаболизме рыб, но, достигая высоких концентраций, превращаются в тяжелые металлы, обладая токсическими свойствами [13, 15–17]. Металлы, включаясь в биогеохимический цикл водной экосистемы, способны аккумулироваться в гидробионтах из различных экологических групп [17–19].

При этом бентосные организмы, являясь важными звеньями в пищевых цепях водоемов, играют огромную роль в концентрации и биогенной миграции микроэлементов [18, 19]. Различные виды бычков – важная составляющая часть экосистемы Каспийского моря, так как они служат кормом для таких ценных видов

рыб как русский и персидский осетры [20, 21]. При этом по данным Э. Ю. Тихоновой [21] доля бычков в пищевом комке русского (*Acipenser gueldenstaedtii*, Brandt, 1833) и персидского (*Acipenser persicus*, Borodin, 1897) осетров составляет более 50 %.

На основании вышесказанного целью данного исследования является оценить микроэлементный состав некоторых видов рыб семейства *Gobiidae*, обитающих в Каспийском море.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Объектами исследования являлись три вида семейства *Gobiidae* (пуголовка *Benthophilus macrocephalus*, Pallas, 1787), бычок песочник (*Neogobius fluviatilis*, Pallas, 1814), бычок хвалынский (*Neogobius caspius*, Eichwald, 1831), выловленных в северной и средней частях Каспийского моря во время различных экспедиций в период 2013–2019 гг.

Определение меди, марганца, кобальта, свинца и меди в представителях семейства *Gobiidae* проводилось методом атомно-абсорбционной спектроскопии [22, 23] с применением атомно-абсорбционного спектрометра с электротермической атомизацией МГА-915 МД. Концентрацию химических элементов выражали в мг/кг сухого вещества. Результаты исследования обрабатывались статистически при помощи программного продукта Microsoft Office Excel 2010, Statistica 10 согласно общепринятым методикам биометрии [24–27].

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

На рисунке 1 представлены выявленные концентрации меди, марганца, кобальта, свинца и кадмия в представителях семейства *Gobiidae*.

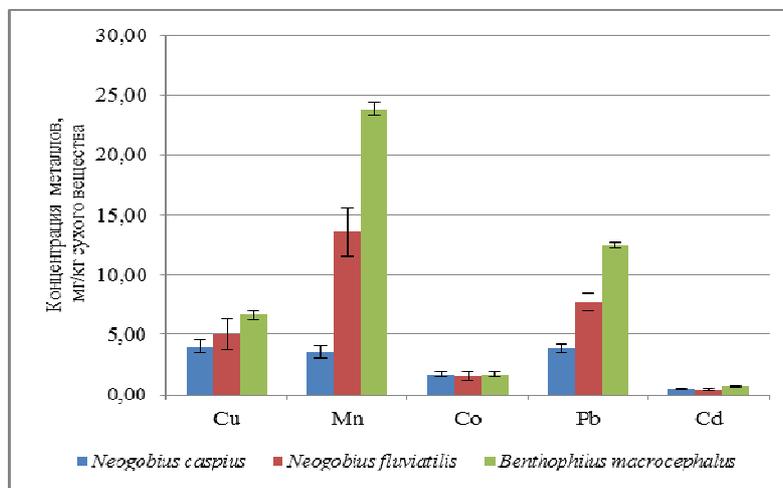


Рис. 1. Содержание меди, марганца, кобальта, свинца и кадмия в рыбах семейства *Gobiidae* Каспийского моря.

Медь относится к истинным биоэлементам и участвует азотистом обмене [13, 28]. При этом в организм рыб преимущественно проникает ионная форма меди [16]. Среди представителей семейства *Gobiidae* наибольшее содержание меди выявлено в *Benthophilus macrocephalus* ($6,62 \pm 0,36$ мг/кг сухого вещества), а наименьшее – в *Neogobius caspius* ($3,98 \pm 0,55$ мг/кг сухого вещества) [19, 29]. Концентрация меди в указанных видах рыб ниже допустимой остаточной концентрации (10 мг/кг).

Марганец принимает участие в обменных процессах, влияя на рост и размножение рыб [13, 28]. Среди исследованных видов семейства бычковые *Gobiidae* максимальное содержание марганца обнаружено в *Benthophilus macrocephalus* – $23,83 \pm 1,7$ мг/кг сухого вещества, что выше таковых показателей у бычка песочника *Neogobius fluviatilis* и бычка хвалынского *Neogobius caspius* в 2 и 8 раза соответственно. По сравнению с изученными бентосными рыбами минимальный уровень концентрации элемента обнаружен у бычка хвалынского *Neogobius caspius* ($3,54 \pm 0,6$ мг/кг) [19, 29]. Сравнивая полученные концентрации с нормативными значениями, в случае с бычком песочником и пуголовкой показано превышение соответствующих нормируемых величин в 1,4 и 2,5 раза. Содержание марганца в бычке хвалынском ниже значения ДОК.

Кобальт входит в состав гормонов, витаминов (B_{12}), участвующих во многих метаболических процессах, влияя на белковый обмен, процессы кроветворения и продуктивность организмов [13, 28]. Концентрация кобальта в исследованных представителях семейства *Gobiidae* находилась на одном уровне и выявленные различия недостоверны ($p > 0,05$) [19, 29]. В организме рыб отмечено превышение нормативной величины в 3 раза.

Свинец, влияя на энзиматические процессы рыб, является постоянной нормальной составной частью их органов и тканей [13]. В организме рыб этот микроэлемент накапливается незначительно, так как малые дозы свинца необходимы для нормальной жизнедеятельности рыб [13, 30]. При этом, свинец способен аккумулироваться в организме гидробионтов, приводя к повреждению клеток организма [31]. Среди исследованных видов рыб максимальное количество свинца обнаружено в *Benthophilus macrocephalus* и составляло $12,47 \pm 0,2$ мг/кг сухого вещества. В то же время *Neogobius fluviatilis* и *Neogobius caspius* аккумулировали данный металл достоверно ниже, в 1,6 и более чем в 3 раза соответственно [19, 29]. Показано превышение нормативного значения и концентрация свинца в *Neogobius caspius* составляла 3,8 ДОК, в *Neogobius fluviatilis* – 7,7 ДОК, а в *Benthophilus macrocephalus* – 12,5 ДОК.

Кадмий аккумулируется в основном жабрами, где он принимает участие в осморегуляторных процессах [16]. В небольших концентрациях он участвует в углеводном обмене [13]. При этом соединения кадмия обладают значительной токсичностью и широким спектром действия на биологические процессы [32]. Содержание кадмия в *Benthophilus macrocephalus* составляло $0,65 \pm 0,05$ мг/кг сухого вещества, что являлось максимальным по сравнению с другими исследованными видами рыб. Уровень биоаккумуляции кадмия *Neogobius caspius* и бычком песочником *Neogobius fluviatilis* несколько ниже, чем в пуголовке, причем различия в значениях аккумуляции металла между этими видами рыб недостоверны ($p > 0,05$) [19,

29, 33]. Концентрация кадмия в исследованных объектах выше допустимой остаточной концентрации: в пуголовке более чем в 3 раза, в бычках – в 2 раза.

Сравнивая полученные усредненные значения тяжелых металлов в организме исследованных видов семейства *Gobiidae* в 2019 году с данными С. А. Гуцуляк и Л. М. Васильевой [5] за 2010 год, показано увеличение концентрации в объектах изучения всех исследованных химических элементов, за исключением кадмия (табл. 1).

Таблица 1
Концентрация тяжелых металлов в организме рыб семейства *Gobiidae*, мг/кг сухого вещества

Металлы	2010 (по данным С. А. Гуцуляк, Л. М. Васильевой, 2016)	2019 г (наши данные)	ДОК, мг/кг
Cu	1,43±0,3	5,21±0,84	10,0
Mn	2,27±0,3	13,64±1,07	10,0
Co	0,72±0,2	1,6±0,2	0,5
Pb	4,43±0,7	8,01±0,36	1,0
Cd	0,42±0,2	0,5±0,06	0,2

Так, показано, что содержание меди в организме рыб увеличилось примерно в 5 раз, по сравнению с 2010 годом, но все же находилось в пределах нормы (10 мг/кг).

Концентрация марганца в исследованных видах рыб в 2019 году возросла в 6 раз по сравнению с данными С. А. Гуцуляк, Л. М. Васильева [5]. Хотя указанные авторы не выявили в 2010 году в исследованных ими бычках превышения допустимых значений, в нашем случае превышение ДОК составило в 1,4 раза.

Уровень аккумуляции кобальта и свинца изученными видами семейства *Gobiidae* в 2019 году по сравнению с соответствующими значениями в 2010 году выше в 2 раза. Концентрация кобальта в бычках превышала допустимую величину (0,5 мг/кг) в 3 раза, а концентрация свинца – в 8 раз.

Стоит заметить, что значение накопления кадмия исследованными видами семейства *Gobiidae* в 2019 году не отличалось от данных С. А. Гуцуляк, Л. М. Васильева [5] и составляло 0,5±0,06 мг/кг сухого вещества. При этом концентрация кадмия в представителях семейства *Gobiidae* выше ДОК в 2,5 раза.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Результаты проведенных исследований по выявлению содержания ряда тяжелых металлов в организме некоторых видов семейства *Gobiidae* позволили установить следующее:
2. Содержание Cu, Mn, Co, Pb и Cd, обнаруженные в *Benthophilus macrocephalus*, *Neogobius fluviatilis*, *Neogobius caspius* за последние 9 лет увеличилось.
3. В *Benthophilus macrocephalus*, *Neogobius fluviatilis*, *Neogobius caspius* выявлено превышение допустимых остаточных концентраций Mn, Co, Pb и Cd.

4. Отмечено, что *Benthophilus macrocephalus* по сравнению с другими представителями семейства бычковые *Gobiidae* является аккумулятором всех исследованных тяжелых металлов.

Научно-исследовательская работа выполнена в рамках государственного задания Федерального агентства по рыболовству на 2020 год по теме: «Исследование содержания тяжелых металлов в кормовой базе и промысловой ихтиофауне Каспийского моря» № госрегистрации АААА-А20-120032590074-3

Список литературы

1. Иванов В. П. Рыбы Каспийского моря (систематика, биология, промысел) / В. П. Иванов, Г. В. Комарова – Астрахань: Изд-во АГТУ, 2008. – 224с.
2. Иванов В. П. Мы понимаем, насколько ответственны за судьбу Каспия – уникального водоема / В. П. Иванов // Вестник Каспия. – 2001. – №4. – С. 70–73
3. Островская Е. В. Тяжелые металлы в системе «Дельта Волги – Северный Каспий» / Е. В. Островская, В. Ф. Бреховских, З. В. Волкова, С. К. Монахов, А. А. Курапов, А. Г. Кочарян // Юг России: экология, развитие. – 2008. – №4. – С. 133–139.
4. Чуйко Е. В. Особенности миграции тяжелых металлов в экосистеме Северного Каспия / Е. В. Чуйко, А. С. Абдусаматов / Юг России: экология, развитие. – 2013. – №3. – С. 110–116.
5. Гуцуляк С. А. Содержание тяжелых металлов в организме бычковых в российской зоне Северного Каспия / С. А. Гуцуляк, Л. М. Васильева // Технологии пищевой и перерабатывающей промышленности АПК-продукты здорового питания. – 2016. – № 2. – С. 19–25.
6. Островская Е. В. Загрязняющие вещества в водах Волжско-Каспийского бассейна / Е. В. Островская, В. Ф. Бреховских, З. В. Волкова – Астрахань: Сорокин Роман Васильевич, 2017. – С. 236–251.
7. Хураськин Л. С. Оценка численности тюленя в Каспийском море / Л. С. Хураськин, Н. А. Захарова, В. В. Кузнецов, В. И. Черноок, А. Ф. Сокольский // Современные проблемы Каспия. Материалы Международной конференции. – Астрахань: КаспНИРХ, 2001. – С. 358–363.
8. Захарова Н. А. Оценка состояния популяции тюленя в Каспийском море и прогноз его добычи на 2007 год / Н. А. Захарова, В. В. Кузнецов, О. М. Валедская // Рыбохозяйственные исследования на Каспии. – Астрахань: Изд-во КаспНИРХа, 2007. – С. 389–401.
9. Головинский В. С. Нефть как источник загрязнения акваторий шельфа тяжелыми металлами / В. С. Головинский, Г. К. Ивахнюк // Проблемы управления рисками в техносфере. – 2009. – №4. – С. 124–128.
10. Кирьянов С. В. Влияние стока Волги на состояние загрязнения Северного Каспия / С. В. Кирьянов, Н. А. Афанасьева // Метеорология и гидрология. – 1992. – № 6. – С. 114–117.
11. Зубкова В. М. Содержание и миграция тяжелых металлов в компонентах экосистем Волгоградского водохранилища / В. М. Зубкова, В. П. Болотов, Н. Ю. Белозубова // Аграрная наука. – 2015. – №1. – С. 14–16.
12. Лисицын А. П. Биогеохимия океана / А. П. Лисицын, Л. Л. Демина, В. В. Гордеев. – М.: Наука, 1983. – 368 с.
13. Войнар А. И. Биологическая роль микроэлементов в организме животных и человека / А. И. Войнар. – М.: Высшая школа, 1960. – 544 с.
14. Воробьев В. И. Биогенная миграция тяжелых металлов в организме русского осетра / В. И. Воробьев, В. Ф. Зайцев, Е. Н. Щербакова. – Астрахань: Изд-во ООО «ЦНТЭП», 2007. – 116 с.
15. Spry D. J. Metal bioavailability and toxicity to fish from low-alkalinity lakes: a critical review / D. J. Spry, T. G. Wiener // Environ. Pollut. – 1991. – Vol. 71, № 2–4. – P. 243–304.
16. Моисеенко Т. И. Рассеянные элементы в поверхностных водах суши: Технофильность, биоаккумуляция и экотоксикология / Т. И. Моисеенко, Л. П. Кудрявцева, Н. А. Гашкина. – М.: Наука, 2006. – 261 с.

17. Ковековдова Л. Т. Микроэлементы в морских промысловых объектах дальнего востока России: Дисс. ... док. биол. наук: 03.02.08 экология / Лидия Тихоновна Ковековдова. – Владивосток, 2011 – 307 с.
18. Давыдова О. А. Влияние физико-химических факторов на содержание тяжелых металлов в водных экосистемах / О. А. Давыдова, Е. С. Климов, Е. С. Ваганова, А. С. Ваганов. – Ульяновск: УЛГТУ, 2014. – 167 с.
19. Зайцев В. Ф. Содержание некоторых металлов в звеньях трофической сети каспийского моря / В. Ф. Зайцев, Т. С. Ершова, В. А. Чаплыгин, А. С. Танасова, А. А. Николенков // X международная биогеохимическая школа «Современные проблемы состояния и биогеохимической эволюции таксонов биосферы», посвященная 70-летию ГЕОХИ РАН. Материалы международной биогеохимической школы. – М.: ГЕОХИ РАН, 2017. – С. 198–205.
20. Молодцова А. И. Питание осетра, севрюги и белуги в Каспийском море / А. И. Молодцова, А. А. Полянинова // Вопросы рыболовства. – 2009. – Т. 10, № 4 (40). – С. 718–740.
21. Тихонова Э. Ю. Особенности питания русского и персидского осетра в Северном Каспии / Э. Ю. Тихонова // Рыбохозяйственные водоемы России – фундаментальные и прикладные исследования. Материалы междунар. науч. конф., посвящ. 100-летию ГосНИОРХ. – СПб.: ГосНИОРХ, 2014. – С. 738–743.
22. Прайс В. Аналитическая атомно-абсорбционная спектрометрия / В. Прайс. – М.: Мир, 1976. – 355 с.
23. Брицке М. Э. Атомно-адсорбционный спектрохимический анализ / М. Э. Брицке. – М.: Химия, 1982. – 223 с.
24. Лакин Г. Ф. Биометрия / Г. Ф. Лакин. – М.: Высшая школа, 1967. – С. 7–65.
25. Лакин Г. Ф. Биометрия / Г. Ф. Лакин. – М.: Высшая школа, 1980. – 293 с.
26. Плохинский Н. А. Алгоритмы биометрии / Н. А. Плохинский. – М.: МГУ, 1980. – С. 35–48.
27. Плохинский Н. А. Биометрия / Н. А. Плохинский. – М.: Просвещение, 1981. – С. 3–184.
28. Виноградов А. П. Химический элементарный состав организмов моря / А. П. Виноградов. – М.: Наука, 2001. – 620 с.
29. Зайцев В. Ф. Биогеохимические особенности аккумуляции элементов в гидробионтах разных экологических групп Каспийского моря / В. Ф. Зайцев, В. А. Чаплыгин, Т. С. Ершова // XII Съезд Гидробиологического общества при РАН (г. Петрозаводск, 16–20 сентября 2019 г.): тезисы докладов. – Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2019. – 575 с.
30. Попов П. А. Оценка экологического состояния водоемов методами ихтиоиндикации: монография. / П. А. Попов. – Новосибирск: Изд-во Новосиб. гос ун-та, 2002. – 270 с.
31. Абдулаева Н. М. Цитогематологическое исследование рыб при воздействии тяжелых металлов и сырой нефти: автореф. дис..... канд. биолог. наук. / Н. М. Абдулаева. – Махачкала, 2007. – С. 24.
32. Ермаков В. В. Геохимическая экология Животных / В. В. Ермаков, С. Ф. Тютиков. – М.: Наука, 2008. – 315 с.
33. Зайцев В. Ф. Ртуть и кадмий в экосистеме Каспийского моря / В. Ф. Зайцев, Т. С. Ершова, В. А. Чаплыгин, А. С. Танасова // Современные методы исследования содержания тяжелых металлов в окружающей среде (Череповец, 14–16 мая 2018 г.): тезисы Всероссийской научной конференции и школы-семинара для молодых ученых, аспирантов и студентов. – Череповец: Череповецкий гос. ун-т, 2018. – 78 с.

MONITORING THE CONCENTRATION OF SOME HEAVY METALS IN THE BODY OF FISH OF THE GOBIIIDAE FAMILY

Chaplygin V. A.¹, Khursanov A. S.¹, Ershova T. S.², Zaitsev V. F.²

¹*The Volga-Caspian branch of the fgbi "VNIRO" ("CaspNIRKh"), Astrakhan, Russia*

²*Astrakhan state technical university, Astrakhan, Russia*

E-mail: ershova_ts@mail.ru

Heavy metals are one of the main pollutants of the Caspian sea water. The increase in their concentrations in seawater is primarily due to the exploration and production of

hydrocarbons. In addition, sources of heavy metals are river runoff containing industrial waste water. Various types of gobies are an important part of the Caspian sea ecosystem, as they serve as food for such valuable fish species as Russian and Persian sturgeon. The objects of the study were three species of the Gobiidae family (*Benthophilus macrocephalus*, *Neogobius fluviatilis* and *Neogobius caspius*) caught in the Northern and middle parts of the Caspian sea during various expeditions in the period 2013–2019. Determination of copper, manganese, cobalt, lead, and copper in members of the Gobiidae family. it was performed by atomic absorption spectrometry. The concentration of chemical elements was expressed in mg/kg of dry matter.

Comparing the obtained average values of heavy metals in the body of the studied species of the family Gobiidae in 2019 with the data of S. A. Gutsulyak and L. M. Vasilyeva for 2010, an increase in the concentration of all the studied chemical elements in the objects of study, with the exception of cadmium, is shown. Thus, it was shown that the copper content in the fish body increased by about 5 times compared to 2010, but was still within the normal range (10 mg/kg). The concentration of manganese in the studied fish species in 2019 increased by 6 times compared to the data of S. A. Gutsulyak and L. M. Vasilyeva. Although these authors did not find in 2010 in the bulls they studied exceeding the permissible values, in our case, the excess of the DOC was 1.4 times.

The level of accumulation of cobalt and lead by the studied species of the Gobiidae family in 2019 compared to the corresponding values in 2010 is 2 times higher. The concentration of cobalt in bulls exceeded the permissible value (0.5 mg/kg) by 3 times, and the concentration of lead – by 8 times.

It is worth noting that the value of cadmium accumulation by the studied species of the Gobiidae family in 2019 did not differ from the data of S. A. Gutsulyak and L. M. Vasilyeva and was 0.5 ± 0.06 mg/kg of dry matter. At the same time, the concentration of cadmium in representatives of the Gobiidae family is 2.5 times higher.

The results of the research indicate that the content of heavy metals found in some species of the Gobiidae family has increased several times over the past 9 years. The danger is the fact that the studied fish species revealed excess of permissible residual concentrations of heavy metals (with the exception of copper). It is noted that *Benthophilus macrocephalus*, in comparison with other representatives of the Gobiidae family, is an accumulator of all the studied heavy metals.

Keywords: heavy metals, accumulation, starry goby, goby sandy, bull khvalynskoye Caspian sea.

References

1. Ivanov V. P. *Fish of the Caspian sea (systematics, biology, fishing)*, 224 (Astrakhan: AGTU publishing house, 2008). (in Russ.).
2. Ivanov V. P. We understand how responsible we are for the fate of the Caspian sea – a unique reservoir. *Bulletin Of The Caspian Sea*, **4**, 70 (2001). (in Russ.).
3. Ostrovskaya E. V., Brekhovskikh V. F., Volkova Z. V., Monakhov S. K., Kurapov A. A., Kocharyan A. G. Heavy metals in the Volga Delta – North Caspian system, *South of Russia: ecology, development*, **4**, 133 (2008). (in Russ.).
4. Chuiko E. V., Abdusamadov A. S. Features of heavy metal migration in the ecosystem of the Northern Caspian sea. *South of Russia: ecology, development*, **3**, 110 (2013). (in Russ.).

5. Gutsulyak S. A., Vasilyeva L. M. Content of heavy metals in the body of bovids in the Russian zone of the Northern Caspian sea. *Technologies of food and processing industry of the agro-industrial complex-healthy food products*, **2**, 19 (2016). (in Russ.).
6. Ostrovskaya E. V., Brekhovskikh V. F., Volkova Z. V. *Pollutants in the waters of the Volga-Caspian Basin*, 236 (Astrakhan: Roman V. Sorokin, 2017). (in Russ.).
7. Khuraskin L. S., Zakharova N. A., Kuznetsov V. V., Chernook V. I., Sokolsky A. F. Estimation of the number of seals in the Caspian sea. *Modern problems of the Caspian sea: materials of the International conference*, 358 (Astrakhan: KaspNIRKh, 2001). (in Russ.).
8. Zakharova N. A., Kuznetsov V. V., Valedskaya O. M. Assessment of the state of the seal population in the Caspian sea and its production forecast for 2007. *Fisheries research in the Caspian sea*, 389 (Astrakhan: Kaspnirka publishing house, 2007). (in Russ.).
9. Golovinsky V. S., Ivakhnyuk G. K. Oil as a source of pollution of the shelf waters by heavy metals. *Problems of risk management in the technosphere*, **4**, 124 (2009). (in Russ.).
10. Kiryanov S. V., Afanasyeva N. A. Influence of the Volga runoff on the state of pollution of the Northern Caspian sea. *Meteorology and hydrology*, **6**, 114 (1992). (in Russ.).
11. Zubkova V. M., Bolotov V. P., Belozubova N. Yu. Content and migration of heavy metals in components of ecosystems of the Volgograd reservoir, *Agrarian science*, **1**, 14 (2015). (in Russ.).
12. Lisitsyn A. P., Demina L. L., Gordeev V. V. *Biogeochemistry of the ocean*, 368 (Moscow: Science, 1983). (in Russ.).
13. Voynar A. I. *Biological role of microelements in the body of animals and humans*, 544 (Moscow: Higher school, 1960). (in Russ.).
14. Vorobyov V. I., Zaitsev V. F., Shcherbakova E. N. *Biogenic migration of heavy metals in the body of Russian sturgeon*, 116 (Astrakhan: Publishing house of LLC "TSNTEP", 2007). (in Russ.).
15. Spry D. J., Wiener T. G. Metal bioavailability and toxicity to fish from low-alkalinity lakes: a critical review, *Environ. Pollut.*, **71**(2), 243 (1991).
16. Moiseenko T. I., Kudryavtseva L. P., Gashkina N. A. *Scattered elements in surface waters of the land: Technophilicity, bioaccumulation and ecotoxicology*, 261 (Moscow: Science, 2006). (in Russ.).
17. Kovekovdova L. T. *Microelements in marine commercial objects of the Russian far East*: Diss. ... dock. Biol. Sciences: 03.02.08 ecology, 307 (Vladivostok, 2011). (in Russ.).
18. Davydova O. A., Klimov E. S., Vaganova E. S., Vaganov A. S. *Influence of physical and chemical factors on the content of heavy metals in water ecosystems*, 167 (Ulyanovsk: UISTU, 2014). (in Russ.).
19. Zaitsev V. F., Ershova T. S., Chaplygin V. A., Tanasova A. S., Nikolenkov A. A. The content of some metals in the links of the trophic network of the Caspian sea. *X international biogeochemical school "Modern problems of the state and biogeochemical evolution of biosphere taxa", dedicated to the 70th anniversary of geohi RAS: abstracts*, 198 (M.: GEOKHI RAN, 2007). (in Russ.).
20. Molodtsova A. I., Polyandinova A. A. Nutrition of sturgeon, sturgeon and Beluga in the Caspian sea, *Vopr. rybolovstva*, **4** (40), 718 (2009). (in Russ.).
21. Tikhonova E. Yu. Features of the Russian and Persian sturgeon nutrition in the Northern Caspian sea Tikhonova E. Yu. *Fisheries reservoirs of Russia - fundamental and applied research: materials of the international journal*, 738. (2014). (in Russ.).
22. Price V. *Analytical atomic absorption spectrometry*, 355 (Moscow: Mir, 1976). (in Russ.).
23. Britske M. E. *Atomic adsorption spectrochemical analysis: monograph*, 223 (M.: Chemistry, 1982). (in Russ.).
24. Lakin G. F. *Biometrics*, 7 (Moscow: Higher school, 1967). (in Russ.).
25. Lakin G. F. *Biometrics: A textbook for biological specialists. Higher education institutions*, 293 (Moscow: Higher school, 1980). (in Russ.).
26. Plokhinsky N. A. *Algorithms of biometrics*, 35 (Moscow: MSU, 1980). (in Russ.).
27. Plokhinsky N. A. *Biometrics*, 3 (Moscow: Prosveshchenie, 1981). (in Russ.).
28. Vinogradov A. P. *Chemical elementary composition of sea organisms*, 620 (Moscow: Science, 2001). (in Russ.).
29. Zaitsev V. F., Chaplygin V. A., Ershova T. S. Biogeochemical features of element accumulation in hydrobionts of different ecological groups of the Caspian sea. *XII Congress of the Hydrobiological society of the Russian Academy of Sciences: abstracts (Petrozavodsk, September 16 – September 20, 2019)*, 575 (Petrozavodsk: KarNTS RAN, 2019). (in Russ.).

30. Popov P. A. *Evaluation of the ecological status of water bodies methods of actionialis monograph*, 270 (Novosibirsk: Novosibirsk publishing house. state University, 2002). (in Russ.).
31. Abdulaeva N. M. *Cytohematological study of fish under the influence of heavy metals and crude oil*, 24 (Makhachkala, 2007). (in Russ.).
32. Ermakov V. V., Tyutikov S. F. *Geochemical ecology of Animals*, 315 (Moscow: Science, 2008). (in Russ.).
33. Zaitsev V. F., Ershova T. S., Chaplygin V. A., Tanasova A. S. Mercury and cadmium in the ecosystem of the Caspian sea. *Modern methods for studying the content of heavy metals in the environment: Abstracts of the all-Russian scientific conference and school-seminar for young scientists, postgraduates and students (Cherepovets, may 14-16, 2018)*, 78 (Cherepovets: Cherepovets state University. UN-t, 2018). (in Russ.).

УДК 57.084.1

DOI 10.37279/2413-1725-2020-6-4-175-196

ДОЗОЗАВИСИМЫЕ КАРДИОТРОПНЫЕ ЭФФЕКТЫ АЦЕТИЛСАЛИЦИЛАТОВ

**Чуян Е. Н., Миронюк И. С., Раваева М. Ю., Чертаев И. В., Гришина Т. В.,
Аблаева Р. Н.**

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

В работе исследовалось действие ацетилсалициловой кислоты и ее комплексных соединений с металлами кобальта (Co^{2+}), цинка (Zn^{2+}), никеля (Ni^{2+}) и марганца (Mn^{2+}) в дозах 5, 10 и 20 мг/кг на показатели кардиореспираторной системы крыс. Показано, что в процессе комплексообразования ацетилсалициловой кислоты с биметаллами отмечается не только усиление или ослабление определенных эффектов, свойственных молекуле предшественнице – ацетилсалициловой кислоте, но и появление новых свойств, проявление которых дозозависимо.

Ключевые слова: ацетилсалициловая кислота, координационные соединения ацетилсалицилатов, показатели кардиореспираторной системы, дозозависимые эффекты.

ВВЕДЕНИЕ

Распространенной проблемой современности являются патологии сердечно-сосудистой системы (ССС), что предопределяет необходимость, как поиска новых эффективных лекарственных средств, так и возможность использования традиционных терапевтических препаратов при условии повышения их эффективности на фоне снижения нежелательного побочного действия. Несмотря на более, чем 100-летнюю историю использования, перспективным остается создание новых лекарственных средств на основе ацетилсалициловой кислоты (АСК; 2-ацетилоксибензойная кислота, $C_9H_8O_4$ или $CH_3COOC_6H_4COOH$), лишённых её отрицательных побочных эффектов [1, 2]. Аспирин, эффективность и безопасность которого подтверждены многочисленными контролируруемыми исследованиями и метаанализами, на сегодняшний день рассматривается в качестве «золотого стандарта» профилактики и терапии сердечно – сосудистых заболеваний: ишемической болезни сердца, хронической сердечной недостаточности, гипертонии и других [3–6].

Однако, наряду с положительными терапевтическими эффектами, АСК занимает лидирующее положение не только по объёмам применения, но и совокупному количеству побочных эффектов, среди которых негативные воздействия на иммунную и пищеварительную системы, кожу и подкожные ткани [7].

По мнению ряда авторов, перспективным способом для уменьшения побочных эффектов и увеличения эффективности АСК является создание на ее основе комплексных соединений, в частности, с двухвалентными металлами [1, 8–11].

В наших исследованиях показано, что ацетилсалицилаты металлов, имеющие в составе комплексообразователи Co^{2+} , Zn^{2+} , Mn^{2+} и Ni^{2+} обладают не только более выраженными, но зачастую и качественно новыми по сравнению с АСК кардиотропными эффектами. При этом выраженность развивающегося эффекта зависит не только от входящего в комплексное соединение с АСК биметалла, но и от действующей дозы тестируемых соединений [12] Следует отметить, что ни одна другая проблема в исследованиях АСК не обсуждалась в научной литературе так интенсивно, как вопрос о её оптимальной дозе [13–16].

Поэтому, учитывая перспективность исследования биологических эффектов комплексных соединений АСК с металлами, актуальным является установление дозовой зависимости действия ацетилсалицилатов на кардиореспираторную систему (КРС).

В связи с этим целью настоящего исследования явилось сравнение эффектов ацетилсалицилатов ACCo^{2+} , ACZn^{2+} , ACNi^{2+} и ACMn^{2+} на показатели КРС крыс в разных дозах: 5 мг/кг, 10 мг/кг и 20 мг/кг.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Исследование проводилось на базе Центра коллективного пользования научным оборудованием «Экспериментальная физиология и биофизика» кафедры физиологии человека и животных и биофизики КФУ имени В. И. Вернадского.

Для эксперимента отбирали здоровых половозрелых самцов лабораторных крыс массой 180–200 г. линии Вистар («ФГУП «Питомник лабораторных животных «Рапполово»), прошедших карантин не менее 14 дней. Животных содержали в стандартных условиях вивария при температуре 18–22 °С на подстиле «Рехофикс МК 2000» (на основе початков кукурузы) с естественным 12-часовым светотемновым циклом, свободным доступом к воде (ГОСТ 33215-2014 «Руководство по содержанию и уходу за лабораторными животными. Правила оборудования помещений и организации процедур») и полноценному гранулированному корму ГОСТ Р-50258-92.

Экспериментальные исследования проводились на 160 крысах, характеризующихся средней двигательной активностью и низкой эмоциональностью в тесте «открытого поля» [17], которые составляют большинство в популяции, и поэтому у них развивается наиболее типичная реакция на действие различных факторов [18], в том числе и химических соединений.

Тестируемые вещества были синтезированы на кафедре общей и неорганической химии факультета биологии и химии Таврической академии ФГАОУ «Крымский федеральный университет им. В. И. Вернадского» под руководством проф. Гусева А. Н. (химическая чистота составляла не менее 98,0 %).

Исследования кардиотропных эффектов АСК и ее соединений с катионами кобальта, цинка, никеля и марганца проводили в дозах 5 мг/кг, 10 мг/кг и 20 мг/кг.

Выбор тестируемых доз обусловлен следующим. Эффективность АСК для лечения и профилактики сердечно – сосудистых заболеваний человека была установлена для широкого диапазона доз – от 30–50 до 1500 мг/сутки [13]. В настоящее время достаточной для длительного применения у людей признана доза АСК 75–100 мг/сутки; при неотложных клинических состояниях, таких как острый коронарный синдром или острый ишемический инсульт, показано использование нагрузочной дозы 160–325 мг [19]

Применив коэффициенты пересчета доз для человека и крыс [20], определили, что профилактической дозе соответствует доза 5 мг/кг для крыс массой 180–200 г., терапевтической – 10 мг/кг, а однократной (нагрузочной) дозе – 20 мг/кг. При исследовании острой токсичности тестируемых соединений показано, что ЛД₂₀, при которой наблюдалась первая смертность животных для АСК составила 500 мг/кг, АССо²⁺ – 30 мг/кг, для АСZn²⁺ – 230 мг/кг, для АСNi²⁺ – 30 мг/кг, для АСMn²⁺ – 380 мг/кг. Следовательно, применяемые в исследовании дозы значительно меньше токсических.

Для исследования животных после предварительного отбора разделили на 16 групп по 10 крыс в каждой.

1 группа – контрольная (К) – животные, которым производились внутрибрюшинные инъекции физиологического раствора (NaCl, 0,9 %), объем 0,2 мл;

2 – 4 группы – животные, которым производились внутрибрюшинные инъекции (АСК) в дозах 5, 10 и 20 мг/кг, объем 0,2 мл;

5 – 7 группы – животные, которым производились внутрибрюшинные инъекции АССо²⁺ в дозах 5, 10 и 20 мг/кг, объем 0,2 мл;

8 – 10 группы – животные, которым производились внутрибрюшинные инъекции АСZn²⁺ в дозах 5, 10 и 20 мг/кг, объем 0,2 мл;

11 – 13 группы – животные, которым производились внутрибрюшинные инъекции АСNi²⁺ в дозах 5 мг/кг, 10 мг/кг и 20 мг/кг, объем 0,2 мл;

14 – 16 группы – животные, которым производились внутрибрюшинные инъекции АСMn²⁺ в дозах 5, 10 и 20 мг/кг, объем 0,2 мл.

Биоскрининг ацетилсалицилатов проводился через 20 минут после внутрибрюшинного введения соединений в указанных концентрациях, поскольку в этот период наблюдается максимальная их концентрация в крови [21].

У животных всех групп с помощью системы NIBP200A («Biorac Systems, Inc.», США) регистрировали следующие показатели: частоту сердечных сокращений (ЧСС); систолическое артериальное давление (САД); диастолическое артериальное давление (ДАД); частоту дыхания (ЧД). После регистрации рассчитывали пульсовое артериальное давление (ПАД) (разница показателей САД и ДАД).

Следует отметить, что САД, ДАД, ПАД, ЧСС, ЧД служат важными показателями функционального состояния всей КРС и деятельности сердца в определенный период времени и являются одними из основных биомаркеров состояния организма в целом.

АД и ЧСС регистрировали с хвостовой артерии путем наложения манжеты на основание хвоста животного. Для записи ЧД датчик фиксировался на область грудной клетки. При регистрации показателей животные помещались в

индивидуальный пенал и переносились в камеру Вiorас с поддерживаемой постоянной температурой 33 °С для создания комфортных условий для животного.

Запись показателей проводилась в течение 5 минут от момента стабилизации сигналов от датчиков. Этого времени достаточно для 5-тикратного измерения АД, при этом ЧСС и ЧД регистрировались непрерывно. Запись и обработка данных производилась на компьютере с помощью программы «Acq Knowledge 4.2 for MP150» (рис. 1).

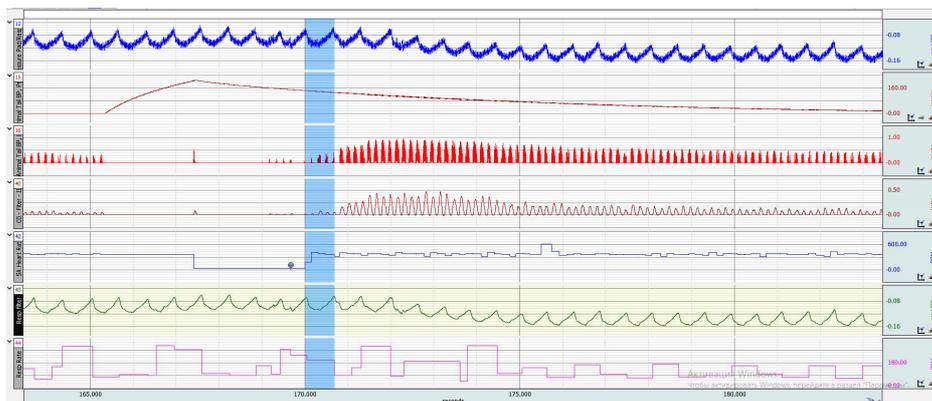


Рис. 1. Пример записи показателей сердечно-сосудистой системы (АД, ЧСС и ЧД) крыс при действии АСЗn²⁺ в дозе 10 мг/кг с помощью программы «Acq Knowledge 4.2 for MP150».

Расчеты, статистическая обработка и графическое оформление полученных в работе данных проводились с использованием программы Microsoft Excel и программного пакета StatSoft\STATISTICA 8. Применялись непараметрические методы статистики, поскольку распределение значений переменных отличалось от нормального. Достоверность статистических различий между контрольной (внутрибрюшинное введение физиологического раствора) и экспериментальными группами с различными дозами введения ацетилсалициловой кислоты и ацетилсалицилатов АССо²⁺, АСЗn²⁺, АСNi²⁺ и АСMn²⁺ (5, 10 и 20 мг/кг) определяли с помощью критерия Манна-Уитни.

Для анализа эффективности биологического действия соединений АСК с металлами по сравнению с молекулой предшественницей (АСК) проводился расчет коэффициента эффективности (КЭ) по формуле:

$$КЭ = (АС_{мет.} - АСК) / АСК, \quad (1)$$

где АС_{мет.} – показатели кардиореспираторной системы, зарегистрированные у животных при введении ацетилсалицилатов Со²⁺, Zn²⁺, Ni²⁺, Mn²⁺ (средние значения измерений в каждой экспериментальной группе); АСК – показатели кардиореспираторной системы, зарегистрированные у животных при введении ацетилсалициловой кислоты (средние значения измерений во 2, 3, 4-ой экспериментальных группах).

КЭ равен нулю, если эффективность тестируемого соединения ($АС_{мет.}$) в отношении регистрируемого показателя соответствует таковой для АСК в той же концентрации; имеет положительное значение, если значение регистрируемого показателя тестируемого соединения ($АС_{мет.}$) превосходит значение такового при введении АСК в той же концентрации; имеет отрицательное значение, если значение регистрируемого показателя тестируемого соединения ($АС_{мет.}$) меньше, чем значение данного показателя при введении АСК в той же концентрации.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Как показали проведенные исследования, у животных контрольной группы при введении физиологического раствора исследуемые показатели КРС находились в пределах физиологической нормы: САД – $115,79 \pm 1,23$ мм. рт. ст.; ДАД – $71,57 \pm 0,95$ мм. рт. ст.; ЧСС – $414,50 \pm 7,95$ ударов в минуту; ЧД – $107,72 \pm 2,13$ в минуту, что согласуется с результатами других экспериментальных исследований [21–24].

Показатели кардиореспираторной системы у животных при действии ацетилсалициловой кислоты.

Введение АСК крысам в дозах 5, 10 и 20 мг/кг приводило к достоверному снижению ЧСС на 12,72 % ($p \leq 0,05$), 12,65 % ($p \leq 0,05$) и 14,33 % ($p \leq 0,05$) соответственно по отношению к таковой в контрольной группе животных (рис. 2), что согласуется с нашими данными предыдущих исследований [12]. При этом достоверных различий между значениями ЧСС у крыс 2 – 4 групп не наблюдалось.

При введении животным АСК в дозах 5 и 10 мг/кг не было отмечено достоверных изменений показателей АД, однако введение АСК в дозе 20 мг/кг привело к достоверному увеличению САД на 8,76 % ($p \leq 0,05$) на фоне снижения ДАД на 6,31 % ($p \leq 0,05$), и, как следствие, к увеличению ПАД на 23,87 % ($p \leq 0,05$) по отношению к значениям этих показателей в контрольной группе животных (см. рис. 2). При этом значение САД было на 10,9 % ($p \leq 0,05$) и на 7,9 % ($p \leq 0,05$) выше по сравнению с таковыми, регистрируемыми при введении животным АСК в дозах 5 и 10 мг/кг соответственно. Значение ДАД у животных, которым вводили АСК в дозе 20 мг/кг, напротив, оказалось достоверно ниже относительно такового при использовании АСК в дозе 10 мг/кг на 7,7 % ($p \leq 0,05$), а ПАД достоверно выше относительно значения этого показателя при использовании АСК 5 мг/кг на 33,17 % ($p \leq 0,05$) и АСК 10 мг/кг на 24,33 % ($p \leq 0,05$) (см. рис. 2).

Статистически значимых изменений ЧД при введении животным АСК в исследуемых дозах не наблюдалось (см. рис. 2).

Таким образом, введение животным АСК в тестируемых дозах привело к снижению ЧСС, т.е. к развитию брадикардии, а в дозе 20 мг/кг – к изменению показателей АД.

Показатели кардиореспираторной системы у животных при действии ацетилсалицилата кобальта.

Аналогично действию АСК при введении животным $АССо^{2+}$ в дозах 5, 10 и 20 мг/кг ЧСС снизилась на 6,72 % ($p \leq 0,05$), 6,56 % ($p \leq 0,05$) и 24,65 % ($p \leq 0,05$) соответственно по отношению к таковой в контрольной группе животных. Причем,

при инъекции $АССо^{2+}$ в дозе 20 мг/кг этот показатель снизился в среднем на 15,04 % ($p < 0,05$) больше, чем в дозах 5 и 10 мг/кг (рис. 3).

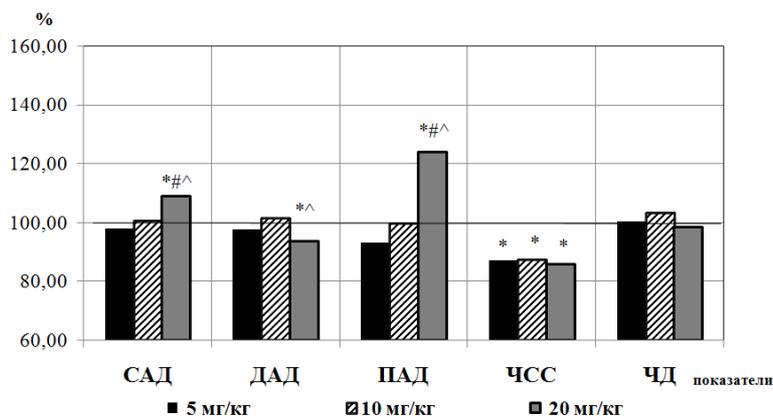


Рис. 2. Изменения показателей кардиореспираторной системы при действии ацетилсалициловой кислоты в концентрациях 5, 10 и 20 мг/кг (в % относительно значений в контрольной группе животных, принятых за 100 %).

Примечание: САД – систолическое артериальное давление; ДАД – диастолическое артериальное давление; ЧСС – частота сердечных сокращений; ЧД – частота дыхания.

* – уровень достоверности различий по критерию Манна-Уитни относительно значений показателей в контроле;

– уровень достоверности различий по критерию Манна-Уитни между значениями показателей у животных, которым вводилось тестируемое вещество в дозах 5 и 20 мг/кг.

^ – уровень достоверности различий по критерию Манна-Уитни между значениями показателей у животных, которым вводилось тестируемое вещество в дозах 10 и 20 мг/кг.

+ – уровень достоверности различий по критерию Манна-Уитни между значениями показателей у животных, которым вводилось тестируемое вещество в дозах 5 и 10 мг/кг.

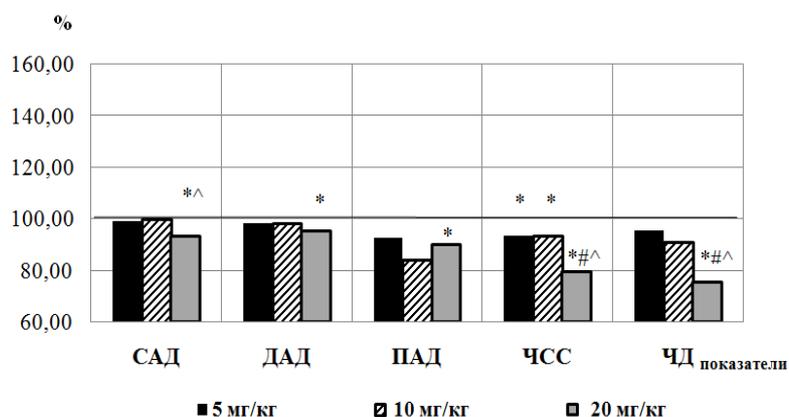


Рис. 3. Изменения показателей кардиореспираторной системы при действии ацетилсалицилата кобальта ($АССо^{2+}$) в концентрации 5 и 10 и 20 мг/кг (в % относительно значений в контрольной группе животных, принятых за 100 %).

Примечание: те же, что на рис. 1.

В отличие от АСК, введение животным АССо^{2+} в дозах 5 и 10 мг/кг вызывало менее выраженное уменьшение ЧСС, о чем свидетельствует положительный КЭ, а в дозе 20 мг/кг – более выраженное (на 7,42 % ($p \leq 0,05$)), чем при АСК в той же дозе, что демонстрирует отрицательный КЭ (рис. 4-А).

Аналогично с АСК, статистически значимых изменений показателей АД при введении животным АССо^{2+} в дозах 5 мг/кг и 10 мг/кг не наблюдалось. Однако при введении АССо^{2+} в дозе 20 мг/кг отмечено снижение САД на 6,77 % ($p \leq 0,05$), ДАД на 4,66 % ($p \leq 0,05$), ПАД на 10,16 % ($p \leq 0,05$) относительно значений этих показателей в контрольной группе животных (см. рис. 3). Следует отметить, что введение АССо^{2+} в дозе 20 мг/кг привело к однонаправленному с АСК той же концентрации снижению ДАД, о чем свидетельствует КЭ, близкий к нулю, однако противоположной реакции со стороны САД, которое снизилось у животных этой группы и составило 85,72 % ($p \leq 0,05$) от значения этого показателя у животных, которым вводили АСК 20 мг/кг, о чем свидетельствует отрицательный КЭ (см. рис. 4-Б, В). Следствием этого явилось и снижение ПАД у животных этой группы в отличие от его повышения при использовании АСК той же дозы. Поэтому ПАД у крыс, которым вводили АССо^{2+} в дозе 20 мг/кг стал ниже этого показателя у животных 4-ой группы (АСК 20 мг/кг) на 27,46 % ($p \leq 0,05$).

В отличие от АСК, введение АССо^{2+} в дозе 10 мг/кг вызвало тенденцию к снижению, а в дозе 20 мг/кг статистически значимому снижению ЧД у крыс на 24,65 % ($p \leq 0,05$) по отношению к значениям этого показателя в контрольной группе (см. рис. 3). По сравнению с АСК, при введении крысам АССо^{2+} в дозах 10 и 20 мг/кг ЧД была меньше на 11,78 % ($p \leq 0,05$) и 23,32 % ($p \leq 0,05$), чем при введении АСК в тех же дозах, что отражено в отрицательных значениях коэффициента эффективности (см. рис. 4-Г).

Отмечены и достоверные дозовые различия: снижение ЧД у животных при введении АССо^{2+} в дозе 20 мг/кг было выражено на 21,22 % ($p \leq 0,05$) и на 17,32 % ($p \leq 0,05$) больше по сравнению со значениями ЧД при введении животным тестируемое соединение в дозах 5 и 10 мг/кг (см. рис. 3).

Таким образом, АССо^{2+} в дозах 5 и 10 мг/кг уменьшает отрицательный хронотропный эффект, характерный для АСК, а в дозе 20 мг/кг, наоборот, его усиливает. Кроме того, увеличение концентрации АССо^{2+} до 20 мг/кг приводит к достоверному снижению САД, ДАД, ПАД, ЧД, чего не наблюдалось в меньших дозах этого вещества. Данный эффект не характерен и для АСК той же концентрации.

Показатели кардиореспираторной системы у животных при действии ацетилсалицилата цинка.

При введении животным АСЗп^{2+} в дозах 5, 10 и 20 мг/кг, аналогично с АСК, ЧСС снизилась на 9,32 % ($p \leq 0,05$), 14,04 % ($p \leq 0,05$) и 16,82 % ($p \leq 0,05$) соответственно по отношению к значениям этого показателя в контрольной группе животных (рис. 5). Однако в отличие от АСК, введение животным АСЗп^{2+} вызывало дозозависимое уменьшение ЧСС: в дозе 10 мг/кг ЧСС снизилась на 5,21 % ($p \leq 0,05$) больше, чем при введении животным тестируемое соединение в дозе 5 мг/кг, а в дозе 20 мг/кг значение этого показателя снизилось на 8,28 % ($p \leq 0,05$) больше по сравнению с таковым при введении животным тестируемое соединение в дозе

5 мг/кг (см. рис. 5). Следовательно, с увеличением вводимой животным дозы $ACZn^{2+}$ отрицательный хронотропный эффект возрастал. При этом статистически значимых различий между значениями этого показателя у животных, которым вводили $ACZn^{2+}$ и АСК в тех же дозах не наблюдалось, о чем свидетельствует КЭ, близкий к нулю (см. рис. 4-А).

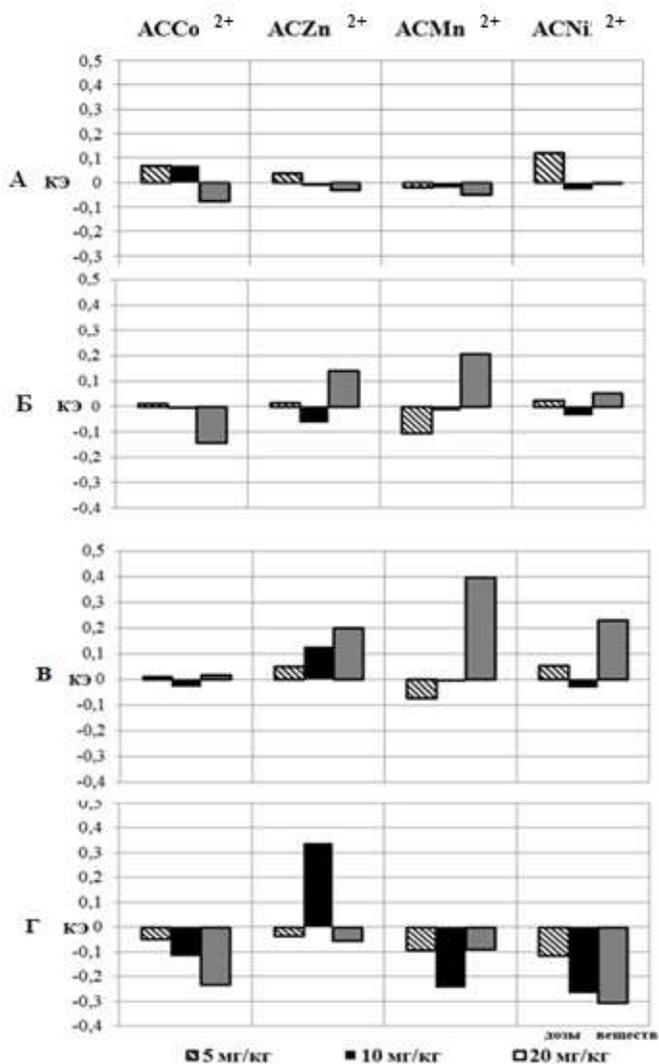


Рис. 4. Коэффициенты эффективности (КЭ) показателей кардиореспираторной системы: частоты сердечных сокращений (А), систолического артериального давления (Б), диастолического артериального давления (В) и частоты дыхания (Г), зарегистрированные у животных при введении ацетилсалицилатов Co^{2+} , Zn^{2+} , Ni^{2+} и Mn^{2+} в дозах 5, 10 и 20 мг/кг в сравнении со значениями этих показателей у животных при введении ацетилсалициловой кислоты в тех же дозах.

Аналогично АСК и АССо²⁺, статистически значимых изменений показателей АД при введении животным АСЗn²⁺ в дозе 5 мг/кг не наблюдалось относительно этих значений контрольной группы животных (см. рис. 5). Однако при введении животным АСЗn²⁺ в дозе 10 мг/кг отмечено снижение САД на 5,63 % (p≤0,05) на фоне увеличения ДАД на 14,35 % (p≤0,05), что привело к уменьшению ПАД на 37,27 % (p≤0,05) относительно значений исследуемых показателей у животных контрольной группы (см. рис. 5).

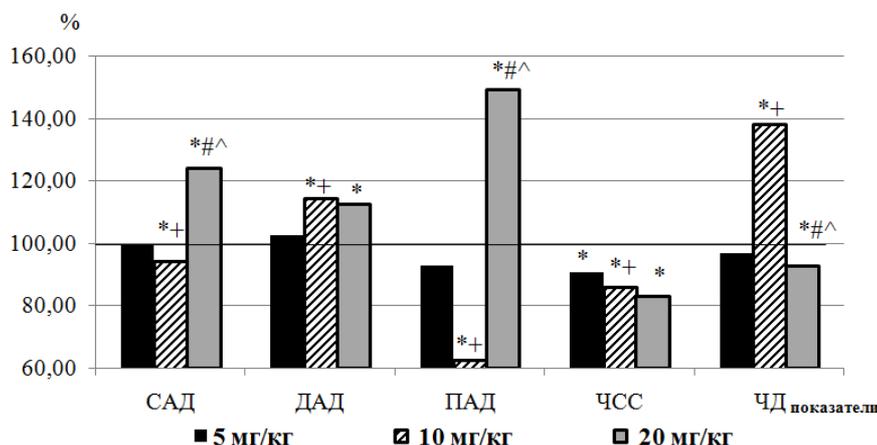


Рис. 5. Изменения показателей кардиореспираторной системы при действии ацетилсалицилата цинка (АСЗn²⁺) в концентрации 5, 10 и 20 мг/кг (в % относительно значений в контрольной группе животных, принятых за 100 %).

Примечание: те же, что на рис. 1

Следует отметить, что показатели системного АД изменялись в большей степени при введении АСЗn²⁺ в дозе 20 мг/кг: увеличение САД на 23,98 % (p≤0,05), ДАД на 12,35 % (p≤0,05) и, как следствие, выраженное увеличение ПАД на 49,33 % (p≤0,05) относительно значений исследуемых показателей у животных контрольной группы (см. рис. 5). При этом САД у животных этой группы было на 24,62 % (p≤0,05) и на 31,37 % (p≤0,05), ПАД на 60,98 % (p≤0,05) и на 138,00 % (p≤0,05) выше, чем значения этих показателей у крыс, которым вводили тестируемое соединение в дозах 5 и 10 мг/кг соответственно (см. рис. 5). Увеличение ДАД у животных, которым вводили АСЗn²⁺ также имело дозозависимость. Так, в дозе вещества 10 мг/кг увеличение ДАД было на 11,5 % (p≤0,05) больше, чем при введении животным тестируемое соединение в дозе 5 мг/кг, а в дозе 20 мг/кг рост ДАД был на 9,62 % (p≤0,05) больше, чем в дозе 5 мг/кг данного тестируемого соединения (см. рис. 5).

В ходе исследования зарегистрированы и определенные отличия изменения показателей АД при введении крысам АСЗn²⁺ и АСК. В частности, аналогично с АССо²⁺, статистически значимых изменений показателей АД при введении животным АСЗn²⁺ в дозе 5 мг/кг не наблюдалось относительно значений этих показателей 2-ой группы животных (АСК 5 мг/кг). Однако при введении АСЗn²⁺ в

дозе 10 мг/кг наблюдалось достоверное изменение исследуемых показателей АД: снижение САД на 6,33 % ($p \leq 0,05$), ПАД на 37,03 % ($p \leq 0,05$) и увеличение ДАД на 12,70 % ($p \leq 0,05$) относительно значений этих показателей при использовании АСК 10 мг/кг, что отражено в отрицательном значении коэффициента эффективности для САД и положительном для ДАД (см. рис. 4-Б, В).

Введение животным $АСZn^{2+}$ в дозе 20 мг/кг привело к однонаправленному с АСК той же концентрации, однако выраженному на 13,99 % ($p \leq 0,05$) больше, увеличению САД, о чем свидетельствует положительный КЭ (см. рис. 4-Б). Однако зарегистрирована противоположная относительно АСК и $АСCo^{2+}$ той же концентрации реакция со стороны ДАД, которое увеличилось у животных этой группы и составило 119,92 % ($p \leq 0,05$) относительно значения этого показателя у животных, которым вводили АСК 20 мг/кг, о чем свидетельствует положительный КЭ (см. рис. 3-В). Следствием этого явилось и увеличение ПАД у животных этой группы, которое на 20,55 % ($p \leq 0,05$) превысило значение этого показателя у животных после инъекции АСК той же дозы.

Достоверных изменений ЧД у крыс при введении $АСZn^{2+}$ в дозе 5 мг/кг не наблюдалось по отношению к значениям контрольной группы животных (см. рис. 5). Однако при введении $АСZn^{2+}$ в дозе 10 мг/кг отмечено выраженное увеличение ЧД на 38,17 % ($p \leq 0,05$), а в дозе 20 мг/кг, напротив, снижение этого показателя на 7,25 % ($p \leq 0,05$) по отношению к значениям этого показателя в контрольной группе животных (см. рис. 5). При этом значение ЧД у животных при введении $АСZn^{2+}$ в дозе 10 мг/кг было на 42,78 % ($p \leq 0,05$) и 48,97 % ($p \leq 0,05$) выше по сравнению с таковыми при введении животным тестируемого соединения в дозах 5 и 20 мг/кг соответственно (см. рис. 5).

По сравнению с АСК статистически значимых изменений показателя ЧД при введении $АСZn^{2+}$ в дозах 5 мг/кг и 20 мг/кг не наблюдалось, о чем свидетельствует КЭ, близкий к нулю. Однако при введении крысам $АСZn^{2+}$ в дозе 10 мг/кг ЧД была больше на 33,75 % ($p \leq 0,05$), чем при введении АСК в той же дозе, что отражено в положительном КЭ (см. рис. 4-Г).

Таким образом, введение животным $АСZn^{2+}$ в тестируемых дозах вызывает отрицательный хронотропный эффект, характерный для АСК. Однако в отличие от АСК, $АСZn^{2+}$ в дозе 10 мг/кг приводит к снижению САД на фоне увеличения ДАД и значительному росту ЧД. $АСZn^{2+}$ в дозе 20 мг/кг вызывает более выраженное, чем АСК увеличение САД и ПАД на фоне увеличения ДАД и снижения ЧД, не характерных для АСК той же концентрации.

Показатели кардиореспираторной системы у животных при действии ацетилсалицилата марганца.

При введении животным $АСMn^{2+}$ в дозах 5 и 10 мг/кг происходило достоверное снижение ЧСС в среднем на 14,56 % ($p \leq 0,05$), а в дозе 20 мг/кг на 18,59 % ($p \leq 0,05$) относительно значений этого показателя в контрольной группе животных (рис. 6). Таким образом, дозовой зависимости при изменении данного показателя не выявлено. Не наблюдалось и достоверных различий между значениями данного показателя при введении $АСMn^{2+}$ и АСК в тестируемых дозах, о чем свидетельствует КЭ, близкий к нулю (см. рис. 4-А).

При введении животным $АСMn^{2+}$ произошли дозозависимые изменения со стороны АД. Так, применение $АСMn^{2+}$ в дозе 5 мг/кг САД снизилось на 12,08 % ($p \leq 0,05$), ДАД на 9,63 % ($p \leq 0,05$), а ПАД на 16,21 % ($p \leq 0,05$) соответственно относительно значений этих показателей у животных контрольной группы (см. рис. 6). Статистически значимых изменений показателей АД при введении тестируемого соединения в дозе 10 мг/кг не наблюдалось по отношению к значениям в контрольной группе животных (см. рис. 6). При увеличении дозы $АСMn^{2+}$ до 20 мг/кг отмечено однонаправленное увеличение САД на 31,23 % ($p \leq 0,05$), ДАД на 30,94 % и ПАД на 31,76 % ($p \leq 0,05$) относительно значений исследуемых показателей у животных контрольной группы. При этом значения регистрируемых показателей АД у животных этой группы достоверно превышали таковые у крыс, которым вводили данное соединение в меньших дозах (см. рис. 6).

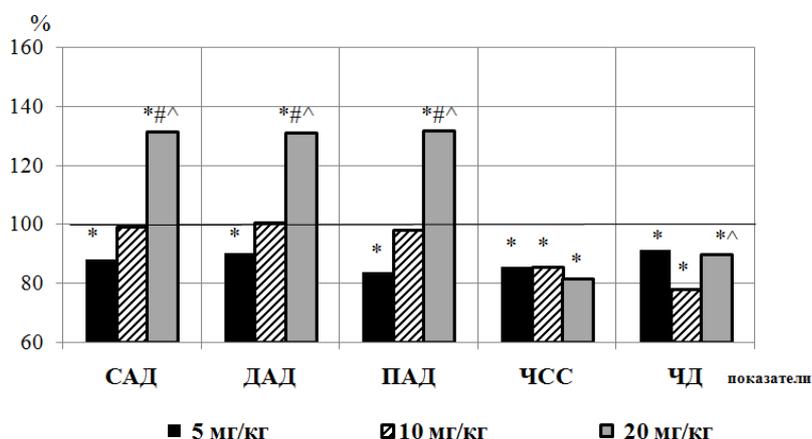


Рис. 6. Изменения показателей кардиореспираторной системы при действии ацетилсалицилата марганца ($АС Mn^{2+}$) в концентрации 5, 10 и 20 мг/кг (в % относительно значений в контрольной группе животных, принятых за 100 %).

Примечание: те же, что на рис. 1

Следует отметить, что введение крысам $АСMn^{2+}$ в дозе 5 мг/кг привело к снижению САД на 10,32 % ($p \leq 0,05$), ДАД на 7,33 % ($p \leq 0,05$) и ПАД на 9,92 % ($p \leq 0,05$) по отношению к значениям этих показателей у животных после введения АСК в той же дозе, о чем свидетельствует и отрицательный КЭ (см. рис. 4-Б, В). Значения показателей АД при применении $АСMn^{2+}$ в дозе 10 мг/кг достоверно не отличались от таковых у животных при введении АСК. Использование $АСMn^{2+}$ в дозе 20 мг/кг привело к однонаправленному с АСК в той же концентрации, но более значительному росту САД на 20,66 % ($p \leq 0,05$), противоположной реакции со стороны ДАД, которое существенно увеличилось у животных этой группы на 39,76 % ($p \leq 0,05$) относительно значения этого показателя у животных, которым вводили АСК 20 мг/кг (см. рис. 4-Б, В).

В отличие от АСК, введение животным АСМп²⁺ в дозах 5, 10 и 20 мг/кг вызвало снижение ЧД на 8,72 % ($p \leq 0,05$), на 22,14 % ($p \leq 0,05$) и на 10,46 % ($p \leq 0,05$) соответственно по отношению к значениям этого показателя в контрольной группе животных (см. рис. 6). Следовательно, АСМп²⁺ в дозе 10 мг/кг вызвал наиболее существенное снижение ЧД: на 14,70 % ($p \leq 0,05$) и на 13,04 % ($p \leq 0,05$) больше, чем в дозах 5 мг/кг и 20 мг/кг соответственно. В результате этого при введении крысам АСМп²⁺ в дозе 10 мг/кг ЧД была меньше на 24,64 % ($p \leq 0,05$), чем при введении АСК в той же дозе, что отражено в отрицательном значении коэффициента эффективности (см. рис. 4-Г).

Таким образом, введение животным АСМп²⁺ в тестируемых дозах вызывает отрицательный хронотропный эффект, характерный для АСК. Однако в отличие от АСК, АСМп²⁺ в дозе 5 мг/кг приводит к достоверному снижению значений САД, ДАД и ПАД, а в дозе 20 мг/кг, напротив, к их увеличению. В отличие от АСК, введение животным АСМп²⁺ во всех тестируемых дозах сопровождалось снижением значений ЧД относительно таковых в контрольной группе животных, а дозе 10 мг/кг достоверным уменьшением данного показателя относительно значений у животных, которым вводили АСК в той же дозе.

Показатели кардиореспираторной системы у животных при действии ацетилсалицилата никеля.

При введении животным АСNi²⁺ в дозе 5 мг/кг статистически значимых изменений ЧСС по отношению к значениям этого показателя в контрольной группе не наблюдалось. Однако при введении АСNi²⁺ в дозах 10 и 20 мг/кг зарегистрировано снижение ЧСС на 15,19 % ($p \leq 0,05$) и 14,15 % ($p \leq 0,05$) соответственно по отношению к значениям этого показателя в контрольной группе животных (рис. 7).

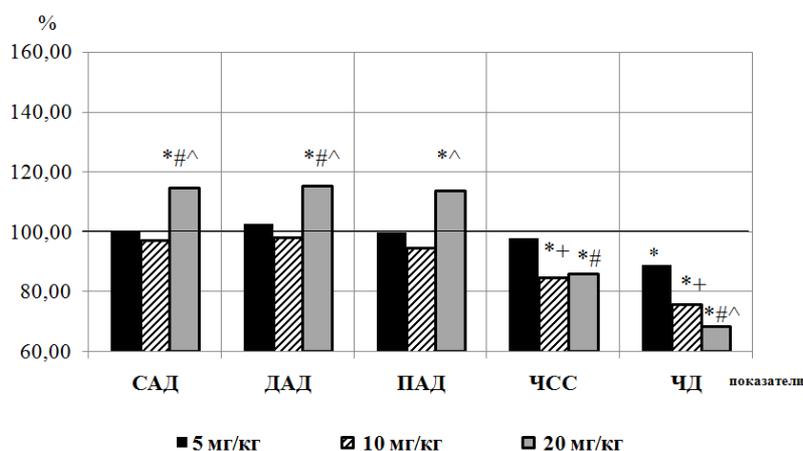


Рис. 7. Изменения показателей кардиореспираторной системы при действии ацетилсалицилата никеля (АСNi²⁺) в концентрации 5 и 10 и 20 мг/кг (в % относительно значений в контрольной группе животных, принятых за 100 %).

Примечание: те же, что на рис. 1

Следовательно, в отличие от АСК и других тестируемых ацетилсалицилатов, $АСNi^{2+}$ в дозе 5 мг/кг не вызвал снижение ЧСС, что визуальное демонстрирует и положительный КЭ этого вещества относительно АСК той же дозы (см. рис. 4-А).

Аналогично с АСК статистически значимых изменений показателей АД при введении животным $АСNi^{2+}$ в дозах 5 мг/кг и 10 мг/кг не наблюдалось (см. рис. 7). Однако при увеличении дозы $АСNi^{2+}$ до 20 мг/кг отмечено однонаправленное с АСК, но более выраженное увеличение САД на 14,52 % ($p \leq 0,05$) относительно значений в контроле. При этом зарегистрирована противоположная по сравнению с АСК реакция на тестируемое соединение со стороны ДАД, которое повысилось как относительно контрольных значений на 15,13 % ($p \leq 0,05$) (см. рис. 7), так и значений у крыс, которым вводили АСК на 22,88 % ($p \leq 0,05$) (см. рис. 4-В). ПАД возросло на 13,58 % ($p \leq 0,05$) по отношению к значениям контрольной группы животных (см. рис. 7), однако достоверных различий относительно значения этого показателя у животных, которым вводили АСК, не было, о чем свидетельствует и КЭ, близкий к нулю.

Введение животным $АСNi^{2+}$ в дозах 5 мг/кг, 10 мг/кг и 20 мг/кг сопровождалось снижением значений ЧД на 11,20 % ($p \leq 0,05$), 24,19 % ($p \leq 0,05$) и 31,74 % ($p \leq 0,05$) относительно значений данного показателя у животных контрольной группы (см. рис. 7). Причем, снижение ЧД при введении $АСNi^{2+}$ в дозе 10 мг/кг достоверно ниже по сравнению с таковой при введении животным данного соединения в дозе 5 мг/кг на 14,64 % ($p \leq 0,05$), а при введении $АСNi^{2+}$ в дозе 20 мг/кг ЧД достоверно ниже по сравнению с таковой при введении животным соединения в дозах 5 мг/кг на 23,14 % ($p \leq 0,05$) и 10 мг/кг на 9,96 % ($p \leq 0,05$) (см. рис. 7).

Следовательно, $АСNi^{2+}$ во всех тестируемых дозах, в отличие от АСК, вызывает снижение ЧД. В результате этого при введении крысам $АСNi^{2+}$ в дозах 5 мг/кг, 10 мг/кг и 20 мг/кг ЧД была меньше на 11,60 % ($p \leq 0,05$), 26,62 % ($p \leq 0,05$), 30,54 % ($p \leq 0,05$), чем при введении АСК в тех же дозах, что отражено в отрицательных значениях коэффициента эффективности (см. рис. 4-Г).

Таким образом, статистически значимых изменений ЧСС при введении животным $АСNi^{2+}$ в дозе 5 мг/кг не наблюдалось, но введение тестируемого соединения в дозах 10 мг/кг и 20 мг/кг привело к снижению ЧСС, аналогично с АСК и другими ацетилсалицилатами. Достоверные изменения показателей АД у животных зарегистрированы только при введении им $АСNi^{2+}$ в дозе 20 мг/кг, однако, в отличие от АСК, у животных этой группы ДАД повышалось. Следует также отметить, что снижение ЧД под влиянием $АСNi^{2+}$ отличает это соединение от АСК и выражено в большей степени, чем при использовании других исследуемых ацетилсалицилатов (см. рис. 4-Г).

Кардиопротекторные свойства аспирина и его производных реализуются через множество различных физиологических процессов, в частности, посредством влияния на основные показатели деятельности сердца [25–27].

Как показали проведенные исследования, внутрибрюшинное введение крысам линии Вистар АСК, соединений АСК с Co^{2+} , Zn^{2+} , Ni^{2+} и Mn^{2+} в дозах 5, 10 и 20 мг/кг привело к уменьшению ЧСС. Снижение ЧСС у крыс под влиянием АСК не зависело от дозы. Однако уменьшение этого показателя у животных других

экспериментальных групп было выражено по-разному и зависело как от биметалла, входящего в состав ацетилсалицилатов, так и от дозы тестируемых соединений. Наиболее выраженная брадикардия наблюдалась у животных под влиянием АССо²⁺ в дозе 20 мг/кг, при этом ЧСС была ниже на 24,65 % ($p \leq 0,05$) значений в контроле и на 7,42 % ($p \leq 0,05$) значений данного показателя у животных, которым вводили АСК. В наименьшей степени урежение сердечного ритма выявлено у крыс при введении им АССо²⁺ в дозе 5 мг/кг (на 6,72 % ($p \leq 0,05$) по сравнению с контролем). Статистически значимого снижения данного показателя не наблюдалось только у животных при введении АСNi²⁺ в дозе 5 мг/кг.

Как свидетельствуют литературные данные, полученные у здоровых людей в состоянии покоя, АСК не влияет на сердечный ритм [25–27]. Вместе с тем показано, что предварительный приём 81 мг аспирина при кардионагрузке (наклон головы на 60 градусов) улучшал показатели ВСП волонтеров [27]. В исследованиях на здоровых людях установлены благоприятные изменения вегетативной активности после применения аспирина (7 капсул по 325 мг в течение 60 ч): наблюдалось повышение HF, снижение LF и отношения LF/HF по сравнению с группой плацебо. Авторы исследования связывают эти эффекты со свойством АСК ингибировать простагландины [28].

Таким образом, снижение ЧСС под влиянием АСК и ее соединений с металлами может происходить за счёт блокирования синтеза простагландинов (PGF₂ и PGE₂) клетками гладкой мускулатуры кровеносных сосудов и увеличения вагусных влияний на сердце.

В ходе исследований выявлено и влияние ацетилсалицилатов на АД экспериментальных животных. Причем АСК оказывала влияние на АД только в дозе 20 мг/кг, вызывая повышение САД на фоне снижения ДАД. Аналогичное с АСК, но выраженное в большей степени увеличение САД было характерно и для ацетилсалицилатов Zn²⁺, Ni²⁺ и Mn²⁺ в дозе 20 мг/кг, которое, в отличие от АСК, сопровождалось достоверным увеличением ДАД. Однако АСMn²⁺ в дозе 5 мг/кг и АССо²⁺ в дозе 20 мг/кг вызывали однонаправленное снижение как САД, так и ДАД у экспериментальных животных, не характерное для других ацетилсалицилатов.

Полученные результаты дополняют данные клинических и экспериментальных исследований. Влияние АСК на АД у здоровых людей было изучено в нескольких исследованиях, результаты которых либо не показали значимых влияний препарата на АД, либо было обнаружено дозозависимое снижение САД и ДАД [14, 29, 30]. Большинство исследований, оценивающих влияние аспирина на АД при гипертонической болезни, показывают, что при использовании в низких дозах аспирин сам по себе не влияет на значения АД и не противодействует снижению АД антигипертензивными препаратами, однако улучшает их эффект [27, 28]. При этом в экспериментальном исследовании R. Wu и соавт. показано, что АСК снимает вызванную ангиотензином II гипертонию у крыс – наблюдалось снижение САД в среднем на 15 % (30–35 мм. рт. ст.). Стоит отметить, что эти эффекты проявлялись только при хроническом введении аспирина (перорально, 12 и 56 дней по 100 мг/кг) [31].

Таким образом, в наших исследованиях АСК и ацетилсалицилаты металлов привели к изменению показателей АД при однократном введении и в значительно меньших дозах, что может являться следствием изменения тонуса гладкой мускулатуры в стенках кровеносных сосудов и изменения функционирования эндотелия кровеносных сосудов, что выявлено в исследованиях на здоровых людях и экспериментальных животных [32–34].

Существуют данные о взаимосвязи показателей кожной микроциркуляции (Мц) с показателями центральной гемодинамики. В частности, проведенный ретроспективный математический анализ выявил наличие взаимосвязи показателей кровотока в различных звеньях микроциркуляторного русла с показателями ЧСС, САД, ПАД у людей в покое и при физической нагрузке [35].

В наших исследованиях [36] методом лазерной доплеровской флоуметрии показано, что реакция микрососудов кожи на АСК в дозах 5, 10 и 20 мг/кг наблюдалось достоверное изменение активности практически всех компонентов регуляции микрососудистого тонуса, что выражалось в увеличении эндотелий-зависимой вазодилатации, снижении периферического сопротивления, увеличении притока крови в нутритивное микрососудистое русло, улучшении венолярного оттока. Данные изменения в регуляции Мц в целом могут свидетельствовать о развитии гиперемии, которая является одним из видов проявления фармакологического действия АСК, связанного с его жаропонижающим действием.

Вазотропный эффект $АССо^{2+}$ сходен с таковым у АСК и выражается в развитии вазодилатации и гиперемии, однако, ацетилсалицилат кобальта в большей степени, чем АСК увеличивает метаболическую активность эндотелия и снижает тонус прекапиллярных метартериол вследствие развития Ca^{2+} -зависимой мышечной релаксации, что и привело к снижению всех показателей АД в дозе 20 мг/кг зарегистрированном в данном исследовании.

Вероятно, что данный эффект связан со способностью АСК и $АССо^{2+}$ блокировать циклооксигеназу (ЦОГ) тромбоцитов с последующим блокированием синтеза из арахидоновой кислоты простагландинов. Следствие ингибирования ЦОГ – угнетение функции тромбоксан-синтетазы и, в результате, уменьшение образования активного проагреганта тромбоксана A_2 , в то время как уровень простаглицлина, мощного естественного вазодилататора и антиагреганта, сохраняется достаточно высоким [11]. Вероятно, что АСК в исследованном диапазоне доз вызывает подавление ЦОГ-1, что отражается в изменениях микрогемодинамики – развитии гиперемии кожи.

$АСZn^{2+}$, $АСMn^{2+}$ и $АСNi^{2+}$ в дозе 20 мг/кг модулируют вазотропные эффекты, ингибируя практически все звенья регуляции микроциркуляции. Этот факт можно расценивать как предотвращение развития гиперемии, наблюдаемой при действии АСК, следствием чего является уменьшение притока артериальной крови в микрорусло, активация вазомоторного контроля тонуса сосудов, вазоконстрикция и повышение АД.

Необходимо отметить, что сужение периферических артериол и увеличение сосудистого сопротивления являются сопутствующими изменениями в системе микроциркуляции при гипертонической болезни [37]. Причем до сих пор нет

убедительных данных о том, являются ли расстройства микроциркуляции причиной или следствием артериальной гипертензии [38, 39].

Следует обратить внимание, что эффекты, связанные с изменением АД, проявлялись в значительной мере при увеличении дозы тестируемых координационных соединений до 20 мг/кг. В последние годы АСК, согласно рекомендациям, назначают в малых дозах, что вполне обоснованно как с фармакологической, так и с клинической точки зрения. Причем, при ежедневном употреблении низких доз АСК наблюдается её кумулятивный эффект [40, 41].

Учитывая, что АСК и ее производные ацетилируют ЦОГ-1 во всех тканях, включая эндотелиальные клетки, одновременно с уменьшением синтеза тромбосана А₂ они, по крайней мере в высоких дозах (в наших исследованиях до 20 мг/кг), могут тормозить образование простаглицина – природного антиагреганта и вазодилатора.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, создание новых координационных соединений, в которых помимо лиганда, обладающего биоактивными свойствами, присутствует переходный металл-микроэлемент позволил получить новые соединения, не только модулирующие имеющиеся биологические свойства АСК, но и проявляющие новые. Экспериментальные данные, полученные в наших исследованиях, подтверждают литературные, в которых показано, что в процессе комплексообразования отмечается не только усиление или ослабление определенных эффектов, которые свойственны молекулам предшественницам – салицилатам, но и появление новых свойств производных веществ [5, 6, 42]. Это позволяет предположить, что определённые биологические эффекты салицилатов могут быть связаны с взаимодействием с металлоферментами [43].

Таким образом, полученные данные подтверждают кардиотропную эффективность новых координационных соединений, показывают дозовую зависимость этих эффектов и открывают перспективность дальнейших исследований их биологического действия при многократном использовании в хронических экспериментах.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 20-33-70142 на экспериментальном оборудовании центра коллективного пользования научным оборудованием «Экспериментальная физиология и биофизика» кафедры физиологии человека и животных и биофизики Таврической академии (структурное подразделение) ФГАОУВО «Крымский федеральный университет им В.И. Вернадского».

Список литературы

1. Григорьева А. С. Оптимизация фармакотерапевтической активности биометаллов при комплексообразовании с НПВП / А. С. Григорьева // Микроэлементы в медицине. – 2000 – Т.2, №. 1. – С. 17–22.

2. Bica K. In search of pure liquid salt forms of aspirin: ionic liquid approaches with acetylsalicylic acid and salicylic acid / K. Bica, C. Rijksen, M. Nieuwenhuyzena, R. D. Rogers // *Phys. Chem.* – 2010. – Vol. 12. – P. 2011–2017. <https://doi.org/10.1039/b923855g>
3. Campbell C. L. Aspirin dose for the prevention of cardiovascular disease: a systematic review / C. L. Campbell, S. Smyth // *JAMA.* – 2007. – Vol. 297. – P. 2018–2024.
4. Rubner G. Synthesis, Characterisation and Biological Evaluation of Copper and Silver Complexes based on Acetylsalicylic Acid / G. Rubner, K. Bensdorf, A. Wellner, S. Bergemann, R. Gust // *Arch. Pharm. Chem. Life Sci.* – 2010. – Vol. 344. – P. 684–688.
5. Rolka D. B. Aspirin use among adults with diabetes: estimates from the Third National Health and Nutrition Examination Survey / D. B. Rolka, A. Fagot-Campagna, K. M. Narayan // *Diabetes Care.* – 2001. – Vol. 24, No 2 – P. 197–201. <https://doi.org/10.1001/archinte.164.22.2492>
6. Gilligan M. Aspirin-triggered proresolving mediators stimulate resolution in cancer. / M. M. Gilligan, A. Gartung, M. L. Sulciner, P. C. Norris, S. Huang, M. W. Kieran, C. N. Serhan // *Proc. Natl. Acad. Sci.* – 2019. – Vol. 116, No 13. – P. 6292–6297. <https://doi.org/10.1073/pnas.1804000116>
7. Вельц Н. Ю. Нестероидные противовоспалительные препараты: проблемы безопасности применения. / Н. Ю. Вельц, Е. О. Журавлева, Т. М. Букатина, Г. В. Кутехова // *Безопасность и риск фармакотерапии.* – 2018. – Vol. 6, No1. – P. 11–18.
8. Алёхин Е. К. Аспирин : новая жизнь старого лекарства / Е. К. Алёхин // *Соросовский образовательный журнал.* – 1999. – Т. 5, №7. – С. 85–90.
9. Fadeyi O. O. Antipyretic, analgesic, anti-inflammatory and cytotoxic effects of four derivatives of salicylic acid and anthranilic acid in mice and rats. / O. O. Fadeyi, C. A. Obafemi, C. O. Adewunmi, E. O. Iwalewa // *African J. Biotechnol.* – 2004. – Vol. 3, No 8. – P. 426–431.
10. Sokolik J. Anti-inflammatory activities of copper (II) and zinc (II) 3,6-dimetylsalicylates and their equimolar mixture / J. Sokolik, I. Tumova, M. Blahova // *Acta Facult. Farm. Univ. comenianae.* – 2006. – Vol. 53, No 1. – P. 224–228.
11. Кошевой О. Н. Фармакогнозия. Конспект лекций для подготовки к экзамену. / Кошевой О. Н., Ковалев В. Н., Ковалева А. М. – Х.: НФаУ. – 2015. – 88 с.
12. Чуян Е. Н. Показатели кардиореспираторной системы крыс при действии ацетилсалициловой кислоты и её комплексных соединений с металлами / Е. Н. Чуян, И. С. Миронюк, М. Ю. Раваева, И. В. Черетаев, Т. В. Гришина // *Ученые записки Крымского федерального университета имени В. И. Вернадского. Биология. Химия.* – 2020. – Т. 6, №2. – С. 267–280. <https://doi.org/10.37279/2413-1725-2020-6-2-267-280>.
13. Patrono C. Platelet-active drugs: the relationships among dose, effectiveness, and side effects. / C. Patrono, B. Collier, J. E. Dalen, J. Hirsh, G. Roth // *Chest.* – 2001. – 119(1). – P. 39–63. https://doi.org/10.1378/chest.119.1_suppl.39s
14. Tohgi H. Effects of low-to-high doses of aspirin on platelet aggregability and metabolites of thromboxane A2 and prostacyclin / H. Tohgi, S. Konno, K. Tamura // *Stroke.* – 1992. – Vol. 23, № 10. – P. 1400–1403.
15. Clarke R. J. Suppression of thromboxane A2 but not systemic prostacyclin by controlled-release aspirin. / R. J. Clarke, G. Mayo, P. Price, G. A. FitzGerald. // *N. Engl. J. Med.* – 1991. – Vol. 325. – P. 1137–1141.
16. Mc Adam B. F. Systemic biosynthesis of prostacyclin by cyclooxygenase-2: the human pharmacology of a selective inhibitor of cyclooxygenase-2. / B. F. Mc Adam, F. Catella-Lawson, I. A. Mardini, S. Kapoor, J. A. Lawson, G. A. FitzGerald // *Proc. Natl. Acad. Sci. USA.* – 1999. – Vol. 96, No 10. – P. 272–277. <https://doi.org/10.1073/pnas.96.1.272>
17. Hall C. S. Emotional behavior in the rat. III. The relationship between emotionality and ambulatory activity / C. S. Hall // *Journal of Comparative Psychology.* – 1936. – Vol. 22, № 3. – P. 345–352. <http://dx.doi.org/10.1037/h0059253>.
18. Чуян Е. Н. Физиологические механизмы биологических эффектов низкоинтенсивного ЭМИ КВЧ. / Е. Н. Чуян, Н. А. Темурьянц, О. Б. Московчук. – Симферополь : ЧП «Эльиньо», 2003. – 448 с.
19. Expert Consensus Document on the use of antiplatelet agents. The Task Force on the use of antiplatelet agents in patients with atherosclerotic cardiovascular disease of the European Society of Cardiology // *Eur. Heart J.* – 2004. – Vol. 25. – P.166–181.
20. Хабриев Р. У. Руководство по экспериментальному (доклиническому) изучению новых фармакологических веществ / Р. У. Хабриев. – М.: Медицина, 2005. – 832 с.

21. Куркин Д. В. Влияние наркотизации хлоралгидратом на выживаемость животных при перевязке общих сонных артерий / Куркин Д. В. // *Современные проблемы науки и образования*. – 2017. – №. 1. – С. 23–23.
22. Береснева О. Н. Комбинированное влияние возраста и сокращения массы действующих нефронов на ремоделирование миокарда у крыс / О. Н. Береснева, М. М. Парастаева, Н. В. Швед, Г. Т. Иванова, А. Г. Кучер, И. Г. Каюков, А. В. Смирнов // *Нефрология*. – 2015. – Т. 19, №. 4. – С. 100–107.
23. Шляхто Е. В. Противоаритмическое и антиаритмическое действие ингибитора ангиотензин-превращающего фермента зофеноприла при острой ишемии миокарда в эксперименте / Е. В. Шляхто, М. М. Галагудза, И. О. Блохин, В. А. Цырлин, А. В. Сыренский, Е. И. Егорова, Е. М. Нифонтов // *Артериальная гипертензия*. – 2006. – Т. 12, №. 3. – С. 237–242. <https://doi.org/10.18705/1607-419X-2006-12-3-237-242>.
24. Быков В. Н. Исследование влияния антиконвульсантов на течение дыхательной недостаточности при отравлениях фосфорорганическими соединениями / В. Н. Быков // *Вестник Российской военно-медицинской академии*. – 2014. – №. 1. – С. 110–115.
25. Sierpmann M. The effects of acetylic salicylic acid on heart rate variability in healthy subjects / M. Sierpmann, R. Rauh, E. Spanos, O. Dill, H. Mueck, M. Mueck-Weymann / *Clin. Autonomic Res.* – 2007. – Vol. 17, No 2. – P. – 115–117. <https://doi.org/10.1007/s10286-007-0408-1>
26. Schwab J. M. Resolvin E1 and protectin D1 activate inflammation resolution programmes. / J. M. Schwab, N. Chiang, M. Arita // *Serhan Nature*. – Vol. 2007447, No 7146. – P. 869–874. <https://doi.org/10.1038/nature05877>
27. Solheim S. No difference in the effects of clopidogrel and aspirin on inflammatory markers in patients with coronary heart disease / S. Solheim, A. A. Pettersen, H. Arnesen, I. Seljeflot // *Thromb. Haemost.* – 2006. – Vol.96, No 5. – P. 660–664.
28. Shi X. Antioxidant properties of aspirin: characterization of the ability of aspirin to inhibit silica-induced lipid peroxidation, DNA damage, NF-κB activation, and TNF-α production / X. Shi, M. Ding, Z. Dong // *Molecular and cellular biochemistry*. – 1999. – Vol. 199, № 1–2. – P. 93–102. <https://doi.org/10.1023/a:1006934612368>.
29. Tauseef M. Aspirin restores normal baroreflex function in hypercholesterolemic rats by its antioxidative action. / M. Tauseef, K. K. Sharma, M. Fahim // *Eur. J. Pharmacol.* – 2007. – Vol. 556, No1–3. – P. 136–143. <https://doi.org/10.1016/j.ejphar.2006.11.029>
30. Tjonahen E. Resolvin E2 : identification and anti-inflammatory actions: pivotal role of human 5-lipoxygenase in resolvin E series biosynthesis. / E. Tjonahen, S. F. Oh, J. Siegelman, S. Elangovan, K. B. Percarpio, S. Hong, M. Arita, C. N. Serhan // *J. Chem. Biol.* – 2006. – Vol. 13, No 11. – P. 1193–1202. <https://doi.org/10.1016/j.chembiol.2006.09.011>.
31. Wu R. Antioxidative properties of acetylsalicylic acid on vascular tissues from normotensive and spontaneously hypertensive rats / R. Wu, D. Lamontagne, J. de Champlain // *Circulation*. – 2002. – Vol. 105, № 3. – P. 387–392.
32. Yakovchyuk T. V. Psychotropic effects of aspirin, acetylsalicylate cobalt and acetylsalicylate zinc at various doses / T. V. Yakovchyuk, O. V. Katiushyna, I. I. Koreniuk, D. R. Khusainov, T. V. Gamma // *Health*. – 2012. – Vol. 4, No 11. – P. 1041–1045. <http://dx.doi.org/10.4236/health.2012.411159>.
33. Yasumasu T. Low-dose Aspirin Inhibits Cardiac Sympathetic Activation and Vagal Withdrawal Response to Morning Rising / T. Yasumasu, K. Takahara, Y. Otsuji, M. D. Yutaka // *Journal of cardiovascular pharmacology*. – 2017. – Vol. 70, № 4. – P. 239–244. <https://doi.org/10.1097/FJC.0000000000000509>.
34. Yoo B. K. Efficacy of aspirin on improvement of peripheral blood circulation in mice / B. K. Yoo, B. S. Ko, J. Y. Ma, W. K. Jeon // *Journal of the Korean Society for Applied Biological Chemistry*. – 2009. – Vol. 52, № 1. – P. 22–27. <https://doi.org/10.3839/jksabc.2009.004>.
35. Скедина М. А. Анализ показателей кровотока в микроциркуляторном русле кожи человека и их связь с показателями центральной гемодинамики / М. А. Скедина, А. А. Ковалева, А. М. Носовский // *Регионарное кровообращение и микроциркуляция*. – 2020. – Vol. 19, No 4. – P. 76–86. <https://doi.org/10.24884/1682-6655-2020-19-4-76-86>.
36. Раваева М. Ю. Показатели тканевой микрогемодинамики крыс при действии ацетилсалициловой кислоты и ее комплексных соединений с металлами / М. Ю. Раваева, Е. Н. Чуян, И. С. Миронюк,

- И. В. Черетаев, Т. В. Гришина // Журн. эвол. биох. физиол. – 2021. – Т. 57, №1. – P. 71–82. <https://doi.org/10.31857/S0044452921010083>.
37. Козлов В. И. Микроциркуляция при мышечной деятельности [Текст] / В. И. Козлов, И. О. Тупицын – М.: Физкультура и спорт, 1982. –135 с.
 38. Ikram M. K. Retinal vessel diameters and risk of hypertension. The Rotterdam Study / M. K. Ikram, J. C. Witteman, J. R. Vingerling, M. M. Breteler, A. Hofman, P. T. de Jong // Hypertension. – 2006. – № 47. – P. 189–194. <https://doi.org/10.1161/01.HYP.0000199104.61945.33>.
 39. Wong T. Y. Prospective cohort study of retinal vessel diameters and risk of hypertension / T. Y. Wong, A. Shankar, R. Klein, B. Klein, L. Hubbard // BMJ. – 2004. – P. 329–379 <https://doi.org/10.1136/bmj.38124.682523.55>.
 40. Korkmaz-Icöz S. Administration of zinc complex of acetylsalicylic acid after the onset of myocardial injury protects the heart by upregulation of antioxidant enzymes / S. Korkmaz-Icöz, A. Atmanli, T. Radovits, S. Li, P. Hegedüs, M. Ruppert, P. Brlecic, Y. Yoshikawa, H. Yasui, M. Karck, G. J. Szabó // Physiol. Sci. – 2016. – Vol. 66, No 2. – P.113–125. <https://doi.org/10.1007/s12576-015-0403-6>.
 41. Koroshetz W. J. Warfarin, aspirin, and intracranial vascular disease / W. J. Koroshetz // N. Engl. J. Med. – 2005. – V. 352, № 13. – P. 1368–1370. <https://doi.org/10.1056/NEJMe058022>.
 42. Angelova P. Oxidative modulation of the transient potassium current IA by intracellular arachidonic acid in rat CA1 pyramidal neurons / P. Angelova, W. Müller // Eur. J. Neurosci. – 2006. – Vol. 23, No 9. – P. 2375–2384. <https://doi.org/10.1111/j.1460-9568.2006.04767.x>.
 43. Sanderson S. Narrative review: Aspirin resistance and its clinical implications / S. Sanderson, J. Emery, T. Baglin, A. L. Kinmonth // Ann. Int. Med. – 2005. – Vol. 142, No5. – P. 370–380.

DOSE-DEPENDENT CARDIOTROPIC EFFECTS OF ACETYLSALICYLATES

*Chuyan E. N., Mironyuk I. S., Cheretaev I. V., Ravaeva M. Yu., Grishina T. V.,
Ablaeva R. N.*

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

The effect of acetylsalicylic acid and its complex compounds with the metals cobalt (Co^{2+}), zinc (Zn^{2+}), nickel (Ni^{2+}) and manganese (Mn^{2+}) at doses of 5, 10 and 20 mg/kg on the parameters of the rat cardiorespiratory system was studied. It is shown that in the process of complexation of acetylsalicylic acid with bimetals, there is not only an increase or decrease in certain effects inherent in the precursor molecule – acetylsalicylic acid, but also the appearance of new properties, the manifestation of which is dose-dependent.

The study was carried out on the basis of the Center for collective use of scientific equipment "Experimental Physiology and Biophysics" of the Department of Human and Animal Physiology and Biophysics of the V. I. Vernadsky Crimean Federal University.

The research of the biological effect of the acetylsalicylic acid, ACCo^{2+} , ACZn^{2+} , ACNi^{2+} , ACMn^{2+} was carried out during their intraperitoneal injection into rats in doses of 5, 10 and 20 mg/kg. Simultaneously the following characteristics of all the groups' animals were registered: heart rate (HR), respiratory rate (RR), systolic blood pressure (SBP) and diastolic blood pressure (DBP). The pulse pressure (PP) was calculated on the basis of the SBP and DBP indices difference. BP, HR and RR of the rats were registered with the help of the system NIBP200A («BiopacSystems, Inc.», USA).

The experimental data obtained in our studies confirm the literature data, which show that in the process of complexation there is not only an increase or decrease in certain effects that are characteristic of precursor molecules-salicylates, but also the appearance of new properties of derived substances. This suggests that certain biological effects of salicylates may be associated with interaction with metalloenzymes.

Thus, the obtained data confirm the cardiotropic effectiveness of new coordination compounds, show the dose dependence of these effects and open up the prospects for further studies of their biological action when used repeatedly in chronic experiments.

Keywords: acetylsalicylic acid, coordination compounds of acetylsalicylates, indicators of the cardiorespiratory system, dose-dependent effects.

The reported study was funded by RFBR, project number 20-33-70142.

References

1. Grigor'eva A. S. Optimizacija farmakoterapevticheskoj aktivnosti biometallov pri kompleksobrazovanii s NPVP, *Mikrojelementy v medicine*, **1**, 17, (2000).
2. Bica K. In search of pure liquid salt forms of aspirin: ionic liquid approaches with acetylsalicylic acid and salicylic acid, *Phys. Chem. Chem. Phys.*, **12**, 2011 (2010).
3. Campbell C. L., Smyth S., Montalescot G., Steinbuhl S.R. Aspirin dose for the prevention of cardiovascular disease: a systematic review, *JAMA*, **297**, 2018, (2007).
4. Rubner G., Rijksen C., Nieuwenhuyzena M., Rogers R. D. Synthesis, Characterisation and Biological Evaluation of Copper and Silver Complexes based on Acetylsalicylic Acid, *Arch. Pharm. Chem. Life Sci.*, **344**, 684, (2010).
5. Rolka D. B., Fagot-Campagna A., Narayan K. M. Aspirin use among adults with diabetes: estimates from the Third National Health and Nutrition Examination Survey, *Diabetes Care*, **24**(2), 197, (2001).
6. Gilligan M. M., Gartung A., Sulciner M. L., Norris P. C., Huang S., Kieran M. W., Serhan C. N. Aspirin-triggered proresolving mediators stimulate resolution in cancer, *Proc. Natl. Acad. Sci.*, **116**(13), 6292, (2019).
7. Velts N. Yu., Zhuravleva E. O., Bukatina T. M., Kutekhova G. V. Non steroidalanti-inflammatory drugs: problems of safe use, *Safety and Risk of Pharmacotherapy*, **6**(1), 11, (2018).
8. Aljohin E. K. Aspirin: novaja zhizn' starogo lekarstva, *Sorosovskij obrazovatel'nyj zhurnal*, **5**(7), 85 (1999).
9. Fadeyi O. O., Obafemi C. A., Adewunmi C. O., Iwalewa E. O. Antipyretic, analgesic, anti-inflammatory and cytotoxic effects of four derivatives of salicylic acid and anthranilic acid in mice and rats, *African J. Biotechnol.*, **3**(8), 426, (2004).
10. Sokolik J., Tumova I., Blahova M., Anti-inflammatory activities of copper (II) and zinc (II) 3,6-dimethylsalicylates and their equimolar mixture, *Acta Facult. Farm. Univ.comenianae*, **53** (1), 224 (2006).
11. Koshevoj O. N., Kovalev V. N., Kovaleva A. M. *Farmakognozija, Konspekt lekcij dlja podgotovki k jekzameni*, 88 p. (H.: NFaU, 2015).
12. Chuyan E. N., Mironyuk I. S., Ravaeva M. Yu., Cheretaev I. V., Grishina T. V. Indicators of the rat cardiorespiratory system under the action of acetylsalicylic acid and its complex compounds with metals, *Scient. notes of the Crimean Feder. Univer. after V.I. Vernadsky. Biology. Chemistry*, **6**(2), 267, (2020).
13. Patrono C., Collier B., Dalen J. E., Hirsh J., Roth G. Platelet-active drugs: the relationships among dose, effectiveness, and side effects, *Chest.*, **119**(1), 39, (2001).
14. Tohgi H., Konno S., Tamura K., Kimura B., Kawano K. Effects of low-to-high doses of aspirin on platelet aggregability and metabolites of thromboxane A2 and prostacyclin, *Stroke*, **23**(10), 1400, (1992).
15. Clarke R. J., Mayo G., Price P., FitzGerald G. A. Suppression of thromboxane A2 but not systemic prostacyclin by controlled-release aspirin, *N. Engl. J. Med.*, **325**, 1137, (1991).

16. Mc Adam B. F., Catella–Lawson F., Mardini I.A., Kapoor S., Lawson J. A., FitzGerald G. A. Systemic biosynthesis of prostacyclin by cyclooxygenase–2: the human pharmacology of a selective inhibitor of cyclooxygenase–2, *Proc. Natl. Acad. Sci. USA.*, **96(10)**, 272, (1999).
17. Hall C. S. Emotional behavior in the rat. III. The relationship between emotionality and ambulatory activity, *Journal of Comparative Psychology*, **22(3)**, 345, (1936).
18. Chuyan E. N., Temur'yants N. A., Moskovchuk O. B. *Fiziologicheskiye mekhanizmy biologicheskikh effektov nizkointensivnogo EMI KVCH*, 448 p. (CHP «El'in'o», Simferopol» 2003).
19. Expert Consensus Document on the use of antiplatelet agents. The Task Force on the use of antiplatelet agents in patients with atherosclerotic cardiovascular disease of the European Society of Cardiology // *Eur. Heart J.* 2004.
20. Habriev R. U. *Rukovodstvo po jeksperimental'nomu (doklinicheskomu) izucheniju novyh farmakologicheskikh veshhestv*, 832 p. (M.: Medicina, 2005).
21. Kurkin D. V., Volotova E. V., Bakulin D. A., Hanina Ju. A., Verhuljak D. V., Tjurenkov I. N. Vlijanie narkotizacii hloralgidratom na vyzhivaemost' zhivotnyh pri perevjazke obshhih sonnyh arterij, *Sovremennye problemy nauki i obrazovaniya*, **1**, 23, (2017).
22. Beresneva O. N., Parastaeva M. M., Shved N. V., Ivanova G. T., Kucher A. G., Kajukov I. G., Smirnov A. V. Kombinirovanoe vlijanie vozrasta i sokrashhenija massy dejstvujushhih nefronov na remodelirovanie miokarda u krysa, *Nefrologija*, **19(4)**, 100, (2015).
23. Shljahto E. V., Galagudza M. M., Blohin I. O., Cyrlin V. A., Syrenskij A. V., Egorova E. I., Nifontov E. M. Protivoiticheskoje i antiaritmicheskoe dejstvie ingibitora angiotenzin-prevrashhajushhego fermenta zofenopрила pri ostroj ishemii miokarda v jeksperimente, *Arterial'naja gipertenzija*, **12(3)**, 237, (2006).
24. Bykov V. N. Issledovanie vlijaniya antikonvulsantov na techenie dyhatel'noj nedostatochnosti pri otravlenijah fosfororganicheskimi soedinenijami, *Vestnik Rossijskoj voenno-medicinskoj akademii*, **1**, 110, (2014).
25. Siepmann M., Rauh R., Spanos E., Dill O., Mueck H., Mueck-Weymann M. The effects of acetylic salicylic acid on heart rate variability in healthy subjects, *Clin. Autonomic Res.*, **17(2)**, 115, (2007).
26. Schwab J. M., Chiang N., Arita M., Serhan C. N. Resolvin E1 and protectin D1 activate inflammation resolution programmes, *Nature*, **447(7146)**, 869, (2007).
27. Solheim S., Pettersen A. A., Arnesen H. Seljeflot I. No difference in the effects of clopidogrel and aspirin on inflammatory markers in patients with coronary heart disease, *Thromb. Haemost.*, **96(5)**, 660, (2006).
28. Shi X. Antioxidant properties of aspirin: characterization of the ability of aspirin to inhibit silica-induced lipid peroxidation, DNA damage, NF- κ B activation, and TNF- α production, *Molecular and cellular biochemistry*, **199(1-2)**, 93, (1999).
29. Tauseef M., Sharma K. K., Fahim M. Aspirin restores normal baroreflex function in hypercholesterolemic rats by its antioxidative action, *Eur. J. Pharmacol.*, **556(1-3)**, 136, (2007).
30. Tjonahen E., Oh S. F., Siegelman J., Elangovan S., Percarpio K. B., Hong S., Arita M., Serhan C. N. Resolvin E2: identification and anti-inflammatory actions: pivotal role of human 5-lipoxygenase in resolvin E series biosynthesis, *J. Chem. Biol.*, **13(11)**, 1193, (2006).
31. Brunello N., Alboni S., Capone G., Benatti C., Blom J. M., Tascetta F., Kriwin P., Mendlewicz J. Acetylsalicylic acid accelerates the antidepressant effect of fluoxetine in the chronic escape deficit model of depression, *Internat. Clin. Psychopharmacol.*, **21(4)**, 219, (2006).
32. Yakovchyuk T. V., Katiushyna O. V., Koreniuk I. I., Khusainov D. R., Gamma T. V. Psychotropic effects of aspirin, acetylsalicylate cobalt and acetylsalicylate zinc at various doses, *Health.*, **4(11)**, 1041, (2012).
33. Yasumasu T., Takahara K., Otsuji Y., Yutaka M. D. Low-dose Aspirin Inhibits Cardiac Sympathetic Activation and Vagal Withdrawal Response to Morning Rising, *Journal of cardiovascular pharmacology*, **70(4)**, 239, (2017).
34. Yoo B. K., Ko B. S., Ma J. Y., Jeon W. K. Efficacy of aspirin on improvement of peripheral blood circulation in mice, *Journal of the Korean Society for Applied Biological Chemistry*, **52(1)**, 22, (2009).
35. Skedina M. A., Kovaleva A. A., Nosovskij A. M. Analiz pokazatelej krovotoka v mikrocirkuljatornom rusle kozhi cheloveka i ih svjaz' s pokazateljami central'noj gemodinamiki, *Regionarnoe krovoobrashhenie i mikrocirkuljacija*, **19(4)**, 76, (2020).

36. Ravaeva M. Yu., Chuyan E. N., Mironyuk I. S., Cheretaev I. V., Grishina T. V. Indicators of tissue microhemodynamics in rats exposed to acetylsalicylic acid and metal salicylates, *J. Evol. Biohim. Phys.*, **57(1)**, 71, (2021).
37. Kozlov V. I., Tupicyn I. O. *Mikrocirkuljacija pri myshečnoj dejatel'nosti*, 135 p. (M.: Fizkul'tura i sport, 1982).
38. Ikram M. K., Witteman J. C., Vingerling J. R., Breteler M. M., Hofman A., de Jong P. T. Retinal vessel diameters and risk of hypertension, *The Rotterdam Study. Hypertension*, **47**, 189, (2006).
39. Wong T. Y., Shankar A., Klein R., Klein B., Hubbard L. Prospective cohort study of retinal vessel diameters and risk of hypertension, *BMJ*, 379, (2004).
40. Korkmaz-Icöz S., Atmanli A., Radovits T., Li S., Hegedüs P., Ruppert M., Brlecic P., Yoshikawa Y., Yasui H., Karck M., Szabó G. Administration of zinc complex of acetylsalicylic acid after the onset of myocardial injury protects the heart by upregulation of antioxidant enzymes, *J. Physiol. Sci.*, **66(2)**, 113, (2016).
41. Koroshetz W. J. Warfarin, aspirin, and intracranial vascular disease, *N. Engl. J. Med.*, **352(13)**, 1368, (2005).
42. Angelova P., Müller W. Oxidative modulation of the transient potassium current IA by intracellular arachidonic acid in rat CA1 pyramidal neurons, *Eur. J. Neurosci.*, **23(9)**, 2375, (2006).
43. Sanderson S., Emery J., Baglin T., Kinmonth A. L. Narrative review: Aspirin resistance and its clinical implications, *Ann. Int. Med.*, **142(5)**, 370, (2005).

УДК 612.819.33, 616.895.87

ДИСМЕТРИЯ ПРОИЗВОЛЬНЫХ САККАД ПРИ ШИЗОФРЕНИИ

Швайко Д. А., Буденкова Е. А., Ваколюк И. А., Шалагинова И. Г.

*Балтийский федеральный университет им. Иммануила Канта, Калининград, Россия
E-mail: dshvaiko@kantiana.ru*

Методом видеоокулографии изучали точность выполнения произвольных саккадических движений глаз у 16 пациентов с диагнозом шизофрения и 26 здоровых испытуемых. В группе больных шизофренией показано уменьшение количества фиксаций, выполненных за время предъявления стимула, а также увеличение доли дисметричных саккад по сравнению со здоровыми испытуемыми. В обеих группах обнаружено преобладание гипометричных саккад над гиперметричными, однако в группе больных шизофренией это преобладание существенно выше. Также обнаружено увеличение доли гиперсаккад с динамическим овершутом и мультисаккад в группе с диагнозом шизофрения. Полученные результаты свидетельствуют о нарушениях в программировании и выполнении произвольных саккад при шизофрении и позволяют предположить, что увеличение доли гиперсаккад является проявлением эндофенотипа этого заболевания.

Ключевые слова: внимание, произвольные саккады, дисметрия саккад, шизофрения, видеоокулография.

ВВЕДЕНИЕ

Несмотря на многолетний поиск нейробиологических основ шизофрении, этиология этого заболевания до сих пор остаётся невыясненной. На данный момент наиболее проработана и эмпирически обоснована дофаминовая теория шизофрении [1]. Возникающие при данной патологии структурно-функциональные изменения таких отделов мозга, как лобные и височные области коры, таламус, миндалина и гиппокамп [2, 3], увеличение объёма желудочков, уменьшение размеров мозолистого тела [4] рассматривают как нейробиологическую основу когнитивного дефицита, наблюдающегося у пациентов [5].

Тот факт, что отмеченные структуры вовлечены в генерацию саккадических движений глаз [6], позволяет применять метод окулографии для поиска объективных критериев оценки функционального состояния мозга при данной патологии. Использование различных окуломоторных тестов значительно расширило представления о когнитивных нарушениях при шизофрении [7, 8]. Большинство данных свидетельствуют в пользу того, что основные нейрональные структуры, отвечающие за генерацию зрительно-вызванных просаккад (быстрое перемещение взора на стимул, появляющийся на периферии поля зрения) не затронуты при шизофрении, поскольку латентность и число ошибок в тестах на просаккады при данной патологии не отличается от нормы [7, 9]. Однако, при шизофрении наблюдается дефицит в выполнении антисаккад (произвольное перемещение взора в сторону, противоположную появлению периферического стимула). Значительное

увеличение латентного периода (времени от появления стимула до начала ответной реакции) и числа ошибок направления антисаккад при шизофрении является наиболее воспроизводимым результатом окуломоторного тестирования [7, 10, 11]. Имеются сведения, что в ряде случаев нарушения точности саккад у людей, страдающих шизофренией, сглаживаются при лечении антипсихотиками [12].

Несмотря на активный поиск специфических для шизофрении нарушений саккад, работ, посвященных оценке точности амплитуды произвольных движений глаз сравнительно мало [8]. В этих работах сообщается об увеличении доли гипометричных зрительно вызванных саккад (саккад с недостаточной амплитудой) у пациентов с шизофренией по сравнению с контрольной группой. Обнаруженную дисметрию саккад связывают с дефицитом пространственной памяти, нарушением контроля со стороны фронтальной коры. Однако данное предположение не является бесспорным [13]. Стоит отметить, что большинство известных исследований проведено с участием пациентов, проходящих разнородное медикаментозное лечение, а методологические подходы к изучению окуломоторной активности в этих исследованиях неоднородны, что не позволяет составить детальный профиль глазодвигательных реакций при шизофрении. В связи с этим, представляется целесообразным исследование абсолютных и относительных показателей произвольных саккад у пациентов с шизофренией, не получающих медикаментозную терапию, с целью выявления возможных окуломоторных маркеров, способных в дальнейшем помочь в диагностике данного заболевания.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В исследовании приняли участие 42 человека (20–45 лет) – 16 пациентов областной психиатрической больницы №1 и областной психиатрической больницы № 2 г. Калининграда (13 женщин, 3 мужчин; средний возраст $37,6 \pm 4$ года) с поставленным диагнозом шизофрения, средний период с момента постановки диагноза 11,6 лет (экспериментальная группа) и 26 человек (23 женщины, 3 мужчин; средний возраст $22 \pm 1,5$) без зарегистрированных психопатологий (контрольная группа). Несмотря на разницу в возрасте, мы полагаем, что сравнение интересующих нас параметров у обследуемых двух групп допустимо, поскольку ранее показано отсутствие значимых различий в точности амплитуд саккад у здоровых лиц в возрасте 20–60 лет [14]. Все участники исследования подписали информированное согласие на участие в исследовании, ознакомившись с целью и характером настоящего исследования.

Пациенты, вошедшие в экспериментальную группу, не принимали антипсихотические препараты до поступления в стационар и участие в исследовании не позднее, чем через сутки после начала медикаментозного лечения.

Регистрацию зрительно вызванных произвольных движений глаз проводили методом бесконтактной видеоокулографии. Участник исследования усаживался напротив монитора со стимульным материалом, на расстоянии 60–70 см. На переносице закреплялся чёрный бумажный кружок – референтная точка. Видеокамера, регистрирующая в инфракрасном диапазоне, располагалась рядом с монитором (30–40 угловых градусов относительно оси монитор-испытуемый) со

стороны ведущего глаза пациента. Регистрация проводилась в помещении с рассеянным светом, с использованием дополнительной инфракрасной подсветки. Частота регистрации 50 Гц.

Стимульный материал представлял собой три черные точки диаметром около 0,45 угловых градусов на сером фоне, расположенные в ряд вертикально или горизонтально (рис. 1). Время одного предъявления – 20 секунд. Стимульный материал предъявляли испытуемому 6 раз – по три на каждый тип расположения точек; интервал между предъявлениями – 2 секунды. Перед предъявлением стимула испытуемый получал инструкцию как можно быстрее переводить взгляд с точки на точку, не двигая головой.

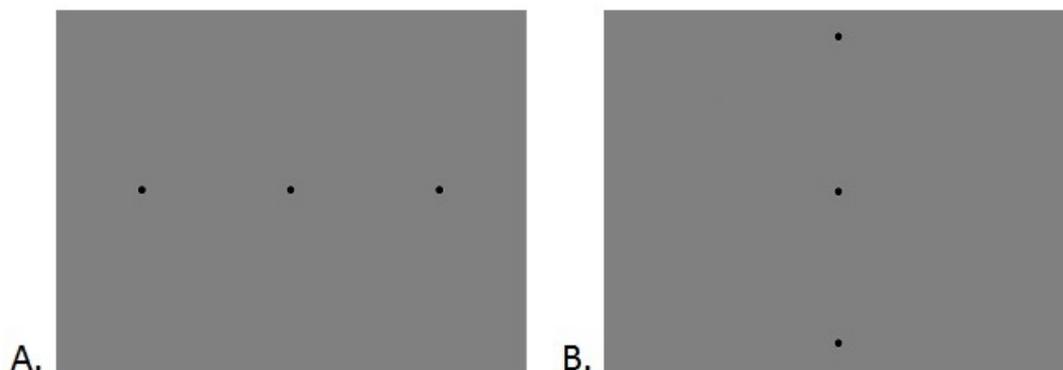


Рис.1. Стимульный материал: вертикальный (А) и горизонтальный (В) ряд точек.

На основании полученных видеозаписей построены окулограммы – графики перемещения центра зрачка испытуемых относительно референтной точки на переносице. По окулограммам определяли количество фиксаций и долю дисметричных саккад, при совершении которых взгляд останавливался, не долетев (гипосаккада) или перелетев (гиперсаккада) через стимульную точку. Долю дисметричных саккад рассчитывали, как отношение количества случаев дисметрии к общему количеству движений взгляда от точки к точке за время предъявления стимула, т.е. за 20 секунд по формуле:

$$D = (N_{ds}/N_s) * 100\%, \quad (1)$$

где D – доля дисметричных саккад, N_{ds} – количество случаев дисметрии, N_s – общее количество движений взгляда от точки к точке.

За одно движение принимали перемещение взгляда от одной стимульной точки к другой без учета количества саккад, за которые это перемещение было выполнено. Таким образом, дисметричную саккаду вместе с корректирующим движением принимали за одно движение взгляда. Движения, содержащие артефакты (моргания, движения головой, ошибки видеозаписи), были исключены из анализа.

На окулограмме определяли три типа гиперметричных саккад (гиперсаккад) и три типа гипометричных саккад (гипосаккад).

Типы гиперсаккад отличаются по виду овершута – участка окулограммы, на

котором взгляд перескакивает стимульную точку, а затем возвращается к ней [15]. Гиперсаккады первого типа имеют динамический овершут с большой скоростью возвратного движения [15, 16]. У гиперсаккад второго типа овершут имеет форму медленного дрейфа [6, 15]. Гиперсаккады третьего типа имеют статический овершут – ошибка исправляется второй саккадой, следующей после фиксации [6, 15] (рис. 2).

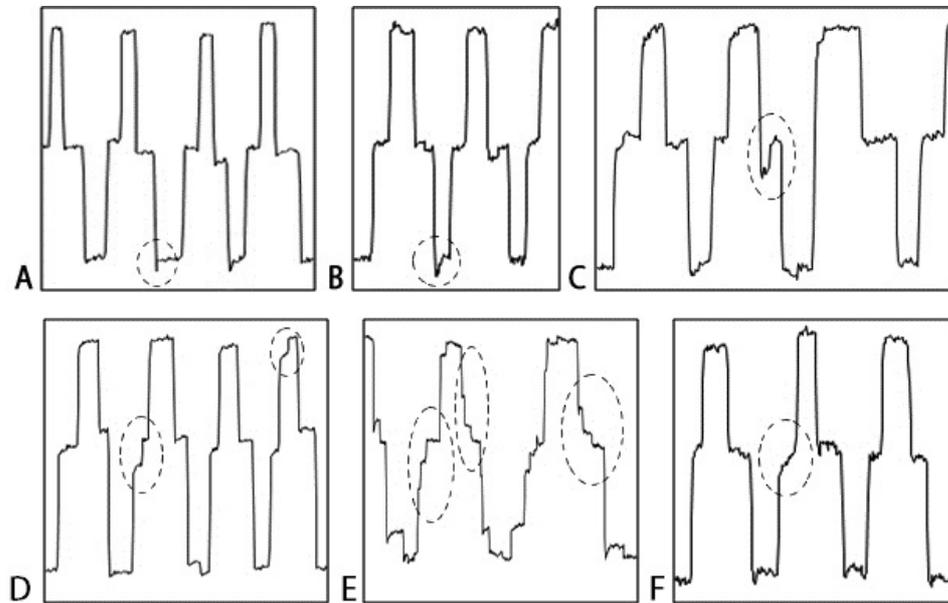


Рис.2. Типы дисметрии саккад: гиперсаккады первого (А), второго (В) и третьего (С) типов; гипосаккады: простая (А), мультисаккада (В) и с дрейфом (С).

Гипосаккады различаются по характеру корректирующего движения. При гипосаккадах первого типа (статические гипосаккады) ошибка исправляется корректирующей саккадой, следующей после фиксации [6]. Второй тип гипосаккад – мультисаккады, часто выделяемые в отдельный тип дисметрии, рассматривают как набор гипометричных саккад [14]. Третий тип гипосаккад исправляется коррекцией в форме дрейфа [6] (рис. 2).

В данной работе было принято решение не учитывать дисметричные саккады, корректирующиеся дрейфом, для исключения ошибок анализа, связанных с артефактами движениями головы.

Статистический анализ проводили с помощью пакета статистических программ SPSS. Для оценки характера распределения использовали критерий Колмогорова-Смирнова, значимость различий (независимые выборки) определяли по t-критерию Стьюдента. Для оценки влияния заболевания на долю дисметричных саккад использовали однофакторный дисперсионный анализ (one-way ANOVA).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Для больных шизофренией характерны навязчивые движения, которые проявлялись и в процессе регистрации окулограммы, в частности, покачивание корпуса, покачивания головой вслед за точкой, частые моргания, зажмуривание глаз на несколько секунд. Нами было отмечено нарушение функции слежения у пациентов – траектория движения взгляда смещалась относительно расположения стимульных точек. Также присутствовали фиксации, не предусмотренные заданием и стимульным материалом. Указанные факторы хотя и затрудняют детекцию отдельных элементов окулограммы, но соответствуют характерной для шизофрении общей картине дефицита устойчивого внимания [17].

Подобный дефицит проявляется, в частности при оценке оперативности выполнения задания на совершение произвольных саккад. В этом упражнении определяли количество фиксаций, выполненных участниками обеих групп за фиксированное время (20 секунд) (рис. 3). Люди с диагнозом шизофрения совершили меньшее количества фиксаций по сравнению с контрольной группой. Этот дефицит, видимо, носит общий характер, т.к. не зависит от ориентации стимула: как при горизонтальном, так и при вертикальном расположении стимульных точек, пациенты с шизофренией производили меньшее количество фиксаций за 20 секунд, чем испытуемые контрольной группы ($p \leq 0,01$, Т-критерий Стьюдента). При этом внутри каждой группы количество фиксаций, выполненных по вертикали и горизонтали, значимо не различалось.

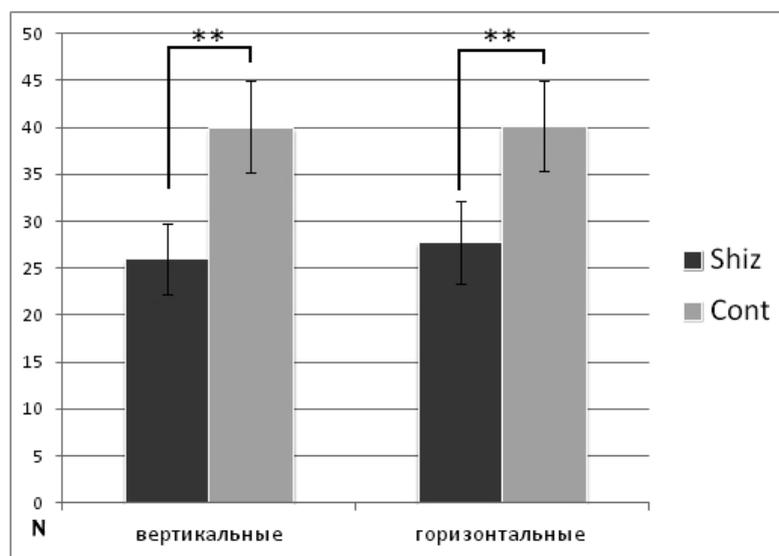


Рис. 3. Среднее количество фиксаций за 20 секунд при предъявлении вертикального и горизонтального ряда точек (** – $p \leq 0,01$, Т-критерий Стьюдента).

Такое снижение производительности при шизофрении может быть связано с большими временными затратами пациента на подготовку и реализацию

произвольного движения глаз. Данный факт хорошо согласуется с имеющимися в литературе сведениями о значимом увеличении латентного периода корректных антисаккад у пациентов с шизофренией по сравнению со здоровыми испытуемыми [7]. При этом латентность рефлекторных саккад при шизофрении не отличается от контроля [9, 18]. В случае рефлекторных саккад генерация движения глаз происходит путем прямой трансформации сигнала о неожиданно появившемся стимуле в окуломоторную команду в соответствующих пространственных координатах [19]. Для генерации же произвольной саккады необходима когнитивная репрезентация задачи для перевода символической информации в стартовый сигнал для саккады, и именно этот процесс, по-видимому, нарушен у пациентов с шизофренией.

Для оценки эффективности выполнения задачи определяли долю дисметричных саккад относительно общего числа совершенных движений глаз. Саккады с ошибкой в амплитуде присутствуют на окулограммах в обеих группах (рис. 4).

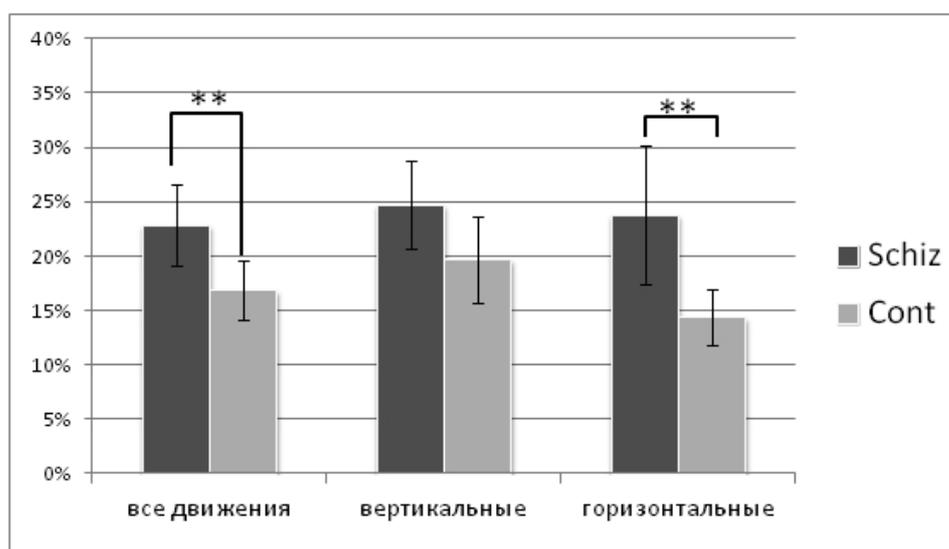


Рис. 4. Доля дисметричных саккад в норме и при шизофрении (* – $p \leq 0,05$, ** – $p \leq 0,01$, Т-критерий Стьюдента).

Анализ полученных данных показал разнообразие типов некорректных по амплитуде саккад. Вклад различных типов дисметрии в общую картину нарушений амплитуды при выполнении произвольных саккад представлен в таблице ниже.

В целом, пациенты с шизофренией совершают значительно больше дисметричных саккад по сравнению с контрольной группой. Анализ ошибок в зависимости от горизонтальной или вертикальной ориентации стимульных точек показал, что доля дисметричных саккад в экспериментальной группе выше, чем в контрольной, независимо от ориентации стимула, при этом различия статистически значимы только при горизонтальной ориентации стимула.

Таблица 1

Доля различных типов некорректных саккад в норме и при шизофрении

	тип ошибки	гиперсаккады		гипосаккады	
	направление	тип 1	тип 3	тип 1	Мульти (2 тип)
Шизофрения	Верт.	13,10% F= 0,00 p= 0,99	5,40% F= 0,40 p= 0,53	23,70% F= 1,81 p= 0,19	3,5%* F= 5,29 p= 0,027
	Гор.	9,1%** F= 8,78 p= 0,005	5,20% F= 1,39 p= 0,25	30,00% F= 2,02 p=0,16	5,1%** F= 7,32 p= 0,01
Контроль	Верт.	13,10% F= 0,00 p= 0,99	6,10% F= 0,40 p= 0,53	19,40% F= 1,81 p= 0,19	0,9%* F= 5,30 p= 0,027
	Гор.	4,3%* * F= 8,78 p= 0,005	2,50% F= 1,39 p= 0,25	21,80% F= 2,02 p=0,16	0,2%** F= 7,32 p= 0,01

Примечание: * – $p \leq 0,05$, ** – $p \leq 0,01$, анализ one-way ANOVA по фактору «заболевание», F – значение критерия, Верт. – вертикальные движения, Гор. – горизонтальные движения.

Как в экспериментальной группе, так и в контрольной, наблюдается преобладание гипометричных ошибок над гиперметричными (рис. 5) – соответственно $31,3 \pm 6,1$ и $16,6 \pm 2,8$ в экспериментальной группе и $21,2 \pm 3,9$ и $12,6 \pm 2,5$ в контрольной (t-критерий Стьюдента для независимых выборок, $p \leq 0,01$), при этом у пациентов с шизофренией эта разница существенно выше. Кроме того, пациенты совершают значимо больше гипометричных саккад, чем здоровые испытуемые. В отношении доли гиперметричных саккад значимых различий между группами не обнаружено.

Наличие заболевания «шизофрения» (однофакторный дисперсионный анализ) значимо влияет на долю мультисаккад как по горизонтали, так и по вертикали, а также на долю динамических гиперсаккад в горизонтальном направлении, что проявляется в увеличении количества данных типов дисметричных саккад у пациентов с шизофренией по сравнению с группой контроля.

Отметим, что снижение оперативности в окуломоторных тестах при разных экспериментальных парадигмах отмечаются и в случае других психо- и нейропатологий, например, при тревожных расстройствах, аффективных расстройствах, болезни Паркинсона [8, 15, 20]. Наряду с этим, есть данные, что

подобные нарушения при произвольном переводе взгляда по простым фигурам проявляются и в норме, с возрастом [20].

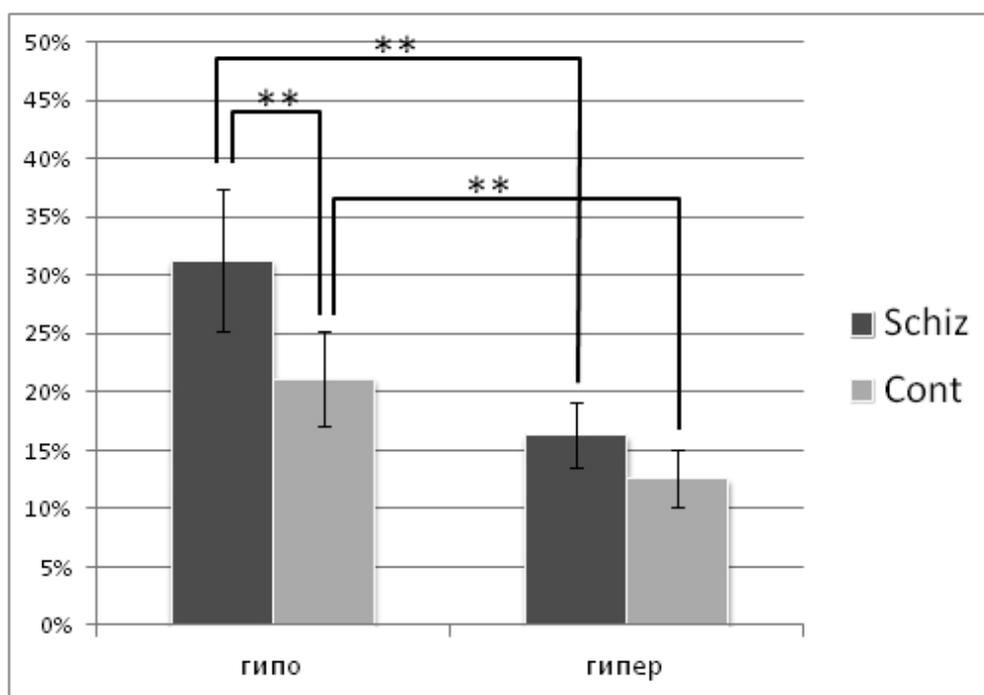


Рис.5. Доли гипо- и гиперметричных саккад в норме и при шизофрении переделаны (** – $p \leq 0,01$, Т-критерий Стьюдента).

Хотя низкая производительность при выполнении произвольных саккад у людей с шизофренией, видимо, не является специфичным признаком, она представляет часть общего профиля глазодвигательных реакций при данном заболевании.

Точность программирования и выполнения саккады отражается в степени выраженности дисметрии. Наряду со сниженной оперативностью, у пациентов с шизофренией нами выявлен дефицит точности произвольных саккад по сравнению с нормой (значимо более высокая доля дисметричных саккад в целом и гипосаккад в частности). Ранее, Chobak и соавторы также выявили значимо большее количество дисметричных саккад у пациентов с шизофренией и с биполярным расстройством по сравнению со здоровыми испытуемыми [21]. Другие немногочисленные работы, объединяющие данные о снижении точности выполнения произвольных движений глаз при разных психопатологиях (шизофрения, болезнь Паркинсона, обсессивно-компульсивное расстройство, биполярное расстройство), отмечают увеличение доли ошибок при произвольном контроле саккадических движений глаз как тенденцию [8, 22, 23]. Однако в этих работах тестовые задания связаны либо с когнитивным анализом стимула, либо с подавлением рефлексорной саккады.

Выявленное нами значимое преобладание дисметрии у пациентов с шизофренией по сравнению с контролем только в отношении горизонтальных, но не вертикальных саккад, может быть связано с различиями нейронального контроля. Горизонтальные произвольные саккады инициируются фронтальными глазодвигательными полями (frontal eye fields, FEF), их проекции прямо и опосредованно (через верхние бугры четверохолмия) идут контрлатерально к парамедиальной ретикулярной формации моста (ПРФМ), в то время как для вертикальных произвольных движений единого кортикального центра на данный момент не обнаружено, но известно, что многие области коры, имеющие проекции на ростральную часть среднего мозга, вовлечены в программирование таких движений [6]. Возможно, участие различных кортикальных областей в контроле вертикальных движений глаз позволяет скомпенсировать имеющиеся при шизофрении дисфункции фронтальной коры, что и приводит к отсутствию статистически значимых различий в показателях точности саккад при вертикальном предъявлении стимула и наличии таковых при горизонтальных движениях (рис. 4).

В научной периодике практически отсутствуют работы, в которых бы рассматривались разные виды дисметричных саккад. В то же время, некоторые авторы указывают наличие у пациентов с шизофренией гипометрии без указания конкретного типа. Возможно, такое невнимание исследователей к дифференцированной оценке типов дисметрии связано со сложностью механизмов контроля и программирования амплитуды произвольных саккад и, как следствие, неоднозначностью в интерпретации полученных данных. Тем не менее, нам представляется важным оценить вклад различных типов ошибок амплитуды саккад в общую картину дисметрии, наблюдающейся при шизофрении, для того, чтобы описать профиль окуломоторных нарушений при данной патологии.

Значимо большая доля гипометричных саккад у пациентов с шизофренией по сравнению с контролем согласуется с данными ряда других исследований. Например, известно, что в тестах на предиктивные (предупреждающие) саккады пациенты с шизофренией, вне зависимости от того принимают они антипсихотики или нет, также совершают больше гипометричных саккад, чем испытуемые группы контроля [19]. Таким образом, можно предполагать, что причина гипометрии не в воздействии антипсихотиков на экстрапирамидальную систему, а недостаточные по амплитуде произвольные саккады являются частью эндотипа шизофрении.

Увеличение доли гипосаккад обычно связывают с дефицитом контроля со стороны префронтальной коры [19], что может объясняться феноменом гипофронтальности, наблюдающимся при шизофрении [25]. Другой причиной гипометрии может быть нарушение функций дорсальной части червя мозжечка, который участвует в программировании амплитуды саккады [26]. Интересно, что в литературе есть многочисленные доказательства нарушений в морфологии, коннектомике и функционировании мозжечка у пациентов с шизофренией [18, 27]. Гипометрия может быть связана и с нарушениями в структурах среднего мозга, которые получают сигналы от мозжечка (в частности, от червя, шатра и клочка), задействованных в программировании амплитуды саккады. Известно также, что пачечные нейроны ростральной части ПРФМ во время фиксации ингибируются

омнипаузными нейронами ядра шва, и преждевременное включение этого ингибирования во время саккады может привести к гипометрии [26]. Кроме того, дисбаланс дофаминергической системы, имеющийся при шизофрении, приводит к нарушению регуляции в базальных ганглиях [1], которые наряду с глазодвигательными полями префронтальной коры входят в окулomotorные нервный контур [6]. Это также оказывает влияние на процесс генерации произвольных саккадических движений глаз, в том числе программирование амплитуды саккады. Таким образом, обнаруженное в данной работе преобладание гипометрии может говорить о нарушениях координации между процессами, протекающими при программировании амплитуды саккады в конечном, среднем и заднем мозге.

Увеличение доли гипометричных саккад у пациентов с шизофренией происходит в основном за счет большего по сравнению с контролем количества мультисаккад (табл. 1). Их появление может быть отражением поражений третьего уровня саккадной системы, включающего в себя базальные ганглии. Так, при болезни Паркинсона увеличение доли мультисаккад наблюдается при снижении уровня дофамина в компактной части черной субстанции и ослаблении его воздействия на хвостатое ядро через nigrostriальный тракт [14, 20]. Известно также, что характерное для шизофрении нарушение равновесия дофаминергической системы [1], сказывается на функционировании базальных ганглиев [28]. Можно предположить, что наблюдаемое нами увеличение доли мультисаккад связано не с характером активности nigrostriального пути и его воздействия на базальные ганглии, а с самим фактом нарушения регулирующего воздействия со стороны базальных ганглиев на верхнее двухолмие.

Интересно, что наши результаты не показали статистически значимого увеличения в экспериментальной группе по сравнению с контролем доли гиперсаккад со статическим овершутом (3 тип), коррекция которых идет с участием коры [6, 15], но имеется значимое увеличение доли гиперсаккад с динамическим овершутом (1 тип), коррекция которых происходит без высшего контроля [10, 16]. Возможные причины возникновения динамических гиперсаккад – несвоевременное прерывание саккады ипсилатеральными сигналами от мозжечка [16] или изменение тонических свойств глазодвигательных мышц [26], что не противоречит особенностям общего состояния моторной системы у людей, страдающих шизофренией [15, 17].

В целом, полученные данные свидетельствуют о нарушениях в программировании и выполнении произвольных саккад при шизофрении. Сниженная оперативность выполнения задания сочетается с дефицитом точности амплитуды быстрых движений глаз. Насколько такие отклонения специфичны для данной психопатологии и можно ли их использовать в качестве маркеров шизофрении требуется проверить в рамках дополнительных исследований.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, проведенное исследование подтвердило наличие дефицита окулomotorной оперативности (количество фиксаций за установленное время) в

группе людей с диагнозом шизофрения. Нами было подтверждено увеличение доли дисметричных саккад и показано преобладание горизонтальных саккад в этой доле. Касаемо форм дисметрии, стоит подчеркнуть, что в обеих группах были обнаружены все описанные типы дисметричных саккад, однако в группе шизофрении преобладают мультисаккады, что, как мы предполагаем может выступать в качестве характерного признака данного расстройства.

Список литературы

1. McCutcheon R. A. Schizophrenia, dopamine and the striatum: from biology to symptoms / McCutcheon R. A., Abi-Dargham A., Howes O. D. // *Trends in neurosciences* – 2019 – Vol. 42(3) – P. 205–220.
2. Fan F. Subcortical structures and cognitive dysfunction in first episode schizophrenia / Fan F., Xiang H., Tan S., Yang F., Fan H., Guo H., Tan Y. // *Psychiatry Research: Neuroimaging*, – 2019 – Vol. 286 – P. 69–75.
3. Honea R. Regional deficits in brain volume in schizophrenia: a meta-analysis of voxel-based morphometry studies / Honea R., Crow T. J., Passingham D., Mackay C. E. // *Am J Psychiatry* – 2005 – Vol. 162(12) – P. 2233–2245.
4. Del Re E. C. Enlarged lateral ventricles inversely correlate with reduced corpus callosum central volume in first episode schizophrenia: association with functional measures / Del Re E. C., Konishi J., Bouix S., Blokland G. A., Mesholam-Gately R. I., Goldstein J., Petryshen T. // *Brain imaging and behavior* – 2016 – Vol. 10(4) – P. 1264–1273.
5. Kahn R. S. Schizophrenia / Kahn R. S., Sommer I. E., Murray R. M., Meyer-Lindenberg A., Weinberger D. R., Cannon T. D., Insel T. R. // *Nature Reviews Disease Primers* – 2015 – Vol. 15 – 15067
6. Вит В. В. Строение зрительной системы человека / Вит В. В. – Одесса: Астропринт, 2003 – 664 с.
7. Kleineidam L. Antisaccade and prosaccade eye movements in individuals clinically at risk for psychosis: comparison with first-episode schizophrenia and prediction of conversion / Kleineidam L., Frommann I., Ruhrmann S., Klosterkötter J., Brockhaus-Dumke A., Wölwer W., Ettinger U. // *European archives of psychiatry and clinical neuroscience* – 2019 – Vol. 269(8) – P. 921–930.
8. Morita K. Eye movement characteristics in schizophrenia: A recent update with clinical implications / Morita K., Miura K., Kasai K., Hashimoto R. // *Neuropsychopharmacology reports* – 2019 – Vol. 00 – P. 1–8.
9. Klein C. Eye Movement Research: An Introduction to Its Scientific Foundations and Applications / Klein C., Ettinger U. – Springer Nature, 2019 – 1015 p.
10. Myles J. B. Insights to the schizophrenia continuum: A systematic review of saccadic eye movements in schizotypy and biological relatives of schizophrenia patients / Myles J. B., Rossell S. L., Phillipou A., Thomas E., Gurvich C. // *Neuroscience & Biobehavioral Reviews* – 2017 – Vol. 72 – P. 278–300.
11. Obyedkov I. Saccadic eye movements in different dimensions of schizophrenia and in clinical high-risk state for psychosis / Obyedkov I., Skuhareuskaya M., Skugarevsky O., Obyedkov V., Buslauski P., Skuhareuskaya T., Waszkiewicz N. // *BMC psychiatry* – 2019 – Vol. 19(1) – 110 p.
12. Haddad P. M. The acute efficacy of antipsychotics in schizophrenia: a review of recent meta-analyses. / Haddad P. M., Correll C. U. // *Therapeutic advances in psychopharmacology* – 2018 – Vol. 8(11) – P. 303–318.
13. Hutton S. B. Saccadic hypometria in drug-naive and drug-treated schizophrenic patients: a working memory deficit? / Hutton S. B., Cuthbert I., Crawford T. J., Kennard C., Barnes T. R., Joyce E. M. // *Psychophysiology* – 2001 – Vol. 38(1) – P 125–132.
14. Литвинова А. С. Возрастные изменения параметров саккадических движений глаз в норме и при болезни Паркинсона / Литвинова А. С., Ратманова П. О., Евина Е. И., Богданов Р. Р., Куницына А. Н., Напалков Д. А. // *Физиология человека* – 2011 – Том 37(2) – С. 40–47.
15. Bahill T. Dynamic overshoot in saccadic eye movements is caused by neurological control signal reversals / Bahill T., Clark M. R., Stark L. // *Experimental Neurology* – 1975 – Vol. 48 – P. 107–122.

16. Daye P. M. Neuromimetic model of saccades for localizing deficits in an atypical eye-movement pathology / Daye P. M., Optican L. M., Roze E., Gaymard B., Pouget P. // *Journal of Translational Medicine* – 2013 – Vol. 11(1) – P. 125–138.
17. Александров Ю. И. Психофизиология. / Александров Ю. И. – СПб.: Питер, 2014 – 464 с.
18. Picard H. Impaired saccadic adaptation in schizophrenic patients with high neurological soft sign scores / Picard H., Le Seac'h A., Amado I., Gaillard R., Krebs M.-O., Beauvillain C. // *Psychiatry Research* – 2012 – Vol. 199 – P. 12–18.
19. Munoz D. P. Look away: the anti-saccade task and the voluntary control of eye movement / Munoz D. P., Everling S. // *Nature Rev. Neurosci* – 2004 – Vol. 5 – P. 218–228.
20. Литвинова А. С. Возрастные особенности глазодвигательных реакций в норме и при болезни Паркинсона / Литвинова А. С., Ратманова П. О., Богданов Р. Р., Напалков Д. А. // *Вестник здоровья и образование в XXI веке* – 2014. – Том 16(8) – С. 1–2.
21. Chrobak A. A. Neurological and cerebellar soft signs do not discriminate schizophrenia from bipolar disorder patients / Chrobak A. A., Siwek G. P., Siuda-Krzywicka K., Arciszewska A., Starowicz-Filip A., Siwek M., Dudek D. // *Progress in Neuro-Psychopharmacology & Biological Psychiatry* – 2016. – Vol. 64 – P. 96–101.
22. Damiou A. Shared and distinct oculomotor function deficits in schizophrenia and obsessive compulsive disorder / Damiou A., Apostolakis S., Thrapsanioti E., Theleritis C., Smyrnis N. // *Psychophysiology* – 2016 – Vol. 53(6) – P. 796–805.
23. Thakkar K. N. Cognitive control of gaze in bipolar disorder and schizophrenia / Thakkar K. N., Schall J. D., Logan G. D., Park S. // *Psychiatry Res.* – 2015 – Vol. 225(3) – P. 254–262.
24. Luck S. J. The hyperfocusing hypothesis: A new account of cognitive dysfunction in Schizophrenia / Luck S. J., Hahn B., Leonard C. J., Gold J. M. // *Schizophrenia bulletin* – 2019 – Vol. 45(5) – P. 991–1000.
25. Киренская А. В. Нейрофизиологические эндотипы шизофрении как инструмент для изучения внимания и контроля поведения. Перспективы исследований и диагностики / Киренская А. В., Сторожева З. И., Ткаченко А. А. – СПб. Нестор-История, 2015 – 336 с.
26. Leigh R. J. The Neurology of Eye Movements / Leigh R. J., Zee D. S. – New York: Oxford University Press, 2015 – 1109 p.
27. He H. Reduction in gray matter of cerebellum in schizophrenia and its influence on static and dynamic connectivity / He H., Luo C., Luo Y., Duan M., Yi Q., Biswal B. B., Yao D. // *Human brain mapping* – 2019 – Vol. 40(2) – P. 517–528.
28. Bernard J. A. Patients with schizophrenia show aberrant patterns of basal ganglia activation: Evidence from ALE meta-analysis / Bernard J. A., Russell C. E., Newberry R. E., Goen J. R., Mittal V. A. // *NeuroImage: Clinical* – 2017. – Vol. 14 – P. 450–463.

DYSMETRIA OF VOLUNTARY SACCADES IN SCHIZOPHRENIA

Shvaiko D. A., Budenkova E. A., Vakolyuk I. A., Shalaginova I. G.

*Immanuel Kant Baltic Federal university – Institute of Chemistry and Biology, Kaliningrad, Russia
E-mail: dshvaiko@kantiana.ru*

In schizophrenia occur structural and functional changes in frontal and temporal cortex, thalamus, amygdala and hippocampus, an increase in ventricular volume, a decrease in the size of the corpus callosum. These changes are considered as the neurobiological basis of cognitive deficit observed in patients. These structures are involved in the generation of saccadic eye movements. This fact allows us to use the oculography method to search for objective criteria for assessing the functional state of the brain in schizophrenia.

In works devoted to assessing the accuracy of the amplitude of voluntary eye movements is reported about an increase in the proportion of hypometrical visually induced saccades in patients with schizophrenia compared with the control group. The detected saccade dysmetry is associated with a spatial memory deficit and lacking of control from the frontal cortex. It should be noted that most of the known studies have been conducted with the participation of patients undergoing heterogeneous drug treatment. And the methodological approaches to the study of oculomotor activity in these studies are different. This does not allow to make a detailed profile of oculomotor reactions in schizophrenia. In this regard, it seems appropriate to study the absolute and relative indices of voluntary saccades in patients with schizophrenia who are not receiving drug therapy, in order to identify possible oculomotor markers that can further help in the diagnosis of this disease.

In the study participated 42 people: 16 schizophrenia patients (3 males and 13 females, average age 37.6 ± 4 years) and 26 healthy subjects (3 males and 23 females, average age 22 ± 1.5 years). Schizophrenia patients did not take any antipsychotic drugs before admission to the hospital and participated in the study no later than twenty-four hours after the start of drug treatment.

The procedure research: participants made vertical and horizontal voluntary saccades in response to a tree-dot stimulus. Time of one presentation of a stimulus – 20 seconds. Before presenting the stimulus, the participant received instructions to move their eyes from dot to dot as quickly as possible without moving their head. The video camera recorded in the infrared range with frequency 50 Hz was located next to the monitor (30–40 angular degrees relative to the monitor-participant axis) from the side of the patient's leading eye. Registration was carried out in a room with ambient light, using infrared illumination.

The proportion of dysmetric saccades was calculated as the ratio of the number of cases of dysmetria to the total number of gaze movements from point to point during the presentation of the stimulus. Statistical analysis was done using the SPSS statistical software package. To determinant the nature of the distribution, the Kolmogorov-Smirnov criterion was used, the significance of differences (independent samples) was determined by the Student t-test. One-way ANOVA was used to evaluate the effect of the disease on the proportion of dysmetric saccades.

Both with horizontal and vertical arrangement of stimulus, patients with schizophrenia made fewer fixations in 20 seconds than healthy subjects. Also, patients with schizophrenia commit significantly more dysmetric saccades compared to the healthy subjects. Both in the experimental and in the control groups, a predominance of hypometrical errors over hypermetric ones is observed. Moreover, in patients with schizophrenia, this difference is significantly higher. The presence of the disease "schizophrenia" (one-way ANOVA) significantly affects the proportion of multisaccades, as well as the proportion of dynamic hypersaccades in the horizontal direction. An increase in the proportion of hyposaccades is usually associated with an interruption of control from the prefrontal cortex, which can be explained by the phenomenon of hypofrontality observed in schizophrenia. It can be assumed that the increase in the proportion of saccadic hypometria is a manifestation of the endophenotype of

schizophrenia.

Although low productivity in performing voluntary saccades in people with schizophrenia is probably not a specific symptom, it represents part of the overall profile of oculomotor reactions in this disease. The detected predominance of dysmetria in patients with schizophrenia compared with the control in respect to horizontal, but not vertical saccades, may be due to differences in neuronal control. Perhaps the involvement of different cortical areas in the control of vertical eye movements compensates dysfunction of the frontal cortex, which leads to a lack of statistically significant differences in the vertical saccades accuracy and the presence of such differences in the horizontal saccades accuracy.

Keywords: attention, saccade programming, saccades dysmetria, schizophrenia, videooculography.

References

1. McCutcheon R. A., Abi-Dargham A., Howes O. D., Schizophrenia, dopamine and the striatum: from biology to symptoms, *Trends in neurosciences*, **42**(3), 205 (2019).
2. Fan F., Xiang H., Tan S., Yang F., Fan H., Guo H., Tan Y., Subcortical structures and cognitive dysfunction in first episode schizophrenia, *Psychiatry Research: Neuroimaging*, **286**, 69-75 (2019).
3. Honea R., Crow T. J., Passingham D., Mackay C. E., Regional deficits in brain volume in schizophrenia: a meta-analysis of voxel-based morphometry studies, *Am J Psychiatry*, **162**(12), 2233 (2005).
4. Del Re E. C., Konishi J., Bouix S., Blokland G. A., Mesholam-Gately R. I., Goldstein J., Petryshen T., Enlarged lateral ventricles inversely correlate with reduced corpus callosum central volume in first episode schizophrenia: association with functional measures, *Brain imaging and behavior*, **10**(4), 1264 (2016).
5. Kahn R. S., Sommer I. E., Murray R. M., Meyer-Lindenberg A., Weinberger D. R., Cannon T. D., Insel T. R. Schizophrenia, *Nature Reviews Disease Primers*, **15067**, 15 p. (2015).
6. Vit V. V. *The structure of the human visual system*, 664 p. (Astroprint, Odessa, 2003).
7. Kleineidam L., Frommann I., Ruhrmann S., Klosterkötter J., Brockhaus-Dumke A., Wölwer W., Ettinger U., Antisaccade and prosaccade eye movements in individuals clinically at risk for psychosis: comparison with first-episode schizophrenia and prediction of conversion, *European archives of psychiatry and clinical neuroscience*, **269**(8), 921 (2019).
8. Morita K., Miura K., Kasai K., Hashimoto R., Eye movement characteristics in schizophrenia: A recent update with clinical implications, *Neuropsychopharmacology reports*, **00**, 1 (2019).
9. Klein C., Ettinger U. *Eye Movement Research: An Introduction to Its Scientific Foundations and Applications*, 1015 p. (Springer Nature, Heidelberg, 2019).
10. Myles J. B., Rossell S. L., Phillipou A., Thomas E., Gurvich C., Insights to the schizophrenia continuum: A systematic review of saccadic eye movements in schizotypy and biological relatives of schizophrenia patients, *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, **72**, 278 (2017).
11. Obyedkov I., Skuhareuskaya M., Skugarevsky O., Obyedkov V., Buslauski P., Skuhareuskaya T., Waszkiewicz N., Saccadic eye movements in different dimensions of schizophrenia and in clinical high-risk state for psychosis, *BMC psychiatry*, **19**(1), 110 p. (2019).
12. Haddad P. M., Correll C. U., The acute efficacy of antipsychotics in schizophrenia: a review of recent meta-analyses, *Therapeutic advances in psychopharmacology*, **8**(11), 303 (2018).
13. Hutton S. B., Cuthbert I., Crawford T. J., Kennard C., Barnes T. R., Joyce E. M., Saccadic hypometria in drug-naïve and drug-treated schizophrenic patients: a working memory deficit? *Psychophysiology*, **38**(1), 125 (2001).
14. Litvinova A. S., Ratmanova P. O., Evina E. I., Bogdanov R. R., Kunitsyna A. N., Napalkov D. A., Age-related changes in saccadic eye movements in healthy subjects and patients with Parkinson's disease, *Human Physiology*, **37**(2), 40 (2011).

15. Bahill T., Clark M. R., Stark L., Dynamic overshoot in saccadic eye movements is caused by neurological control signal reversals, *Experimental Neurology*, **48**, 107 (1975).
16. Daye P. M., Optican L. M., Roze E., Gaymard B., Pouget P., Neuromimetic model of saccades for localizing deficits in an atypical eye-movement pathology, *Journal of Translational Medicine*, **11**(1), 125 (2013).
17. Alexandrov U. I., *Psychophysiology*, 464 p. (Piter, St. Petersburg, 2014).
18. Picard H., Le Seac'h A., Amado I., Gaillard R., Krebs M.-O., Beauvillain C., Impaired saccadic adaptation in schizophrenic patients with high neurological soft sign scores, *Psychiatry Research*, **199**, 12 (2012).
19. Munoz D. P., Everling S., Look away: the anti-saccade task and the voluntary control of eye movement, *Nature Rev. Neurosci*, **5**, 218 (2004).
20. Litvinova A. S., Ratmanova P. O., Bogdanov R. R., Napalkov D. A., Age-related features of oculomotor reactions in norm and in Parkinson's disease, *Bulletin of Health and Education in the 21st Century*, **16**(8), 1 (2014).
21. Chrobak A. A., Siwek G. P., Siuda-Krzywicka K., Arciszewska A., Starowicz-Filip A., Siwek M., Dudek D., Neurological and cerebellar soft signs do not discriminate schizophrenia from bipolar disorder patients, *Progress in Neuro-Psychopharmacology & Biological Psychiatry*, **64**, 96 (2016).
22. Damilou A., Apostolakis S., Thrapsanioti E., Theleritis C., Smyrnis N., Shared and distinct oculomotor function deficits in schizophrenia and obsessive compulsive disorder, *Psychophysiology*, **53**(6), 796 (2016).
23. Thakkar K. N., Schall J. D., Logan G. D., Park S., Cognitive control of gaze in bipolar disorder and schizophrenia, *Psychiatry Res*, **225**(3), 254 (2015).
24. Luck S. J., Hahn B., Leonard C. J., Gold J. M., The hyperfocusing hypothesis: A new account of cognitive dysfunction in Schizophrenia, *Schizophrenia bulletin*, **45**(5), 991 (2019).
25. Kirenskaya A. V., Storozheva Z. I., Tkachenko A. A., *Neurophysiological endophenotypes of schizophrenia as a tool for studying attention and controlling behavior, Research and Diagnostic Prospects*, 336 p. (Nestor-Story, St. Petersburg, 2015).
26. Leigh R. J., Zee D. S., *The Neurology of Eye Movements*, 1109 p. (Oxford University Press, New York, 2015).
27. He H., Luo C., Luo Y., Duan M., Yi Q., Biswal B. B., Yao D., Reduction in gray matter of cerebellum in schizophrenia and its influence on static and dynamic connectivity, *Human brain mapping*, **40**(2), 517 (2019).
28. Bernard J. A., Russell C. E., Newberry R. E., Goen J. R., Mittal V. A., Patients with schizophrenia show aberrant patterns of basal ganglia activation: Evidence from ALE meta-analysis, *NeuroImage: Clinical*, **14**, 450 (2017).

ХИМИЧЕСКИЕ НАУКИ

Ученые записки Крымского федерального университета имени В. И. Вернадского
Биология. Химия. Том 6 (72). 2020. № 4. С. 212–220.

УДК 615.281 + 547.787.1

СИНТЕЗ И РАСЧЕТНАЯ БИОЛОГИЧЕСКАЯ АКТИВНОСТЬ ИМИНОВ БЕНЗИМИДАЗОЛЬНОГО РЯДА

Баевский М. Ю., Куренков И. А., Цикалов В. В., Цикалова В. Н., Черетаев И. В.

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

На основе 1-метил-1*H*-бензимидазол-2-карбальдегида путем его конденсации с ароматическими и гетероароматическими аминами синтезирован ряд иминов, содержащих в своей структуре с одной стороны бензимидазольную группу, а с другой – фенильные и пиразольные фрагменты. Получение 1-метил-1*H*-бензимидазол-2-карбальдегида осуществлялось окислением *N*-метилгидроксиметильного производного бензимидазола селенистой кислотой. Структуры полученных иминов подтверждены методом ПМР-спектроскопии, определены их физические константы. Программой PASSOnline рассчитана потенциальная биологическая активность.

Ключевые слова: карбальдегид, имин, бензимидазолы, PASSOnline.

ВВЕДЕНИЕ

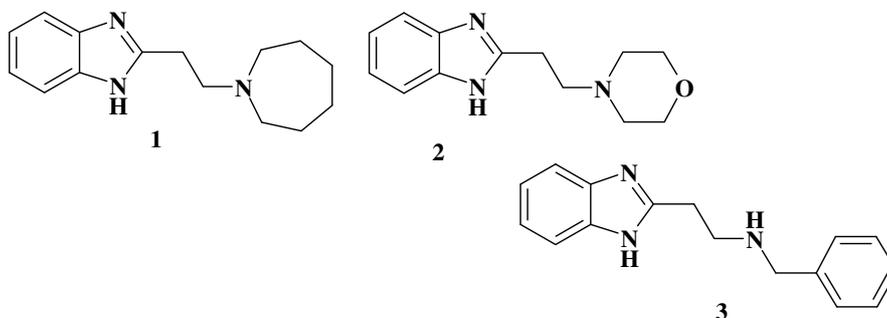
Многие гетероциклические соединения в той или иной степени проявляют биологическую активность или участвуют в построении биомолекул. К широко распространенным биологически активным гетероциклическим соединениям относятся бензимидазол и его производные, которые характеризуются более чем 25 видами фармакологической активности, среди которых иммуномодулирующая, седативная и антиаллергическая активности. На основе этих производных создано большое количество фармацевтических препаратов, обладающих, в частности, антимикробным и противовирусным действием [1, 2]. Также, производные бензимидазола успешно применяются в сельском хозяйстве в качестве фунгицидов и протрав семян [3].

Широкий спектр биологической активности производных бензимидазольного ряда можно объяснить сочетанием в одной молекуле фрагментов с разными фармакотерапевтическими профилями. Такой подход использован в основе концепции «гибридных лекарственных средств» и применяется с целью расширения диапазона использования фармацевтических препаратов и достижения иных фармакологических свойств [4–6]. Создание гибридных молекул, которые будут

содержать в своей структуре несколько фармакофоров, представляет собой активно развивающееся направление современного органического синтеза [7].

Для программного прогнозирования биологической активности химического соединения широко используется платформа PASS (Prediction of Activity Spectra for Substances). Она работает по принципу «активность – структура», где структура соединения описывается ее отдельными функциональными элементами (дескрипторами) – радикалами, функциональными группами атомов [8].

В научных исследованиях, проводимых на кафедре органической и биологической химии КФУ им. В.И. Вернадского, была выявлена корреляция строения с прогнозируемой биологической активностью для ряда синтезированных соединений. С высокой вероятностью программа PASSOnline выявила возможные виды активности для ряда бензимидазольных производных **1–3**. Для производного азепана **1** выявлена возможность «лечения острых неврологических расстройств», для бензимидазольного производного морфолина **2** – «лечение фобических расстройств», «противоневротическое действие», «церебральное противоишемическое». В случае бензимидазольного производного бензиламина **3** программа PASSOnline выявила возможное «церебральное противоишемическое» действие [9, 10].



Целью данной работы является изучение процессов конденсации 1-метил-1*H*-бензимидазол-2-карбальдегида с ароматическими и гетероароматическими аминами с заведомо высокой фармакологической активностью и вычисление прогнозируемой биологической активности иминов бензимидазольного ряда.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В работе использованы: *o*-фенилендиамин, гликолевая кислота, иодметан, гидроксид натрия, селенистая кислота, анилин, 2-амино-4-хлорфенол, *p*-аминобензойная кислота, 4-аминоантипирин или 4-амино-1,5-диметил-2-фенил-1,2-дигидропиразол-3-он, (4-амино-2-хлор-5-метилфенил)-(4-хлорфенил)ацетонитрил.

Анализ состава реакционных смесей, чистоты синтезированных соединений, а также контроль хода реакций осуществляли методом тонкослойной хроматографии (ТСХ) на пластинках Kieselgel 60-F254 (Merck) в системе растворителей бензол–пропан-2-ол, 10:1 (А). Вещества обнаруживали визуально по люминесценции в УФ (254 нм). Спектр ¹H ЯМР получен на приборе Varian VXR-400 (400 МГц) (Институт

живых систем Северо-Кавказского федерального университета, г. Ставрополь), внутренний стандарт – тетраметилсилан, химические сдвиги приведены в δ -шкале.

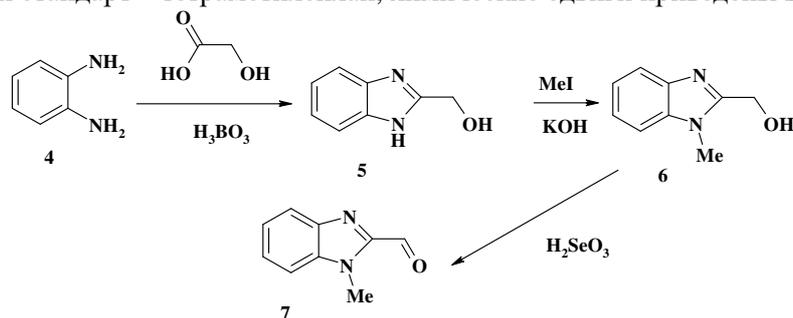


Рис.1. Схема синтеза 1-метил-1*H*-бензимидазол-2-карбальдегида **7**.

2-Гидроксиметил-1*H*-бензимидазол (**5**).

В плоскодонную колбу ёмкостью 100 мл загружают 6,3 г (0,1 моль) борной кислоты, 9,5 г (0,125 моль) гликолевой кислоты и 10,8 г (0,1 моль) *o*-фенилендиамина **4**. Реакционную смесь нагревают до температуры 150°C и выдерживают при данной температуре в течение двух часов. Затем реакционную массу охлаждают до 60–70°C и растворяют в 200 мл 1,0 н раствора соляной кислоты. После добавляют 15 г мелкоизмельченного активированного угля. Доводят реакционную массу до кипения и кипятят в течение 20 минут, после чего фильтрованием на складчатом фильтре отделяют активированный уголь. Фильтрат нейтрализуют 25 %-ным водным раствором аммиака до pH 8–9. Выпавший в осадок продукт реакции отфильтровывают и высушивают в сушильном шкафу при температуре 120 °С. Выход **5** – 88 %, т. пл. = 171–172 °С.

1-Метил-2-гидроксиметил-1*H*-бензимидазол (**6**).

В круглодонной колбе ёмкостью 1000 мл, снабженной мешалкой, растворяют смесь 54,2 г (0,4 моль) 2-гидроксиметил-1*H*-бензимидазола и 24 г (0,6 моль) кристаллического NaOH, растворенного в 0,5 л пропан-2-ола, затем по каплям добавляют 31 мл (0,5 моль) иодметана. Смесь кипятят 5 часов. Образовавшийся осадок соли отфильтровывают, промывают на фильтре спиртом. Спирт упаривают, а остаток растворяют в 300 мл бензола. Раствор промывают 10 %-ным раствором NaOH, затем водой. Органический слой упаривают. Полученный осадок перекристаллизовывают из 1,4-диоксана. Выход **6** – 88 %, т. пл. = 150–152°C.

1-Метил-1*H*-бензимидазол-2-карбальдегид (**7**).

14,5 г (0,09 моль) 1-Метил-2-гидроксиметил-1*H*-бензимидазола и 5,8 г (0,045 моль) селенистой кислоты растворяют в 100 мл смеси 1,4-диоксана и толуола в плоскодонной колбе с насадкой Дина-Старка и обратным холодильником. Полученный раствор нагревают до кипения при интенсивном перемешивании и кипятят в течение 1 часа. После окончания реакции раствор охлаждают, черный осадок селена отделяют декантацией и промывают смесью диоксана и толуола. Полученный раствор упаривают. Выделившееся кристаллическое вещество сушат. Полученный альдегид **7** хроматографически чист и пригоден для дальнейшего

использования без дополнительной очистки. Выход **7** – 87 %, т. пл. 111–113 °С (рис. 1).

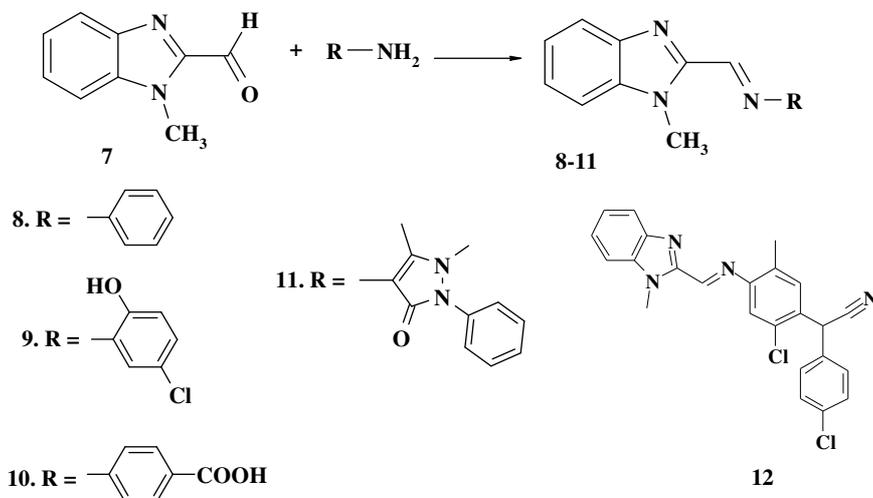


Рис. 2. Схема синтеза иминовых производных бензимидазола **8-12**.

Общий метод получения иминов бензимидазольного ряда.

0,01 Моль соответствующего амина растворяют в плоскодонной колбе в 10 мл пропан-2-ола, затем добавляют 1,6 г (0,01 моль) 1-метил-1*H*-бензимидазол-2-карбальдегида и нагревают с обратным холодильником в течение 1 часа при интенсивном перемешивании. Контроль за ходом реакции ведут методом ТСХ, система А. По окончании реакции смесь охлаждают до комнатной температуры. Выпавший осадок отфильтровывают, промывают холодным растворителем. Полученное вещество кристаллизуют из пропан-2-ола и сушат на воздухе.

1. **[1-(1-Метил-1*H*-бензимидазол-2-ил)метилен]фениламин (8)**. Выход – 22%, т. пл. = 112–114 °С. ¹Н ЯМР (400 МГц, DMSO-d₆): 4,25 м.д., с (3H, N-CH₃), 7,35–7,80 м.д., м (9H, Ar), 8,75 м.д., с (1H, N=C-H).

2. **4-Хлор-2-[[1-(1-метил-1*H*-бензимидазол-2-ил)метилен]амино]фенол (9)**. Выход – 43%, т. пл. = 214–215 °С. ¹Н ЯМР (400 МГц, DMSO-d₆): 4,25 м.д., с (3H, N-CH₃), 6,95–7,81 м.д., м (7H, Ar), 8,83 м.д., с (1H, N=C-H), 9,75 м.д., у.с. (1H, O-H).

3. **4-[[1-(1-метил-1*H*-бензимидазол-2-ил)метилен]амино]бензойная кислота (10)**. Выход – 89,2%, т. пл. = 280–283 °С. ¹Н ЯМР (400 МГц, DMSO-d₆): 4,25 м.д., с (3H, N-CH₃), 7,30–8,07 м.д., м (8H, Ar), 8,77 м.д., с (1H, N=C-H), 11,35 м.д., у.с. (1H, -COOH).

4. **1,5-Диметил-4-[[1-(1-метил-1*H*-бензимидазол-2-ил)метилен]амино]-2-фенил-1,2-дигидропиразол-3-он (11)**. Выход – 74,7%, т. пл. = 237–241 °С. ¹Н ЯМР (400 МГц, DMSO-d₆): 2,50 м.д., с (3H, =C-CH₃), 4,25 м.д., с (6H, 2N-CH₃), 7,25–7,70 м.д., м (9H, Ar), 9,70 м.д., с (1H, N=C-H).

5. **2-Хлор-4-метил-4-[[1-метил-1*H*-бензимидазол-2-ил)метилен]амино-фенил-(4-хлорфенил)ацетонитрил (12)**. Выход – 87,5%, т. пл. = 245–248 °С. ¹Н

ЯМР (400 МГц, DMSO-d₆): 2,40 м.д., с (3H, =C-CH₃), 4,25 м.д., с (3H, N-CH₃), 6,1 м.д., с (1H, C-H), 7,25–7,80 м.д., м (10H, Ar), 8,70 м.д., с (1H, N=C-H).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

В качестве исходного синтона для получения различных иминов бензимидазольного ряда был использован 1-метил-1*H*-бензимидазол-2-карбальдегид, который в свою очередь был получен с выходом 87% окислением метильного производного 2-гидроксиметил-1*H*-бензимидазола сelenистой кислотой.

Конденсацию 1-метил-1*H*-бензимидазол-2-карбальдегида со следующими аминами: анилином, 2-амино-4-хлорфенолом, *n*-аминобензойной кислотой, 4-амино-1,5-диметил-2-фенил-1,2-дигидропиразол-3-оном и (4-амино-2-хлор-5-метилфенил)-(4-хлорфенил)ацетонитрилом проводили стандартно при нагревании и перемешивании в среде изопропилового спирта. Карбальдегид **7** и исходные амины реагировали в эквимолярных соотношениях. Конечные вещества были выделены кристаллизацией с соответствующими выходами: 22 %, 43 %, 89 %, 75 %, и 86 %. Строение всех полученных иминов **8–12** подтверждено методом ПМР-спектроскопии. Для каждого вещества идентифицирован синглет протонов метильной группы бензимидазола в области 4,25 м.д., что подчеркивает однозначное алкилирование иодметаном 2-гидроксиметил-1*H*-бензимидазола, а также синглет протона Н=C=N фрагмента в области 8,70–9,70 м.д., что указывает на конденсацию карбонильной группы бензальдегида и амногруппы сложных аминов.

Программой PASSOnline для [1-(1-метил-1*H*-бензимидазол-2-ил)метилен]фениламина (**8**) были предсказаны следующие возможные виды биологической активности – антипротозойная с вероятностью 59 %, противовирусная с вероятностью 60 %, «регулятор метаболизма нуклеотидов» с вероятностью 46 %, «ингибитор инсулина» 56 %, «стимуляция функции почек» с вероятностью 43 %.

Расчетное значение программы PASSOnline для 4-хлор-2-[[1-(1-метил-1*H*-бензимидазол-2-ил)метилен]амино]фенола (**9**) показало следующие возможные виды активности – антипротозойная с вероятностью 50 %, противовирусная (пикорнавирус) с вероятностью 41 %, «антитуберкулезная» с вероятностью 39 %, «ингибитор инсулина» 55 %, антигельминтная с вероятностью 37 %.

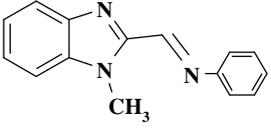
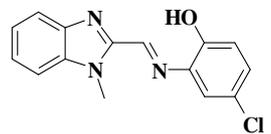
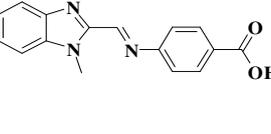
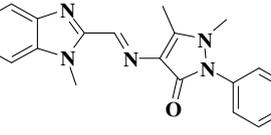
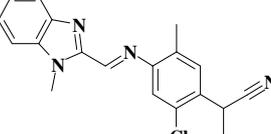
Для 4-[[1-(1-метил-1*H*-бензимидазол-2-ил)метилен]амино]бензойной кислоты (**10**) расчетное значение программы PASSOnline выявило следующие возможные виды активности – противовирусная (пикорнавирус) с вероятностью 58 %, противовирусная с вероятностью 42 %, антипротозойная с вероятностью 47 %, антитуберкулезная с вероятностью 40 %, «ингибитор инсулина» 68 %, «стимуляция функции почек» с вероятностью 66 %.

Расчетное значение программы PASSOnline для 1,5-диметил-4-[[1-(1-метил-1*H*-бензимидазол-2-ил)метилен]амино]-2-фенил-1,2-дигидропиразол-3-она (**11**) показало следующие возможные виды активности – противовоспалительная с вероятностью 87 %, болеутоляющая с вероятностью 86 %, противовирусная с вероятностью 73 %, «ингибитор инсулина» 78 %, антигипоксическая с

вероятностью 49 %, антигельминтная с вероятностью 24 %, «стимуляция функции почек» с вероятностью 34 %.

Для 2-хлор-4-метил-4-[[1-метил-1H-бензимидазол-2-ил)метилен]амино-фенил-(4-хлорфенил)ацетонитрила (**12**) расчетное значение программы PASSOnline показало следующие возможные виды активности: антипротозойную с вероятностью 63 %, антипротозойную с вероятностью 43 %, противопаразитарную с вероятностью 48 %, антигельминтную с вероятностью 36 %, «ингибитор инсулина» 30 %.

Таблица 1
Оценка биологической активности, рассчитанная программой PASSOnline

№	Соединение	Pa	Pi	Активность
8		0,591	0,006	Antiprotozoal
		0,595	0,043	Kidney function stimulant
		0,565	0,028	Antiviral (Picornavirus)
		0,458	0,043	Nucleotide metabolism regulator
		0,563	0,032	Insulysin inhibitor
9		0,499	0,010	Antiprotozoal
		0,416	0,097	Antiviral (Picornavirus)
		0,387	0,035	Antituberculosic
		0,543	0,037	Insulysin inhibitor
		0,368	0,057	Antihelminthic (Nematodes)
10		0,583	0,023	Antiviral (Picornavirus)
		0,424	0,021	Antiviral (Adenovirus)
		0,470	0,014	Antiprotozoal (Amoeba)
		0,678	0,011	Insulysin inhibitor
		0,662	0,018	Kidney function stimulant
11		0,856	0,005	Analgesic
		0,869	0,005	Antiinflammatory
		0,733	0,004	Antiviral (Picornavirus)
		0,779	0,004	Insulysin inhibitor
		0,494	0,039	Antihypoxic
		0,337	0,218	Kidney function stimulant
		0,244	0,061	Antihelminthic
12		0,629	0,005	Antiprotozoal
		0,480	0,018	Antiparasitic
		0,432	0,012	Antiprotozoal (Coccidial)
		0,355	0,024	Antihelminthic
		0,301	0,138	Insulysin inhibitor

Проведенный анализ расчетных данных показал, что все синтезированные имины могут быть ингибиторами инсулина, также все полученные соединения, кроме ими́на (11) потенциально могут проявлять антипротозойную активность, все кроме ими́на (12) потенциально проявляют противовирусную активность. Имины (8, 10, 11) потенциально являются стимуляторами функции почек. Имин на основе 4-аминоантипирина (11) обладает расчетной высокой анальгетической и болеутоляющей активностью, обусловленной высокой биологической активностью исходного амина.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. На основе 1-Метил-1*H*-бензимидазол-2-карбальдегида с высокими выходами получены гибридные имины, содержащие бензимидазольный цикл и различные ароматические и гетероароматические структуры.
2. Программа PASSOnline для всех синтезированных иминов показала высокую вероятность проявления инсулин-ингибирующего действия.
3. Бензимидазольное производное антипирина, показавшее наивысшую расчетную анальгетическую и противовоспалительную активности, рекомендуется для дальнейших биологических испытаний.

Список литературы

1. Успехи химии имидазолов / А. Ф. Пожарский, А. М. Симонов, А. Д. Тарновский // Успехи химии. – 1966. – Т. 35, № 2. – С. 271–285.
2. Grimmett M. R. Imidazole and benzimidazole synthesis / Grimmett M. R. – Academic Press, 1997. – P. 63–103.
3. Тюренкова Г. Н. Синтез и противогриппозная активность *N*-замещенных 2-(бензазол-2-гидразинокарботиоамидов) / Г. Н. Тюренкова, В. И. Ильенко // Хим. фарм. журнал. – 1988. – Т. XXII. – С. 320.
4. Meunier B. Hybrid molecules with a dual mode of action: dream or reality / B. Meunier // Acc. Chem. Res. – 2007. – Vol. 41, № 1. – P. 69–77.
5. Morphy R. Designed multiple ligands an emerging drug discovery paradigm / R. Morphy, Z. Rankovic // J. Med. Chem. – 2005. – Vol. 48. – P. 6523–6543.
6. Natural product hybrids as new leads for drug discovery / I. F. Tietze, H. P. Bell, S. Chandrasekhar // Angew. Chem., Int. Ed. 42. – 2003. – P. 3996–4028.
7. Gademann K. Natural product hybrids / K. Gademann // Chimia. – Vol. 60, № 12. – 2006. – P. 841–845.
8. <http://www.passonline.org>
9. Синтез и прогнозируемая биологическая активность алициклических и ароматических производных β-аланина и бензимидазолов на их основе / С. А. Мельник, В. Н. Цикалова, В. В. Цикалов [и др.] // Ученые записки Крымского федерального университета имени В. И. Вернадского. Биология. Химия. – 2018. – Т. 4 (70), № 1. – С. 193–201.
10. Получение и прогнозирование биологической активности ряда алифатических и ароматических производных β-аминокарбонильных соединений / В. Н. Цикалова, Е. А. Сарнит, С. А. Мельник // Орбиталь. – 2018. – № 1(2). – С. 19–24.

SYNTHESIS AND PREDICTED BIOLOGICAL ACTIVITY IMINES OF
BENZIMIDAZOLE SERIES

Baevsky M. Yu., Kurenkov I. A., Tsikalov V. V., Tsikalova V. N., Cheretaev I. V.

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

E-mail: b_m_y@mail.ru

The wide spectrum of biological activity of benzimidazole derivatives can be explained by the combination of fragments with different pharmacotherapeutic action in one molecule. This approach is used in the basis of the concept of "hybrid drugs" It is used to expand the range of uses of pharmaceuticals and to obtain other pharmacological properties. Obtaining hybrid molecules that will contain several pharmacophores in their structure is an actively developing area of modern organic synthesis. The platform PASS (Prediction of Activity Spectra for Substances) is widely used for software prediction of the biological activity of a chemical compound. This program works on the principle of «activity – structure». The structure of a compound is described by its individual functional elements (descriptors), for example, radicals, functional groups of atoms. In scientific research, previously conducted at the Faculty of Biology and Chemistry of the Taurida Academy of V. I. Vernadsky Crimean Federal University, a correlation was noted between the structure and predicted biological activity for a number of structures of the benzimidazole series.

The aim of this work is to study the condensation reaction of 1-methyl-1*H*-benzimidazole-2-carbaldehyde with aromatic and heteroaromatic amines with obviously high pharmacological activity and to calculate the probable predicted biological activity of imines of the benzimidazole series. 1-Methyl-1*H*-benzimidazole-2-carbaldehyde was used as the initial synthon for the synthesis of various imines of the benzimidazole series. It was obtained by oxidation of the methyl derivative of 2-hydroxymethyl-1*H*-benzimidazole with selenous acid in 87 % yield.

Condensation of 1-methyl-1*H*-benzimidazole-2-carbaldehyde with aniline, 2-amino-4-chlorophenol, *p*-aminobenzoic acid, 4-amino-1,5-dimethyl-2-phenyl-1,2-dihydropyrazol-3-one and (4-amino-2-chloro-5-methylphenyl)-(4-chlorophenyl) acetonitrile was carried out in the same way with heating and stirring in isopropyl alcohol. The starting substances reacted in equimolar ratios. The final substances were isolated by crystallization with yields of 22 %, 43 %, 89 %, 75 %, and 86 %, respectively. The structure of all obtained imines was confirmed by the method of PMR spectroscopy. For each substance, a singlet of the protons of the benzimidazole methyl group was identified in the region of 4.25 ppm, which indicates the alkylation of 2-hydroxymethyl-1*H*-benzimidazole with iodomethane. The singlet of the proton of the fragment H–C = N is in the range of 8.70–9.70 ppm, which indicates the condensation of the carbonyl group of benzaldehyde and the amino group of complex amines. The analysis of the calculated data using the PASSOnline program showed that all synthesized imines are insulin inhibitors. The benzimidazole derivative of antipyrine, which showed the highest calculated activity, is recommended for further biological tests.

Keywords: carbaldehyde, imine, benzimidazoles, PASSOnline.

References

1. Pozharsky A. F., Simonov A. M., Tarnovsky A. D. Advances in the chemistry of imidazoles, *Advances in chemistry*, **35(2)**, 271, (1966). (in Russ.)
2. Grimmett M. R. (1997) *Imidazole and benzimidazole synthesis*. Academic Press.
3. Tyurenkova G. N., Piyenko V. I. Тюренкова, Г. Н. Synthesis and anti-influenza activity of *N*-substituted 2- (benzazolyl-2) hydrazinocarbothioamides. *Chemical pharmacological journal*, **XXII**, 320, (1988). (in Russ.)
4. Meunier B. Hybrid molecules with a dual mode of action: dream or reality. *Acc. Chem. Res*, **41(1)**, 69, (2007).
5. Morphy R., Rankovic Z. Designed multiple ligands an emerging drug discovery paradigm, *J. Med. Chem*, **48**, 6523, (2005).
6. Tietze I. F., Bell H. P., Chandrasekhar S. Natural product hybrids as new leads for drug discovery, *Angew. Chem., Int. Ed.* **42**, 3996, (2003).
7. Gademann K. Natural product hybrids, *Chimia*, **60 (12)**, 841, (2006).
8. <http://www.passonline.org>
9. Melnik S. A., Tsikalova V. N., Tsikalov V. V., Baevsky M. Yu. Synthesis and predicted biological activity of alicyclic and aromatic derivatives of β -alanine and benzimidazoles based on them, *Scientific notes of Taurida National University named after V. I. Vernadsky. Series "Biology, Chemistry"*, **4(70)(1)**, 193, (2018). (in Russ.)
10. Tsikalova V. N., Sarnit E. A., Melnik S. A. Obtaining and predicting the biological activity of a number of aliphatic and aromatic derivatives of β -aminocarbonyl compounds, *Orbital*, **1(2)**, 19, (2018). (in Russ.)

УДК 549.674.3:543.422.3-74:549.02

СТРУКТУРНЫЕ МЕТАМОРФОЗЫ ЦЕОЛИТА КЛИНОПТИЛОЛИТА ПРИ ЕГО ПОШАГОВОМ КИСЛОТНОМ ДЕАЛЮМИНИРОВАНИИ

Спиридонов А. М.¹, Соколова М. Д.², Охлопкова А. А.¹

¹*Северо-Восточный федеральный университет им. М.К. Аммосова, Якутск, Россия*

²*Институт проблем нефти и газа СО РАН, Якутск, Россия*

E-mail: spalmik@mail.ru

Получены H^+ -формы клиноптилолита цеолитоносного месторождения Хонгуруу (Республика Саха, Россия) путем обработки растворами соляной кислоты с различными концентрациями. Согласно данным рентгеноспектрального и термогравиметрического методов анализа в сопоставлении с данными рентгенофазового анализа доказано получение и выделение форм со степенью замещения б3; 77; 84; 90; 97%. Рост концентрации соляной кислоты в растворе вызывает закономерное уменьшение количества каркасных катионов и алюминия вплоть до их почти полного удаления. Анализ инфракрасных спектров колебаний алюмосиликатного каркаса и порошковых дифрактограмм выявил, что в интервале деалюминирования 77–97% существуют две устойчивые формы деградирующего клиноптилолита, различающиеся составом алюмосиликатного каркаса, но обладающие примерно одинаковой величиной удельной поверхности.

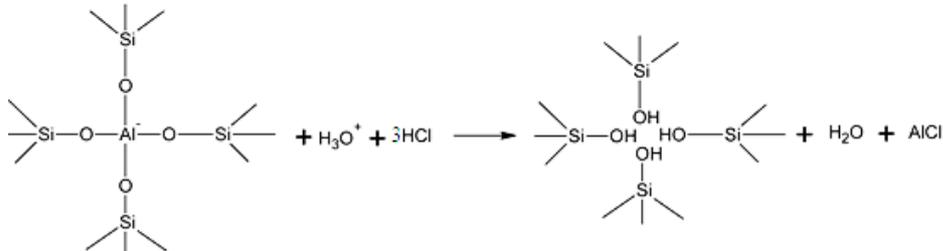
Ключевые слова: цеолит, клиноптилолит, деалюминирование, декатионирование, кислотное модифицирование, H^+ -форма цеолита.

ВВЕДЕНИЕ

Химическое модифицирование природных цеолитов позволяет получить их новые формы (модификации), обладающие улучшенными сорбционными, каталитическими и другими важными свойствами [1–5]. Ряд исследователей использует в качестве химического агента для обработки нативных образцов клиноптилолита (Кл) водный раствор соляной кислоты [6–11] с целью увеличения их сорбционной емкости по отношению к соединениям различной природы, однако применение указанного метода ограничено в силу химической нестойкости алюмосиликатного каркаса большинства цеолитов (в основном, с низким силикатным модулем) в кислой водной среде. Цеолитный каркас же Кл за счет относительно высокого значения силикатного модуля устойчив к воздействию кислотами, поэтому этот метод позволяет получить водородные (H^+ -формы) этого минерала [12]. В работе [13] также сравнивается эффективность обработки Кл растворами различных неорганических кислот – соляной, азотной, серной и ортофосфорной, выраженная в величине сорбционной емкости полученных таким путем модификаций. Авторы вышеуказанной работы приходят к выводу о предпочтении использования для модифицирования Кл раствора соляной кислоты.

В целом же, давно установлено, что взаимодействие соляной кислоты с Кл обусловлено параллельно протекающими процессами декатионирования и

деалюминирования [7, 8]. Выход алюминия по представлениям Баррера [2] в водный раствор из алюмосиликатного каркаса Кл происходит с замещением его эквивалентным количеством H_3O^+ , компенсирующего в обрабатываемых кислотой цеолитах отрицательные заряды, возникающие на месте удаленного из каркаса алюминия, по схеме:



Несмотря на то, что механизм деалюминирования цеолитов кислотами не до конца выяснен и известны работы [14, 15], указывающие на несколько иные пути удаления алюминия, авторы подавляющего большинства работ опираются на указанную выше стехиометрию деалюминирования, которая подтверждается и уточняется в одной [16] из немногочисленных поздних работ, посвященных изучению химизма взаимодействия соляной кислоты с природным Кл и его Na^+ -формой.

Клиноптилолитовые туфы являются недорогими в связи с большой распространенностью в природе и часто применяются в качестве исходного материала для различных нужд промышленности и науки. В связи с этим является необходимым установление возможности оценки влияния кислотной обработки на свойства клиноптилолита относительно доступными и дешевыми экспресс-методами исследования – ИК-спектроскопией, рентгенофазовым анализом, термогравиметрией и методом БЭТ для анализа удельной поверхности.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Исходный материал – цеолитовый туф российского месторождения Хонгуруу (Республика Саха /Якутия/). Перед обработкой образцы исходного молотого туфа подвергали дополнительному измельчению в планетарной мельнице с агатовыми шарами, затем просеивали на вибрационных ситах, отбирая фракцию с размерами зерен $6 \cdot 10^{-5}$ – $9 \cdot 10^{-5}$ м (60–90 мкм). Полученный материал промыли тремя порциями бидистиллированной воды и высушили при комнатной температуре до прекращения изменения массы (около 7 дней).

Согласно результатам полуколичественного анализа фазового состава по данным рентгенофазового анализа (РФА) с применением метода Ритвельда значение содержания Кл в природном образце составило $(85 \pm 5)\%$; кварца (Кв) – $(9 \pm 5)\%$; санидина – $(6 \pm 5)\%$; иные минералы по этим данным отсутствуют, что указывает на их довольно низкое содержание (менее 5%).

Соответственно, использование выбранного объекта для получения H^+ -форм Кл оправдано его высокой долей в туфе и весьма низким содержанием примесных

минералов, которые будут вносить незначительную погрешность в результаты экспериментов, не играющую принципиальной роли.

Обработку проводили путем выдерживания образцов в 0,1; 0,5; 1,0; 2,0; 5,0 моль/л растворах соляной кислоты (марка «ос.ч.») при постоянном интенсивном перемешивании. Массовое отношение «туф – раствор» составляло 1:25; время контакта с растворами – 24 часа; температура 353 К.

По истечению указанного времени цеолиты отделяли от растворов декантацией и промывали бидистиллированной водой на вакуум-фильтре до отрицательной качественной реакции на Cl^- -ионы с раствором AgNO_3 , затем сушили на воздухе при комнатной температуре до воздушно-сухого состояния.

В соответствии с описанной методикой получили H-формы 0,1Кл; 0,2Кл; 0,5Кл; 1,0Кл; 2,0Кл; 5,0Кл (здесь и далее по тексту приняты обозначения модификаций Кл, где коэффициент соответствует начальной молярной концентрации раствора соляной кислоты, с использованием которого проводилось их получение).

Для удаления гигроскопической воды Кл и его модификации нагревали в течение двух часов при 383 К, затем выдерживали до охлаждения в эксикаторе. В виду весьма возможной естественной неоднородности фазового состава исходного туфа и его модификаций для получения представительной пробы отбор материала на все испытания проводили методом квартования.

Для определения химического состава образцов Кл использовали метод рентгеноспектрального микрозондового анализа. Образцы Кл наносили на токопроводящий углеродный скотч, прикрепленный к латунной подложке, продували N_2 для удаления ненадежно зафиксированных на скотче частиц, помещали в камеру растрового электронного микроскопа JSM-7800F фирмы JEOL и вакуумировали до остаточного давления $9,6 \cdot 10^{-5}$ Па. Элементный анализ проводили с помощью рентгеноспектральной приставки X-MAX-20 фирмы OXFORD на площади $2 \cdot 10^6$ μm^2 (ускоряющее напряжение 20 кВ, эмиссионный ток поглощенных электронов – 70 мкА). Стандартами служили природные и синтетические образцы, используемые при анализе минералов, проверенные на однородность: альбит (определение Na), MgO (определение Mg), Al_2O_3 (определение Al), SiO_2 (определение Si), полевой шпат (определение K), волластонит (определение Ca), Fe_2O_3 (определение Fe). Количественный анализ выполняли в программном обеспечении «Energy» путем расчета интенсивности пиков, полученных вычислением наилучшего совпадения эталонных пиков по методу наименьших квадратов с подавлением фона. Численные значения содержания каждого элемента рассчитывали путем усреднения данных, полученных анализом пяти независимых проб.

Потерю при прокаливании в исследуемых образцах оценивали термогравиметрически на приборе STA 449C Jupiter синхронного термического анализа фирмы NETZSCH. Навески образцов нагревали со скоростью 10 град./мин в среде аргона при стандартном давлении от 298–1173 К в Pt/Rh-тиглях с подложкой из Al_2O_3 . Потерю массы образцов в интервале 383–1173 К рассчитывали по полученным термогравиграммам на автоматизированном программном обеспечении Proteus Analysis фирмы Netzsch.

Рентгеноструктурные исследования проводили на рентгеновском порошковом дифрактометре ARLX'Tra фирмы ThermoFisher Scientific с медным анодом. Длина волны рентгеновского излучения, используемого в дифрактометре, составила 1,540562 Å. Съёмку образцов проводили в диапазоне от 5–60° с шагом угла $\theta = 0,02^\circ$; время сбора данных в каждой точке – 1 с. Качественный анализ проводили полуавтоматически на программном обеспечении Crystallographica Search-Match с использованием международных баз данных ICDDPDF-2. Полуколичественный анализ производили методом Ритвельда на программном обеспечении Siroquant.

Для ИК-спектроскопии готовили таблетки путем прессования под давлением 20 МПа аккуратно перетертой в агатовой ступке в течение 10 мин смеси исследуемого образца Кл и бромида калия КВг (марка «ос.ч.» для спектроскопии), взятых в соотношении 1:500, соответственно. ИК-спектры регистрировали при комнатной температуре на ИК-спектрометре Varian 7000 FT-IR в области частот 4000–300 см⁻¹ с разрешением 8 см⁻¹. Число сканирований для каждого образца – 16. Обработку спектров, заключающуюся в выделении интересующей области 1400–400 см⁻¹ с последующим вычислением значений и интенсивностей пиков, производили с использованием встроенных функций программного обеспечения Varian Resolutions Pro™.

Анализ удельной поверхности осуществляли на приборе Сорбтометр-М по сравнительному пятиточечному методу Брунауэра-Эммета-Теллера (БЭТ) путем измерения объема адсорбируемого газа-адсорбата (азота) на поверхности образцов при температуре кипения азота. Образцы предварительно нагревали в муфельной печи при температуре 400°C в течение 2 ч для дегидратации и удаления сорбированных компонентов.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

В табл. 1 представлен количественный химический состав по данным элементного и термического анализов природного Кл и его модификаций в пересчете на высушенные при 105 °С образцы.

По этим данным выведены формулы (в пересчете на элементарную ячейку) модификаций:

$\text{Na}_{3,26}\text{K}_{1,60}\text{Mg}_{0,71}\text{Ca}_{0,20}(\text{Fe}_{0,33}\text{Al}_{7,68}\text{Si}_{28,32}\text{O}_{72}) \cdot 12,24\text{H}_2\text{O}$ – для природной формы;

$\text{Na}_{0,46}\text{K}_{0,64}\text{Mg}_{0,49}\text{Ca}_{0,16}(\text{Fe}_{0,22}\text{Al}_{4,99}\text{Si}_{31,49}\text{O}_{72}) \cdot 14,10\text{H}_2\text{O}$ – для 0,1Кл-формы;

$\text{Na}_{0,13}\text{K}_{0,53}\text{Mg}_{0,30}\text{Ca}_{0,12}(\text{Fe}_{0,17}\text{Al}_{1,62}\text{Si}_{34,29}\text{O}_{72}) \cdot 10,81\text{H}_2\text{O}$ – для 0,5Кл-формы;

$\text{Na}_{0,04}\text{K}_{0,48}\text{Mg}_{0,17}\text{Ca}_{0,09}(\text{Al}_{1,21}\text{Si}_{34,84}\text{O}_{72}) \cdot 9,63\text{H}_2\text{O}$ – для 1,0Кл-формы;

$\text{K}_{0,33}\text{Mg}_{0,09}\text{Ca}_{0,06}(\text{Al}_{1,07}\text{Si}_{35,04}\text{O}_{72}) \cdot 8,46\text{H}_2\text{O}$ – для 2,0Кл-формы;

$\text{K}_{0,04}\text{Mg}_{0,04}\text{Ca}_{0,03}(\text{Al}_{0,41}\text{Si}_{35,65}\text{O}_{72}) \cdot 7,02\text{H}_2\text{O}$ – для 5,0Кл-формы.

В случае получения 0,1Кл туф был взят в избытке, поэтому соляная кислота полностью израсходовалась. На это указывает убыль количества Al_2O_3 при получении 0,1Кл из природного Кл, эквимолярного количеству соляной кислоты в ее исходном 0,1 моль/л растворе. При приготовлении остальных H⁺-форм Кл соляная кислота была взята в избытке.

Таблица 1

Химический состав природного Кл и его модификаций

Формы	Массовая доля компонентов, %								SiO ₂ / Al ₂ O ₃ +Fe ₂ O ₃
	Na ₂ O	K ₂ O	MgO	CaO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	H ₂ O *	
Исходная	4,03	3,00	1,13	0,45	67,72	15,61	1,07	6,99	4,06
0,1Кл	0,59	1,24	0,80	0,37	76,89	10,36	0,70	9,05	6,95
0,5Кл	0,16	1,05	0,50	0,27	86,27	3,46	0,56	7,73	21,46
1,0Кл	0,05	0,95	0,28	0,22	88,79	2,61	0	7,10	34,02
2,0Кл	0	0,68	0,15	0,14	90,35	2,34	0	6,34	38,61
5,0Кл	0	0,07	0,07	0,07	93,42	0,91	0	5,46	102,66

Примечание: * – указано содержание кристаллизационной воды (потеря при прокаливании образцов в интервале 383–1173 К).

Обработка Кл соляной кислотой по данным анализа приводит к декатионированию и деалюминированию. При использовании 5 моль/л раствора кислоты полностью вымываются Na⁺ и Fe³⁺, почти полностью – Al (удаляется до 94 %), ионы K⁺, Mg²⁺, Ca²⁺ остаются в незначительных количествах (0,07 % по массе).

Допустив, что в каркасе природного Кл, исследованного нами, все теоретически возможные положения катионов заняты, выразим катионный состав его и модификаций через условные формулы, в которой индексы указывают на эквимолярную долю соответствующего катиона в элементарной ячейке, предполагая при этом, что полное удаление катионов позволило бы получить чистую H⁺-форму Кл, условная формула которой была бы выражена как 1,00 Н–Кл. В таком случае условные формулы полученных модификаций Кл выразим как: 0,63Н-Кл (для 0,1Кл); 0,73Н-Кл (для 0,5Кл); 0,77Н-Кл (для 1,0Кл); 0,84Н-Кл (для 2,0Кл); 0,90Н-Кл (для 3,0Кл); 0,97Н-Кл (для 5,0Кл)

Подобные условные формулы часто используются в специальной литературе и, по нашему мнению, наилучшим образом выражают степень замещения катионов Na⁺, K⁺, Mg²⁺, Ca²⁺ на H₃O⁺ (H⁺) в минералах, способных к ионному обмену.

На рис. 1 представлены дифрактограммы модификаций. Основные рефлексы отвечают межплоскостным расстояниям (d = 8.97; 7.90; 6.77; 5.24; 5.11; 4.65; 3.98; 3.92; 3.12; 2.98; 2.79 Å), близким к основным рефлексам цеолитов группы гейландита, зарегистрированных на рентгенограммах образцов Кл других месторождений [12, 17, 18].

Дифрактометрические измерения указывают на присутствие примесей Кв (характеристическая линия d=3,34 Å). Самая интенсивная линия на дифрактограммах модифицированных образцов (d=9,00–9,03 Å) относится к основному рефлексу Кл.

Параметры элементарных ячеек, соотношение фаз клиноптилолита и кварца в нативной и H⁺-формах Кл по данным РФА приведены в табл. 2.

Таблица 2
 Параметры элементарной ячейки, качественный и количественный состав
 нативной формы и ее модификаций

Образец	$\omega(\text{Кл}), \%$	$\omega(\text{Кв}), \%$	Параметры элементарной ячейки Кл-фазы			$\beta, \text{град.}$	$V_{\text{Э.я.}}, \text{Å}^3$
			a, Å	b, Å	c, Å		
Кл	87	13	17,59	17,78	7,40	116,60	2069,49
0,1Кл	89	11	17,66	17,93	7,41	116,38	2102,08
0,5Кл	83	17	17,61	17,92	7,39	116,38	2089,30
1,0Кл	64	36	17,63	17,90	7,42	116,64	2092,91
2,0Кл	78	22	18,17	17,82	7,50	118,29	2138,47
5,0Кл	46	54	18,17	17,82	7,50	118,28	2138,47

Обращают на себя внимание колебания относительного содержания различных форм Кл и параметров их элементарной ячейки, отражающиеся в том, что при обработке Кл раствором соляной кислоты с невысокой концентрацией приводит к увеличению объема элементарной ячейки, а дальнейший рост дает сначала его уменьшение, а затем – снова увеличение значения этой величины. Аналогичная картина наблюдается и для значений величины массовой доли Кл, вычисленной по дифрактометрическим данным.

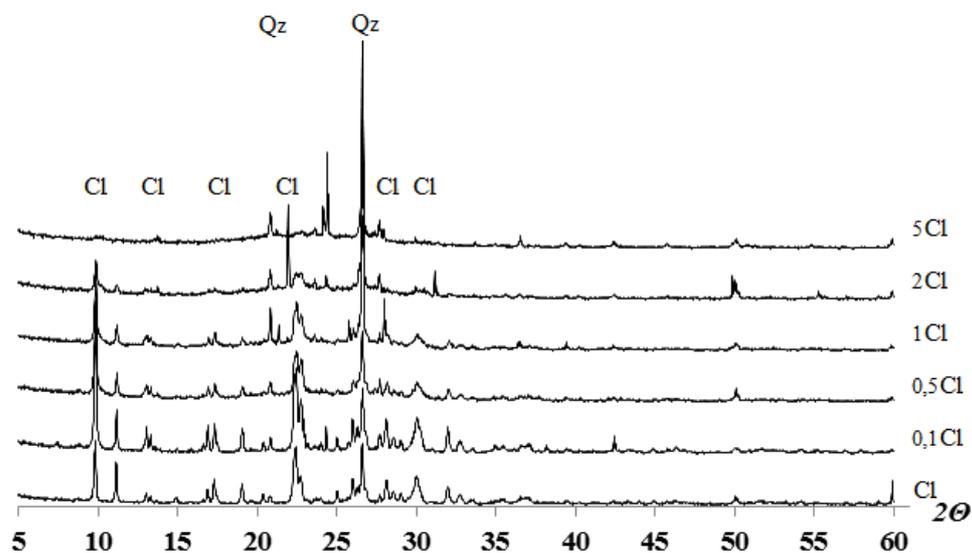


Рис. 1. Дифрактограммы природного Кл-туфа и его модификаций (Cl – клиноптилолит, Qz – кварц).

На рис. 2 представлены ИК-спектры исходного Кл и его H^+ -форм в области $1400-400\text{ см}^{-1}$. Общий вид ИК-спектров Кл из Хонгуруу совпадает со спектрами Кл из других месторождений, описанных в работах [1, 2, 19–23].

Как видно, повышение степени dealюминирования Кл приводит к уменьшению интенсивности полос, соответствующих частотам колебаний алюмосиликатного каркаса, что свидетельствует о деградации (аморфизации) цеолитной структуры, причем значительное усиление этого процесса по данным ИК-спектроскопии происходит при повышении концентрации соляной кислоты начиная с 2 моль/л. На это указывает исчезновение полос в области частот $610-600$ и $680-670\text{ см}^{-1}$, обусловленных колебаниями сдвоенных колец между тетраэдрами и симметричными валентными колебаниями внутри тетраэдров. Кроме того, в ИК-спектре Кл, обработанного 5 моль/л раствором соляной кислоты, усиливается в предыдущих спектрах весьма слабая полоса с максимумом при 959 см^{-1} , отнесенная нами к деформационным колебаниям (Si–O) силанольной группы Si–OH, что обусловлено ростом дефектов в гнездах между тетраэдрами на месте удаленного из каркаса алюминия.

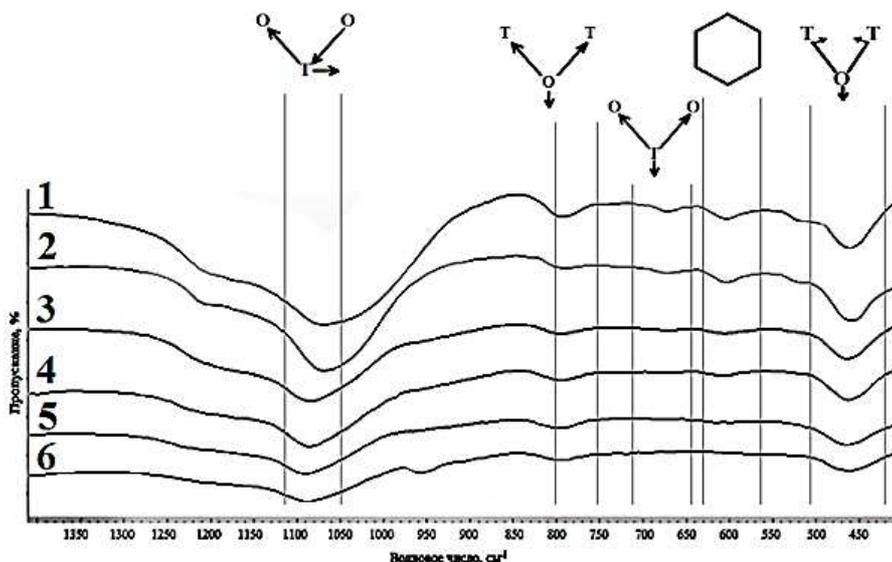


Рис. 2. ИК-спектры природной формы Кл (1) и его модификаций в области колебания алюмосиликатного каркаса: (2) – 0,1Кл; (3) – 0,5Кл; (4) – 1,0Кл; (5) – 2,0Кл; (6) – 5,0Кл.

На рис. 3 представлены результаты анализа удельной поверхности по азоту нативной и H^+ -форм Кл.

Обработка Кл раствором соляной кислоты с концентрацией 0,1 моль/л приводит к увеличению значения удельной поверхности в 0,1Кл в три раза. Дальнейшее повышение концентрации раствора кислоты, которым проводили

модифицирование, вызывает резкий рост значения удельной поверхности в 12 раз по сравнению с нативной формой Кл, затем наблюдается некоторое ее падение и снова рост с окончательным уменьшением до $63 \text{ м}^2/\text{г}$ для образца 5,0Кл.

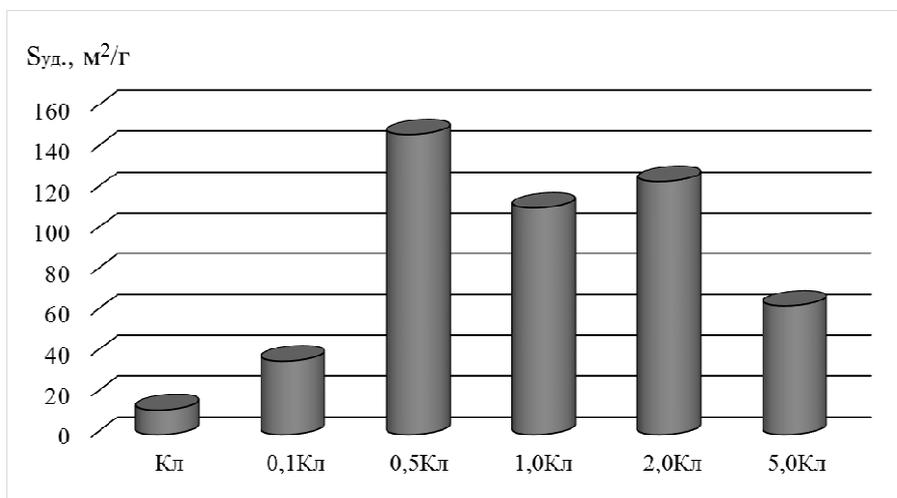


Рис. 3. Значения величины удельной поверхности образцов для нативной и H^+ -форм Кл

С ростом концентрации соляной кислоты массовая доля фазы Кл во всех модификациях закономерно снижается в связи с необратимой аморфизацией и диссоциацией цеолитного каркаса, обусловленной его деалюминированием. Кроме того, высвобождение внутрикаркасных катионов, а, тем более, алюминия, приводит к накоплению критического количества дефектов в каркасе и необратимой перестройке всей структуры.

Анализ данных рентгеноструктурного анализа в сопоставлении с ИК-спектроскопическими исследованиями и оценкой удельной поверхности позволяет выдвинуть предположение о том, что наблюдается существование двух частично деалюминированных форм Кл. Обозначим их как Кл I (идентична у 0,5Кл и 1Кл) и Кл II (идентична у 2,0Кл и 5,0Кл), образующихся при обработке его нативной формы растворами соляной кислоты с концентрациями в интервале 0,5 – 5 моль/л.

Сопоставляя данные по количественному содержанию Кл в парах 0,5–1,0Кл и 2,0–5,0Кл обнаружили высокую степень близости значений угла наклона прямых, проведенных через точки, связывающие зависимости содержания Кл в соответствующей модификации с ее удельной поверхностью (рис. 4). Накопление дефектов в структуре приводит к уменьшению удельной поверхности и росту рентгеноаморфной фазы до определенной степени деалюминирования (ок. 90%). С ее ростом выше 90% наблюдаются увеличение удельной поверхности и доли рентгенокристаллического Кл, что, по-видимому, связано с частичной релаксацией алюмосиликатного каркаса. Этому способствует снижение дефектов и напряжений в структуре за счет удаления каркасного алюминия.

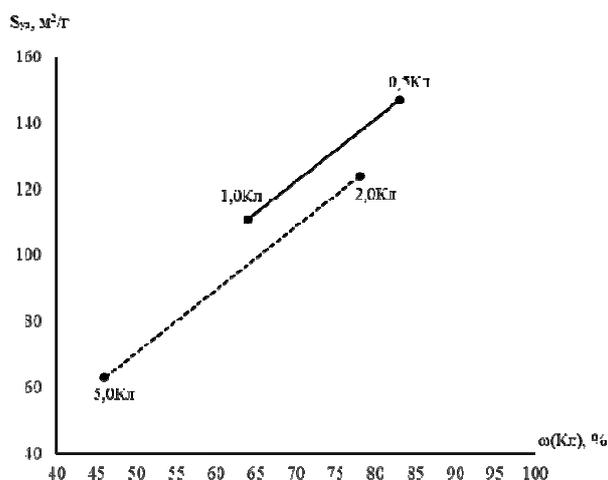


Рис. 4. Зависимость значений удельной поверхности в образцах от доли Кл в его модификациях.

Сравнивая цеолитизированные туфы различных месторождений, авторы [13, 19–21, 24] обращают внимание на величину максимума ИК-полосы антисимметричных валентных колебаний связей Si–O–Si(Al) с максимумом в области 1050–1100 см⁻¹, связывая ее в большей степени, чем остальные полосы, с соотношением SiO₂/(Al₂O₃+Fe₂O₃) в цеолите. Сдвиг полосы этого колебания в более высокочастотную область наблюдают в алюмосиликатах с уменьшением относительного содержания алюминия. Это явление одним из первых описал Милкей в своей работе [25], где также отмечены примеры небольших отступлений от обозначенной закономерности, обусловленные чувствительностью указанной полосы, в том числе, и к топологии кристаллической структуры цеолита.

В нашем случае на ИК-спектрах в области частот 1050–1100 см⁻¹ (рис. 5) обращает внимание близость значений максимумов полос антисимметричных валентных колебаний связей Si–O–Si(Al) в парах 0,5–1,0Кл (1085 и 1086 см⁻¹) и 2,0–5,0Кл (1089 и 1090 см⁻¹). Поскольку значения силикатного модуля SiO₂/(Al₂O₃+Fe₂O₃) в представленных парах форм весьма различаются, это указывает на связь рассматриваемой полосы со структурой модификации, а влияние силикатного модуля на ее положение отодвигается на второй план. По сути, ИК-спектры 2 и 3 идентичны и соответствуют форме Кл I, а ИК-спектры 4 и 5 – форме Кл II.

Выражая количество таких дефектов через степень dealюминирования в исследуемом диапазоне их значений, рассчитанную по данным химического состава, можем резюмировать об устойчивости форм Кл I и Кл II в интервалах степеней dealюминирования 78–83 % и 85–94 % соответственно.

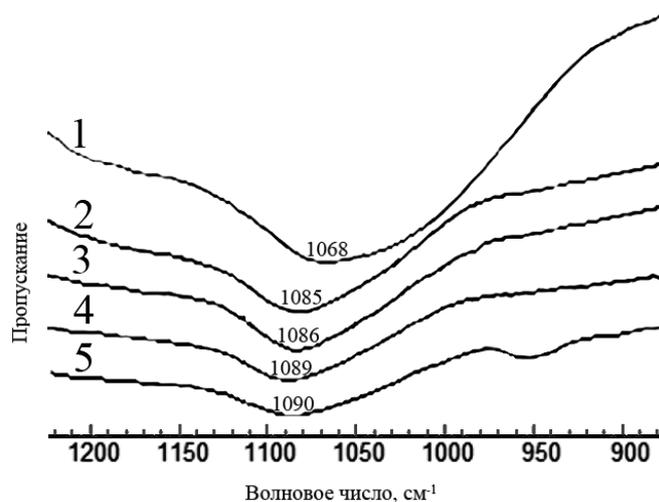


Рис. 5. Полосы антисимметричных валентных колебаний связей Si–O–Si(Al) в области 1050-1100 см⁻¹ на ИК-спектрах нативного Кл (1) и его модификаций: (2) – 0,5Кл; (3) – 1,0Кл; (4) – 2,0Кл; (5) – 5,0Кл.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Действие на Кл-туф раствора соляной кислоты невысокой концентрации (до 0,1 моль/л) вызывает удаление примесных включений в кристаллах цеолита.
2. Рост концентрации раствора соляной кислоты вызывает усиление деградации алюмосиликатного каркаса, сопровождающейся аморфизацией образцов. Связано это как с накоплением дефектов в алюмосиликатном каркасе, так и с уменьшением количества каркасных катионов, в том числе алюминия, способных к гидратации.
3. Рост концентрации соляной кислоты в растворе вызывает уменьшение количества каркасных катионов и алюминия вплоть до их практически полного удаления.
4. В интервалах dealюминирования 77–97 % выявлено существование двух форм, обозначенных нами как Кл I и Кл II, обладающих одинаково высокой величиной удельной поверхности, но различающихся количеством катионов в каркасе.

Работа выполнена при финансовой поддержке МНУВО РФ НИР № FSRG-2020-0017.

Список литературы

1. Breger J. A. An infrared study of water in heulandite and clinoptilolite / J. A. Breger, I.C. Chandler, P. Zubovic // American Mineralogist. – 1970. – Vol. 55, № 5–6. – P. 825–840.
2. Barrer R. M. Molecular sieve sorbents from clinoptilolite / R. M. Barrer, M. B. Makki // Canadian Journal of Chemistry. – 1964. – Vol.42. – P. 1481–1487.

3. Цицишвили Г. В. Пористость и топология цеолитных структур / Г. В. Цицишвили, В. Г. Цицишвили // *Хімія, фізика та технологія поверхні*. – 2011. – Т. 2, № 3. – С. 340–342.
4. Rhodes C. J. Properties and applications of Zeolites / C. J. Rhodes // *Science Progress*. – 2010. – Vol. 93. – P. 223–284.
5. Spiridonov A. M. A study of the ion exchange effect on the sorption properties of heulandite-clinoptilolite zeolite / A. M. Spiridonov, M. D. Sokolova, A. A. Okhlopko et al. // *Journal of Structural Chemistry*. – 2015. – Vol. 56. – P. 297–303.
6. Akimbaeva A. M. The kinetics of sorption of lead ions on clinoptilolite in the H-form / A. M. Akimbaeva, E. E. Ergozhin // *Russian Journal of Physical Chemistry*. – 2008. – Vol. 82, №3. – P. 397–400.
7. Korkuna, O. Structural and physicochemical properties of natural zeolites: Clinoptilolite and mordenite / O. Korkuna, R. Lebeda, J. Skubiszewska-Zieba, T. Vrublevs'ka, V.M. Gun'ko, J. Ryczkowski // *Microporous and Mesoporous Materials*. – 2006. – Vol. 87. – P. 243–254.
8. Miklosy E. Xylene isomerization on H-mordenites and H-clinoptilolites / E. Miklosy, J. Papp, D. Kallo // *Zeolites*. – 1983. – Vol. 3. – P. 139–148.
9. Vasilechko V. O. Adsorption of cadmium on acid-modified Transcarpathian clinoptilolite / V. O. Vasilechko, G. V. Gryshchouk, Yu. B. Kuz'ma, V. P. Zakordonskiy, L. O. Vasylechko, L. O. Lebedynets, M. B. Kalytovs'ka // *Microporous and Mesoporous Materials*. – 2003. – Vol. 60. – P. 183–196.
10. Kotova D. L. Modification of the surface of acid-activated clinoptilolite tuff by organosilanes / D. L. Kotova, S. Yu. Vasilyeva, T. A. Krasnova, A. S. Khromova, Thi Gam Fam // *Protection of Metal and Physical Chemistry of Surfaces*. – 2015. – Vol. 51, №4. – P. 499–504.
11. Спиридонов А. М. Перспективы применения кислотоактивированного природного цеолита месторождения Хонгуруу (Якутия) для наполнения полимеров / А. М. Спиридонов, В. В. Корякина, А. А. Охлопкова, М. Д. Соколова, Е. Ю. Шиц, А. Г. Парникова, Т. А. Охлопкова // *Вестник Северо-Восточного федерального университета им. М. К. Аммосова*. – 2014. – Т. 11, №3. – С. 7–12.
12. Brek D. *Zeolite Molecular Sieves: Structure, Chemistry, and Use* / Brek D. – Wiley, 1973. – 771 p.
13. Bel'chinskaya L. I. Regulation of sorption processes on natural nanoporous aluminosilicates. I. Acidic and basic modifications / L. I. Bel'chinskaya, N. A. Khodosova, O. Yu. Strel'nikova, G. A. Petukhova, L. Ciganda // *Protection of Metals and Physical Chemistry of Surfaces*. – 2015. – Vol. 51, №5. – P. 779–786.
14. Мишин И. В. Получение высококремнеземных форм фожазитов с помощью SiCU / И. В. Мишин, Г. К. Байер, А. Л. Клячко и др. // *Кинетика и катализ*. – 1987. – Т.28. – С. 706–711.
15. Minachev Kh. M. A study of the concentration and mobility of the hydroxyl-group hydrogen in zeolite catalysts by heteromolecular isotopic hydrogen exchange. 6. Dealuminized type-y zeolites and mordenite / Kh. M. Minachev, R. V. Dmitriev, I. V. Mishin, A. L. Klyachko // *Russian Chemical Bulletin*. – 1979. – Vol. 28. – P. 2241–2245.
16. Rivera, A. Natural and Sodium Clinoptilolites Submitted to Acid Treatments: Experimental and Theoretical Studies / A. Rivera, T. Farias, L. Charles de Menorval, M. Autie-Perez, A. Lam // *Journal of Physical Chemistry C*. – 2013. – Vol. 117. – P. 4079–4088.
17. Hai Lin. Physicochemical properties and mechanism study of clinoptilolite modified by NaOH / Lin Hai, Liu Quan-li, Dong Ying-bo, He Yin-hai, Wang Liang // *Microporous and Mesoporous Materials*. – 2015. – Vol. 218. – P. 174–179.
18. Dimowa, L. T. Structural study of Zn exchanged natural clinoptilolite using powder XRD and positron annihilation data / L. T. Dimowa, O. E. Petrov, N. I. Djourellov, B. L. Shivachev // *Clay Minerals*. – 2015. – Vol. 50. – P. 41–50.
19. Ponizovskii A. A. The use of zeolite for the detoxification of lead-contaminated soils / A. A. Ponizovskii, D. D. Dimoyanis, K. D. Tsadilas // *Eurasian Soil Science*. – 2003. – Т. 36, № 4. – С. 439–443.
20. Sanzhanova S. S. Sorption of molybdenum(VI) ions on natural mineral sorbents / S. S. Sanzhanova, E. L. Zonkhoeva // *Russian Journal of Physical Chemistry A*. – 2017. – Vol. 91. – P. 2219–2224.
21. Garcia-Basabe Y. Step-wise dealumination of natural clinoptilolite: Structural and physicochemical characterization / Y. Garcia-Basabe, I. Rodriguez-Iznag, L.-Ch. de Menorval et al. // *Microporous and Mesoporous Materials*. – 2010. – Vol. 135. – P. 187–196.
22. Hannachi Y. Removal of Ni(II) ions from aqueous solutions using clinoptilolite: Equilibrium, kinetic and thermodynamic studies / Y. Hannachi, A. Ghorbel, T. Lasram, B. Taoufik // *Chemistry and Ecology*. – 2012. – Vol. 28. – P. 481–495.

23. Ates A. The effect of various treatment conditions on natural zeolites: ion exchange, acidic, thermal and steam treatments / A. Ates, Ch. Hardacre // *Journal of Colloid and Interface Science*. – 2012. – Vol. 372. – P. 130–140.
24. Mozgawa W. The influence of some heavy metals cations on the FTIR spectra of zeolites / W. Mozgawa // *Journal of Molecular Structure*. – 2000. – Vol. 555. – P. 299–304.
25. Milkey R. G. Infrared spectra of some tectosilicates / R. G. Milkey // *American Mineralogist*. – 1960. – Vol. 45. – P. 990–1107.

STRUCTURAL CHANGES OF ZEOLITE-CLINOPTILOLITE DURING ITS GRADUAL ACID DEALUMINATION

Spiridonov A. M.¹, Sokolova M. D.², Okhlopkova A. A.¹

¹*North-Eastern Federal University, Yakutsk, Russian Federation*

²*Institute of Oil and Gas Problems, Siberian Branch of RAS, Yakutsk, Russian Federation*

E-mail: spalmik@mail.ru

Natural zeolite clinoptilolite is an inexpensive mineral due to its wide distribution in nature and is often used as a starting material for various needs of industry and science. In this regard, it is necessary to establish the possibility of assessing the effect of acid treatment on the properties of clinoptilolite using relatively affordable and cheap express research methods - IR spectroscopy, X-ray phase analysis, thermogravimetry and the BET method for analyzing the specific surface area.

Hydrogen forms of clinoptilolite from the Honguruu zeolite-bearing deposit (Republic of Sakha, Russia) were obtained by treatment with solutions of hydrochloric acid with different concentrations. The action of a low concentration hydrochloric acid solution (up to 0.1 mol/l) on clinoptilolite causes the removal of impurity inclusions in the zeolite crystals. X-ray phase analysis and IR spectroscopy showed that an increase in the concentration of hydrochloric acid solution intensifies the degradation of the aluminosilicate framework, accompanied by amorphization of the samples. We obtained: 0.63H-; 0.77H-; 0.84H-; 0.90H- and 0.97H-forms of clinoptilolite. An increase in the concentration of hydrochloric acid in solution causes a decrease in the amount of framework cations and aluminum up to their almost complete removal. In the dealumination intervals of 77–97 %, the existence of two forms, designated by us as Cli I and Cli II, with an equally high specific surface area, but differing in the number of cations in the framework, was revealed. Thus, by adjusting these parameters, which significantly affect all the properties of clinoptilolite modifications, one can achieve their optimal set for a specific field of application.

Keywords: zeolite, clinoptilolite, dealumination, decationation, acid treatment, H⁺-form of zeolite.

References

1. Breger J. A., Chandler I. C., Zubovic P., An infrared study of water in heulandite and clinoptilolite, *American Mineralogist*, **55**, 825 (1970).

2. Barrer R. M., Makki M. B., Molecular sieve sorbents from clinoptilolite, *Canadian Journal of Chemistry*, **42**, 1481 (1964).
3. Tsitsishvili G. V., Tsitsishvili V. G., Porosity and topology of zeolite structures, *Chemistry, Physics and Technology of Surface*, **2**, 340 (2011). (in Russ.).
4. Rhodes C. J., Properties and applications of Zeolites, *Science Progress*, **93**, 223 (2010).
5. Spiridonov A. M., Sokolova M. D., Okhlopkova A. A. et al., A study of the ion exchange effect on the sorption properties of heulandite-clinoptilolite zeolite, *Journal of Structural Chemistry*, **56**, 297 (2015).
6. Akimbaeva A. M., Ergozhin E. E., The kinetics of sorption of lead ions on clinoptilolite in the H-form, *Russian Journal of Physical Chemistry*, **82**, 397 (2008).
7. Korkuna O., Lebeda R., Skubiszewska-Zieba J., Vrublevs'ka T., Gun'ko V. M., Ryczkowski J., Structural and physicochemical properties of natural zeolites: Clinoptilolite and mordenite, *Microporous and Mesoporous Materials*, **87**, 243 (2006).
8. Miklosy E., Papp J., Kallo D., Xylene isomerization on H-mordenites and H-clinoptilolites, *Zeolites*, **3**, 139 (1983).
9. Vasilechko V. O., Gryshchouk G. V., Kuz'ma Yu. B., Zakordonskiy V. P., Vasylechko L. O., Lebedynets L.O., Kalytovs'ka M.B., Adsorption of cadmium on acid-modified Transcarpathian clinoptilolite, *Microporous and Mesoporous Materials*, **60**, 183 (2003).
10. Kotova D. L., Vasilyeva S. Yu., Krasnova T. A., Khromova A. S., Fam Thi Gam, Modification of the surface of acid-activated clinoptilolite tuff by organosilanes, *Protection of Metal and Physical Chemistry of Surfaces*, **51**, 499 (2015).
11. Spiridonov A. M., Koryakina V. V., Okhlopkova A. A., Sokolova M. D., Shits E. Yu., Parnikova A. G., Okhlopkova T. A., Prospects for the use of acid-activated natural zeolite from the Khonguruu deposit (Yakutia) for filling polymers, *Vestnik of North-Eastern Federal University*, **11** (3), 7 (2014). (in Russ.).
12. Brek D. *Zeolite Molecular Sieves: Structure, Chemistry, and Use*, 771 p. (Wiley, 1973).
13. Bel'chinskaya L. I., Khodosova N. A., Strel'nikova O. Yu., Petukhova G. A., Ciganda L., Regulation of sorption processes on natural nanoporous aluminosilicates. 1. Acidic and basic modifications, *Protection of Metals and Physical Chemistry of Surfaces*, **51**, 779 (2015).
14. Mishin I. V., Baier G. K., Klyachko A. L., Ashavskaya G. A., Nissenbaum V. D., Borbei G., Preparation of high-silica faujasites by means of SiCl₄, *Kinetics and Catalysis*, **28**, 615 (1987).
15. Minachev Kh. M., Dmitriev R. V., Mishin I. V., Klyachko A. L., A study of the concentration and mobility of the hydroxyl-group hydrogen in zeolite catalysts by heteromolecular isotopic hydrogen exchange. 6. Dealuminized type-γ zeolites and mordenite, *Russian Chemical Bulletin*, **28**, 2241 (1979).
16. Rivera A., Farias T., de Menorval Ch., Autie-Perez M., Lam A., Natural and Sodium Clinoptilolites Submitted to Acid Treatments: Experimental and Theoretical Studies, *Journal of Physical Chemistry C*, **117**, 4079 (2013).
17. Hai Lin, Quan-li Liu, Ying-bo Dong, Yin-hai He, Liang Wang, Physicochemical properties and mechanism study of clinoptilolite modified by NaOH, *Microporous and Mesoporous Materials*, **218**, 174 (2015).
18. Dimowa L. T., Petrov O. E., Djourelou N. I., Shivachev B. L., Structural study of Zn exchanged natural clinoptilolite using powder XRD and positron annihilation data, *Clay Minerals*, **50**, 41 (2015).
19. Ponizovskii A. A., Dimoyanis D. D., Tsadilas K. D., The use of zeolite for the detoxification of lead-contaminated soils, *Eurasian Soil Science*, **36**, 439 (2003).
20. Sanzhanova S. S., Zonkhoeva E. L., Sorption of molybdenum(VI) ions on natural mineral sorbents, *Russian Journal of Physical Chemistry A*, **91**, 2219 (2017).
21. Garcia-Basabe Y., Rodriguez-Iznag I., de Menorval L.-Ch. et al., Step-wise dealumination of natural clinoptilolite: Structural and physicochemical characterization, *Microporous and Mesoporous Materials*, **135**, 187 (2010).
22. Hannachi Y., Ghorbel A., Lasram T., Taoufik B., Removal of Ni(II) ions from aqueous solutions using clinoptilolite: Equilibrium, kinetic and thermodynamic studies, *Chemistry and Ecology*, **28**, 481 (2012).
23. Ates A., Hardacre Ch., The effect of various treatment conditions on natural zeolites: ion exchange, acidic, thermal and steam treatments, *Journal of Colloid and Interface Science*, **372**, 130 (2012).
24. Mozgawa W., The influence of some heavy metals cations on the FTIR spectra of zeolites, *Journal of Molecular Structure*, **555**, 299 (2000).
25. Milkey R. G., Infrared spectra of some tectosilicates, *American Mineralogist*, **45**, 990 (1960).

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Абдурашитова Лемара Энверовна	Таврическая академия (структурное подразделение) ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет имени В. И. Вернадского», обучающаяся 4 курса кафедры физиологии человека и животных и биофизики
Аблаева Ремзие Наримановна	Таврическая академия (структурное подразделение) ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет имени В. И. Вернадского», магистр кафедры физиологии человека и животных и биофизики, факультет биологии и химии
Баевский Михаил Юрьевич	Таврическая академия (структурное подразделение) ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет имени В. И. Вернадского», кандидат химических наук, доцент кафедры органической и биологической химии факультета биологии и химии
Бибик Анастасия Игоревна	Таврическая академия (структурное подразделение) ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет имени В. И. Вернадского», обучающаяся кафедры ботаники, физиологии растений и биотехнологии факультета биологии и химии
Бирюкова Елена Александровна	Таврическая академия (структурное подразделение) ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет имени В. И. Вернадского», кандидат биологических наук, доцент кафедры физиологии человека и животных и биофизики
Буденкова Екатерина Александровна	ФГАОУ ВО «Балтийский федеральный университет им. И. Канта», Институт живых систем, обучающаяся 2 курса магистратуры по направлению подготовки 04.04.01 Химия
Булавин Илья Владимирович	ФГБУН «Ордена Трудового Красного Знамени Никитский ботанический сад – Национальный научный центр РАН», кандидат биологических наук, научный сотрудник лаборатории геномики растений и биоинформатики, e-mail: labgennbs@yandex.ru
Ваколюк Ирина Анатольевна	ФГАОУ ВО «Балтийский федеральный университет им. И. Канта», Института живых систем, кандидат биологических наук, заместитель директора по учебной работе
Гашек Валерия Александровна	Международный аэропорт «Челябинск», кандидат биологических наук, инженер по авиационной орнитологии, e-mail: gashek_va@mail.ru
Головин Михаил Сергеевич	Новосибирский государственный педагогический университет, кандидат биологических наук, доцент, e-mail: golovin593@mail.ru

Гришина Татьяна Владимировна	Таврическая академия (структурное подразделение) ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет имени В. И. Вернадского», магистр кафедры физиологии человека и животных и биофизики, e-mail: tatyanka.grishina.1998@mail.ru
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
Емельянова Анна Сергеевна	ФГБОУ ВО Рязанский государственный агротехнологический университет имени П. А. Костычева, доктор биологических наук, профессор кафедры анатомии и физиологии сельскохозяйственных животных
Ершова Татьяна Сергеевна	ФГБОУ ВО «Астраханский государственный технический университет», кандидат биологических наук, доцент кафедры Гидробиология и общая экология
Жалдак Светлана Николаевна	Таврическая академия (структурное подразделение) ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет им. В. И. Вернадского», кандидат биологических наук, доцент кафедры ботаники, физиологии растений и биотехнологии
Зайцев Вячеслав Федорович	ФГБОУ ВО «Астраханский государственный технический университет», доктор сельскохозяйственных наук, профессор, Заслуженный деятель науки РФ, зав. кафедрой Гидробиология и общая экология
Залевская Ирина Николаевна	Таврическая академия (структурное подразделение) ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет им. В. И. Вернадского», кандидат биологических наук, доцент, зав. каф биохимии, e-mail: inz3@mail.ru
Касьянова Екатерина Олеговна	Таврическая академия (структурное подразделение) ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет имени В. И. Вернадского», магистр 3 года обучения кафедры физиологии человека и животных и биофизики
Компильцкая Олеся Петровна	Таврическая академия (структурное подразделение) ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет имени В. И. Вернадского», магистр факультета физической культуры и спорта, кафедра теории и методики адаптивной физической культуры, физической реабилитации и оздоровительных технологий, e-mail: kompileckay79@gmail.com
Куренков Игорь Алексеевич	Северо-Кавказский федеральный университет, аспирант 1 года обучения химико-фармацевтического факультета

Меджитова Аджер Рустемовна	Таврическая академия (структурное подразделение) ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет имени В. И. Вернадского», обучающаяся 4 курса кафедры физиологии человека и животных и биофизики
Минина Елена Николаевна	Таврическая академия (структурное подразделение) ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет имени В. И. Вернадского», кандидат биологических наук, доцент кафедры теории и методики адаптивной физической культуры, физической реабилитации и оздоровительных технологий, e-mail: cere-el@yandex.ru
Миронюк Ирина Сергеевна	Таврическая академия (структурное подразделение) ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет имени В. И. Вернадского», аспирант кафедры физиологии человека и животных и биофизики, e-mail: psevdoallelizm@mail.ru
Мишин Николай Петрович	Таврическая академия (структурное подразделение) ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет имени В. И. Вернадского», старший преподаватель кафедры медико-биологических основ физической культуры
Охлопкова Айталиа Алексеевна	Институт естественных наук (структурное подразделение), ФГАОУ ВО «Северо-Восточный федеральный университет им. М. К. Аммосова, доктор технических наук, профессор химического отделения
Присянникова Ирина Борисовна	Таврическая академия (структурное подразделение) ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет им. В. И. Вернадского», кандидат биологических наук, доцент кафедры ботаники и физиологии растений и биотехнологий
Раваева Марина Юрьевна	Таврическая академия (структурное подразделение) ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет имени В. И. Вернадского», кандидат биологических наук, доцент кафедры физиологии человека и животных и биофизики
Репин Евгений Николаевич	ФНЦ биоразнообразия наземной биоты Восточной Азии ДВО РАН, кандидат сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник лаборатории дендрологии
Романова Дарья Александровна	Таврическая академия (структурное подразделение) ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет им. В. И. Вернадского», магистр 2 курса кафедры ботаники и физиологии растений и биотехнологий

Руднева Ирина Ивановна	ФИЦ «Институт биологии южных морей им. А. О. Ковалевского РАН», доктор биологических наук, профессор, ведущий научный сотрудник, Таврическая академия (структурное подразделение) ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет им. В. И. Вернадского», профессор кафедры биохимии, e-mail: svg-41@mail.ru
Свердруп Антоний Элиас	Казанский федеральный университет, студент, e-mail: Anthony.Sverdrup8@gmail.com
Селюков Александр Германович	Институт биологии Тюменского госуниверситета, доктор биологических наук, профессор, e-mail: ags-bios@yandex.ru
Симонян Лусине Арменовна	ГОУ ВО Московской области Государственный социально-гуманитарный университет, кандидат медицинских наук, доцент, заведующий кафедрой медико-биологических дисциплин
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
Соколова Марина Дмитриевна	ФГБУН «Институт проблем нефти и газа СО РАН», директор института, доктор технических наук, доцент
Спиридонов Александр Михайлович	Институт естественных наук (структурное подразделение), ФГАОУ ВО «Северо-Восточный федеральный университет им. М. К. Аммосова, доцент химического отделения
Степура Евгений Евгеньевич	ГОУ ВО Московской области Государственный социально-гуманитарный университет, кандидат биологических наук, доцент кафедры медико-биологических дисциплин
Суботялов Михаил Альбертович	Новосибирский государственный педагогический университет, доктор медицинских наук, профессор, e-mail: subotyalov@yandex.ru
Ткач Евгений Александрович	Таврическая академия (структурное подразделение) ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет имени В. И. Вернадского», магистр 2 года обучения факультета физической культуры и спорта
Труш Вера Владимировна	ГОУ ВПО «Донецкий национальный университет», кандидат медицинских наук, доцент, заведующая кафедрой физиологии человека и животных, e-mail: ver.trush@yandex.ru

Фролова Людмила Леонидовна	Казанский федеральный университет, кандидат технических наук, доцент, e-mail: Lucie.Frolova@gmail.com
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.
Хурсанов Алишер Саидович	Волжско-Каспийский филиал ФГБНУ ВНИРО («КаспНИРХ»), специалист лаборатории водных проблем и токсикологии
Цикалов Виктор Валентинович	Таврическая академия (структурное подразделение) ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет имени В. И. Вернадского», кандидат химических наук, доцент кафедры валеологии и безопасности жизнедеятельности человека факультета биологии и химии
Цикалова Виктория Николаевна	Таврическая академия (структурное подразделение) ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет имени В. И. Вернадского», кандидат химических наук, доцент кафедры органической и биологической химии факультета биологии и химии
Чаплыгин Владимир Александрович	Волжско-Каспийский филиал ФГБНУ ВНИРО («КаспНИРХ»), главный специалист лаборатории осетровых рыб
Черетаев Игорь Владимирович	Таврическая академия (структурное подразделение) ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет имени В. И. Вернадского», кандидат биологических наук, доцент кафедры физиологии человека и животных и биофизики, e-mail: chereetaev86@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
Шалагинова Ирина Геннадьевна	Институт живых систем, ФГАОУ ВО «Балтийский федеральный университет им. И. Канта», старший преподаватель
Швайко Дарья Александровна	Институт живых систем, ФГАОУ ВО «Балтийский федеральный университет им. И. Канта», ассистент, e-mail: dshvaiko@kantiana.ru
Щерба Антон Викторович	ФИЦ Институт биологии южных морей им. А. О. Ковалевского РАН, e-mail: antonscherba95@gmail.com
Юкало Евгений Валерьевич	Таврическая академия (структурное подразделение) ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет имени В. И. Вернадского», магистр 3 года обучения кафедры физиологии человека и животных и биофизики

**Ярмолюк
Наталья Сергеевна**

Таврическая академия (структурное подразделение) ФГАОУ ВО
«Крымский федеральный университет имени В. И. Вернадского»,
кандидат биологических наук, доцент кафедры медико-
биологических основ физической культуры

**Яско
Дмитрий
Александрович**

Областное государственное учреждение «Особо охраняемые
природные территории Челябинской области», начальник
участка, e-mail: yasko.dima@yandex.ru

СОДЕРЖАНИЕ

БИОЛОГИЧЕСКИЕ НАУКИ

- Бирюкова Е. А., Ярмолюк Н. С., Абдурашитова Л. Э., Ткач Е. С., Юкало Е. В.**
ИЗМЕНЕНИЕ ЧАСТОТЫ СЕРДЕЧНЫХ СОКРАЩЕНИЙ И САТУРАЦИИ КРОВИ
У ЮНЫХ СПОРТСМЕНОВ-ОРИЕНТИРОВЩИКОВ ПРИ ПРОХОЖДЕНИИ
СПОРТИВНЫХ ДИСТАНЦИЙ РАЗНОЙ СЛОЖНОСТИ..... 3
- Бирюкова Е. А., Ярмолюк Н. С., Меджитова А. Р., Мишин Н. П., Ткач Е. С.,
Касьянова Е. О.**
ВАРИАБЕЛЬНОСТЬ СЕРДЕЧНОГО РИТМА У ВЫСОКОКВАЛИФИЦИРОВАННЫХ
СПОРТСМЕНОВ-ОРИЕНТИРОВЩИКОВ ПРИ РЕШЕНИИ СЛОЖНЫХ
ДВИГАТЕЛЬНЫХ ЗАДАЧ 13
- Булавин И. В.**
МОРФОЛОГО-АНАТОМИЧЕСКАЯ И ГЕНЕТИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА
НЕКОТОРЫХ СОРТОВ ЧАБРЕЦА ИЗ КОЛЛЕКЦИИ НИКИТСКОГО
БОТАНИЧЕСКОГО САДА..... 24
- Гашек В. А., Яско Д. А.**
ФАУНА ПТИЦ УРОЧИЩА ЛЕОНОВСКИЕ ГОРЫ (ЧЕЛЯБИНСКАЯ ОБЛАСТЬ) –
ПЕРСПЕКТИВНОЙ ООПТ РЕГИОНАЛЬНОГО ЗНАЧЕНИЯ..... 36
- Евсеева А. А.**
ЭКОЛОГО-ФИТОЦЕНОТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ЛУГОВОЙ ЦЕНОФЛОРЫ
ГОРОДА КАЛУГИ 48
- Емельянова А. С., Симонян Л. А., Степура Е. Е.**
АНАЛИЗ ВАРИАБЕЛЬНОСТИ СЕРДЕЧНОГО РИТМА СТУДЕНТОВ С РАЗНЫМ
УРОВНЕМ ДВИГАТЕЛЬНОЙ АКТИВНОСТИ..... 57
- Жалдак С. Н., Бибик А. И.**
МОРФО-БИОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ *NYMPHOIDES PELTATA* (GMEL.)
O. KUTZE В УСЛОВИЯХ ПРИРОДНОЙ ФЛОРЫ ГОРНОГО КРЫМА..... 69
- Залевская И. Н., Руднева И. И., Селюков А. Г. Щерба А. В.**
ВОЗРАСТНЫЕ ОСОБЕННОСТИ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ОКИСЛИТЕЛЬНОГО СТРЕССА
И СОДЕРЖАНИЯ АНТИОКСИДАНТОВ В ПЕЧЕНИ МОРСКОГО ЕРША
SCORPAENA PORCUS ИЗ ПРИБРЕЖЬЯ БОЛЬШОГО КАВКАЗА..... 78
- Минина Е. Н., Хаит Н., Компилецкая О. П.**
ФИЗИОЛОГИЧЕСКАЯ ОБЪЕКТИВИЗАЦИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ФИЗИЧЕСКОЙ
РЕАБИЛИТАЦИИ У ЛИЦ ПОЖИЛОГО ВОЗРАСТА НА ОСНОВЕ ОЦЕНКИ
СКОРОСТИ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ СЕРДЦА 90
- Присянникова И. Б., Романова Д. А.**
ФЕНОЛОГИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ И АНАТОМИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ
POTENTILLA RECTA L. ПОД ВЛИЯНИЕМ РЖАВЧИННОГО ГРИБА
RHRAGMIDIUM POTENTILLAE (PERS. : PERS.) P. KARST.
В ГОРНОМ КРЫМУ 101

Репин Е. Н. БИОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ЕВРОПЕЙСКИХ ВИДОВ СОСНЫ ПРИ ИНТРОДУКЦИИ В ПРИМОРСКОМ КРАЕ.....	119
Свердруп А. Э., Фролова Л. Л. ВЫЯВЛЕНИЕ ПРИНАДЛЕЖНОСТИ ВИДОВ ГИДРОБИОНТОВ ОЗЕРА ВЕРХНИЙ КАБАН Г.КАЗАНИ К ЗОНАМ САПРОБНОСТИ ПО МАРКЕРНОМУ ГЕНУ 18S рРНК	127
Суботялов М. А., Головин М. С. ОЗДОРОВИТЕЛЬНАЯ ЙОГА: ВЛИЯНИЕ НА ПСИХОФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ ЖЕНЩИН ЗРЕЛОГО ВОЗРАСТА».....	143
Труш В. В., Соболев В. И. ЭФФЕКТИВНОСТЬ АЛЬФАКАЛЬЦИДОЛА В КОМПЕНСАЦИИ НАРУШЕНИЙ СОКРАТИТЕЛЬНОЙ ФУНКЦИИ СКЕЛЕТНОЙ МЫШЦЫ ПРИ ДЕКСАМЕТАЗОНОВОМ ГИПЕРКОРТИЦИЗМЕ В ЭКСПЕРИМЕНТАХ НА КРЫСАХ	151
Чаплыгин В. А., Хурсанов А. С., Ершова Т. С., Зайцев В. Ф. МОНИТОРИНГ КОНЦЕНТРАЦИИ НЕКОТОРЫХ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ В ОРГАНИЗМЕ РЫБ СЕМЕЙСТВА GOBIIDAE.....	166
Чуян Е. Н., Миронюк И. С., Раваева М. Ю., Черетаев И. В., Гришина Т. В., Аблаева Р. Н. ДОЗОЗАВИСИМЫЕ КАРДИОТРОПНЫЕ ЭФФЕКТЫ АЦЕТИЛСАЛИЦИЛАТОВ	175
Швайко Д. А., Буденкова Е. А., Ваколюк И. А., Шалагинова И. Г. ДИСМЕТРИЯ ПРОИЗВОЛЬНЫХ САККАД ПРИ ШИЗОФРЕНИИ	197

ХИМИЧЕСКИЕ НАУКИ

Баевский М. Ю., Куренков И. А., Цикалов В. В., Цикалова В. Н., Черетаев И. В. СИНТЕЗ И РАСЧЕТНАЯ БИОЛОГИЧЕСКАЯ АКТИВНОСТЬ ИМИНОВ БЕНЗИМИДАЗОЛЬНОГО РЯДА.....	212
Спиридонов А. М., Соколова М. Д., Охлопкова А. А. СТРУКТУРНЫЕ МЕТАМОРФОЗЫ ЦЕОЛИТА КЛИНОПТИЛОЛИТА ПРИ ЕГО ПОШАГОВОМ КИСЛОТНОМ ДЕАЛЮМИНИРОВАНИИ.....	221
СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ.....	234
СОДЕРЖАНИЕ	240